

AVANCES

de la CIENCIA y la TECNOLOGÍA
para el DESARROLLO SOSTENIBLE:
tomo V



UNIVERSIDAD DE
GUADALAJARA
Red Universitaria e Institución Benemérita de Jalisco



CUNORTE
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE



**EDICIONES
COMUNICACIÓN
CIENTÍFICA**

María de los Ángeles Camacho Ruiz
Silvia Elena Mota Macías
Itzel Celeste Romero Soto
Filiberto Briseño Aguilar
(coordinadores)

Avances de la ciencia y la tecnología para el desarrollo sostenible

Tomo V



UNIVERSIDAD DE
GUADALAJARA
Red Universitaria e Institución Benemérita de Jalisco



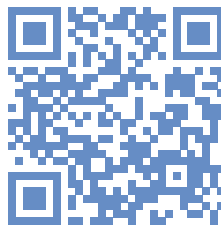
CUNORTE
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE



**COMUNICACIÓN
CIENTÍFICA**

Ediciones Comunicación Científica se especializa en la publicación de conocimiento científico de calidad en español e inglés en soporte de libro impreso y digital en las áreas de humanidades, ciencias sociales y ciencias exactas. Guía su criterio de publicación cumpliendo con las prácticas internacionales: dictaminación de pares ciegos externos, autenticación antiplagio, comités y ética editorial, acceso abierto, métricas, campaña de promoción, distribución impresa y digital, transparencia editorial e indexación internacional.

Cada libro de la Colección Ciencia e Investigación es evaluado para su publicación mediante el sistema de dictaminación de pares externos y autenticación antiplagio. Invitamos a ver el proceso de dictaminación transparentado, así como la consulta del libro en Acceso Abierto.



www.comunicacion-cientifica.com

[DOI.ORG/10.52501/cc.348](https://doi.org/10.52501/cc.348)




**COMUNICACIÓN
CIENTÍFICA** PUBLICACIONES
ARBITRADAS
HUMANIDADES, SOCIALES Y CIENCIAS

CC+I
COLECCIÓN
**CIENCIA e
INVESTIGACIÓN**

Avances de la ciencia y la tecnología para el desarrollo sostenible

Tomo V

MARÍA DE LOS ÁNGELES CAMACHO RUIZ
SILVIA ELENA MOTA MACÍAS
ITZEL CELESTE ROMERO SOTO
FILIBERTO BRISEÑO AGUILAR
(coordinadores)



UNIVERSIDAD DE
GUADALAJARA
Red Universitaria e Institución Benemérita de Jalisco



CUNORTE
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE



**COMUNICACIÓN
CIENTÍFICA**

Avances de la ciencia y la tecnología para el desarrollo sostenible / María de los Ángeles Camacho Ruiz, Silvia Elena Mota Macías, Itzel Celeste Romero Soto, Filiberto Briseño Aguilar (coordinadores). — Ciudad de México : Comunicación Científica, 2025. (Colección Ciencia e Investigación).

178 páginas (volumen V) : gráficas ; 23 × 16.5 centímetros

ISBN: 978-968-9738-41-1

DOI: 10.52501/cc.348

1. Seguridad alimenticia. 2. Cambios climáticos. 3. Desarrollo sustentable. I. Camacho Ruiz, María de los Ángeles, coordinadora. II. Mota Macías, Silvia Elena, coordinadora. III. Romero Soto, Itzel Celeste, coordinadora. IV. Briseño Aguilar, Filiberto, coordinador

LC: HD9000.6 A93

Dewey: 338.19 A93

La titularidad de los derechos patrimoniales y morales de esta obra pertenece a los coordinadores D. R. © María de los Ángeles Camacho Ruiz, Silvia Elena Mota Macías, Itzel Celeste Romero Soto y Filiberto Briseño Aguilar, 2025. Reservados todos los derechos conforme a la Ley. Su uso se rige por una licencia Creative Commons BY-NC-ND 4.0 Internacional, <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/legalcode.es>

Primera edición en Ediciones Comunicación Científica, 2025

Diseño de portada: Francisco Zeledón • Interiores: Guillermo Huerta
Maquetación: Jonathan Alcántara • Cuidado de la edición: Sebastián Gómez
Coordinador editorial: Aldo Israel Sánchez Avendaño

Centro Universitario del Norte de la Universidad de Guadalajara,
Carretera Federal No. 23, km 191, C.P. 46200, Colotlán, Jalisco, México
www.cunorte.udg.mx/
Tels.: (52) 499-992-1333 • 0110 • 2466 • 2467 • 1170

Ediciones Comunicación Científica, S. A. de C. V., 2025,
Av. Insurgentes Sur 1602, piso 4, suite 400,
Crédito Constructor, Benito Juárez, 03940, Ciudad de México,
Tel.: (52) 55-5696-6541 • Móvil: (52) 55-4516-2170
info@comunicacion-cientifica.com • www.comunicacion-cientifica.com
 [comunicacioncientificapublicaciones](#)  [@ComunidadCient2](#)

ISBN 978-968-9738-41-1

DOI 10.52501/cc.348



Esta obra fue dictaminada mediante el sistema de pares ciegos externos.
El proceso transparentado puede consultarse, así como el libro en acceso abierto,
en <https://doi.org/10.52501/cc.348>

Comité Editorial del Centro Universitario del Norte

DRA. ADIRA MONSERRAT FIERRO VILLA

Rectora

DRA. FERNANDA ELIZABETH RAMÍREZ SANTOS

Secretaria Académica

DRA. EDNA ALEJANDRA TOSCANO MORALES

Secretaria Administrativa

DR. EDUARDO COBIÁN AGUAYO

Director de la División de Ciencia y Tecnología

DR. JOSÉ DE JESÚS QUINTANA CONTRERAS

Director de la División de Cultura y Sociedad

DRA. ADRIANA ELIZABETH MORALES SÁNCHEZ

Coordinadora de Investigación

MTRA. ANABEL ROBLES HERNÁNDEZ

Coordinadora de Extensión

MTRA. IBIS VIANEY GUZMÁN PINEDO

Jefa de la Unidad de Difusión

MTRA. DAYLIN ORTEGA CARULO

Coordinadora de Planeación

DRA. KATYA GONZÁLEZ JIMÉNEZ

Departamento de Productividad y Desarrollo Tecnológico

DR. ÁNGEL ADRIÁN AYALA GONZÁLEZ

Jefe del Departamento de Bienestar y Desarrollo Sustentable

DRA. ROSA MARÍA ORTEGA SÁNCHEZ
Jefa del Departamento de Cultura, Justicia y Democracia

DRA. LETICIA LEMUS CÁRDENAS
Departamento de Fundamentos del Conocimiento

Coordinadores

DRA. MARÍA DE LOS ÁNGELES CAMACHO RUIZ

MTRA. SILVIA ELENA MOTA MACÍAS

DRA. ITZEL CELESTE ROMERO SOTO

DR. FILIBERTO BRISEÑO AGUILAR

Índice

<i>Introducción</i>	15
-------------------------------	----

PRIMERA PARTE CAMBIO CLIMÁTICO Y SEGURIDAD ALIMENTARIA

1. Agricultura urbana como medida de mitigación y adaptación al cambio climático, <i>Edwin Javier Ortega Zúñiga</i>	21
Introducción.	22
Metodología	23
Introducción a la metodología	23
Resultados y discusión	24
Caracterización de productores	24
Ruedas de negocios para compras locales	26
Agricultura urbana	27
Conclusiones	31
Referencias.	32
2. Estrategias para la reducción del impacto ambiental: Caso ruteo de vehículos, <i>Bryan Fernando Salcedo Moncada</i>	35
Introducción.	36
Metodología	40

Introducción a la metodología	40
Diseño del estudio	40
Métodos utilizados	41
Limitaciones del estudio	41
Resultados y discusión	43
Determinación de gases	43
Diseño y resultados de la metaheurística.	44
Validación de resultados	46
Conclusiones	47
Referencias.	48
3. Análisis del tráfico vehicular en Colotlán: Estudio basado en simulaciones, <i>Ana Lucía Serrano Ochoa, Rachid Marzoug, Juan Pablo Astudillo León, Ana Rosa Carrillo Ávila y Leticia Lemus Cárdenas</i>	51
Introducción.	52
Metodología	53
Diseño del estudio	54
Métodos utilizados	54
Recopilación de datos	54
Simulación con SUMO (<i>simulation of urban mobility</i>).	57
Diseño y aplicación de la encuesta origen-destino (EOD)	59
Ajuste de la simulación en SUMO (<i>simulation of urban mobility</i>).	60
Semáforos estáticos con ciclo de 90 segundos	61
Semáforos con ciclo de 60 segundos basados en demanda vehicular	62
Resultados y discusión	63
Emisiones de CO ₂	63
Niveles de ruido.	64
Tiempos de espera	64
Conclusiones	65
Referencias.	66

SEGUNDA PARTE

GESTIÓN SOSTENIBLE DE RESIDUOS

4. Pretratamiento de lodos residuales utilizando campo magnético y ultrasonificación, <i>Tania Gutiérrez Macías, Edwin Aldair Reza Chávez y Alberto Esquivel Sotelo</i>	71
Introducción.	72
Metodología	74
Pretratamiento del lodo	74
Sistema experimental de CM.	75
Diseño de experimento.	76
Resultados y discusión	76
Conclusiones	79
Referencias.	80

TERCERA PARTE

BIOTECNOLOGÍA Y VALORIZACIÓN DE RESIDUOS

5. Evaluación de la actividad enzimática durante la madurez del fruto de pingüica (<i>Ehretia tinifolia</i>) y la capacidad inhibitoria de los extractos fenólicos sobre la lipasa pancreática, <i>André Velázquez Maro, Raúl Balam Martínez Pérez, Lourdes Mariana Díaz Tenorio y Ana María Rentería Mexía</i>	83
Introducción.	84
Metodología	85
Introducción a la metodología	85
Diseño del estudio	85
Métodos utilizados	86
Resultados y discusión	88
Cuantificación de proteína y azúcares reductores.	88
Actividad lipasa y zimogramas	90
Inhibición de enzimas lipasas	90
Conclusiones	91
Referencias.	91

6. Evaluación de la actividad lipolítica intracelular y extracelular de la ostra del Pacífico (*Magallana gigas*), Carolina Escárrega Sánchez, Cecilia Abigail Valenzuela Bañuelos, Diana Sosa Ruiz y Raúl Balam Martínez Pérez 95

 Introducción. 96

 Metodología 97

 Introducción a la metodología 97

 Diseño del estudio 98

 Métodos utilizados 99

 Consideraciones éticas 100

 Limitaciones del estudio 101

 Resultados y discusión 101

 Actividad proteolítica 101

 Actividad lipasa/esterasa. 102

 Perfil de lipasas 103

 Conclusiones 104

 Referencias. 104

7. Proteína S2bp de la medusa bola de cañón: Composición de aminoácidos y efecto del pH en la estabilidad del color, Yuvitza Guadalupe Depraect Payán, Raúl Balam Martínez Pérez, Guillermina García Sánchez, María Elena Lugo Sánchez y Juan Carlos Ramírez Suárez 107

 Introducción. 108

 Metodología 109

 Diseño del estudio 109

 Determinación de aminoácidos de la proteína S2bp por HPLC 110

 Hidrólisis ácida de la muestra 110

 Identificación de aminoácidos mediante HPLC 110

 Determinación de la variación del color de la proteína S2bp 111

 Medición de ángulo y matiz de la proteína S2bp 111

 Resultados y discusión 112

 Pureza de la proteína s2bp. 112

 Análisis del hidrolizado de S2bp mediante HPLC 112

Efecto del pH sobre el color de S2bp	115
Conclusiones	117
Referencias.	117
 8. Uso del bagazo de betabel como fuente de pigmentos naturales: Extracción de betalainas y aplicación en tortillas de maíz, <i>César Alberto Roldán Cruz, Alejandro Martínez Velasco, Adriel Azuara Vicario, Abril Ramírez Higuera y Gabriela Blasco López.</i>	121
Introducción.	122
Metodología	123
Diseño experimental	123
Extracción y cuantificación de betalainas	124
Optimización de las condiciones de extracción de betalainas	124
Aplicación en la elaboración de tortillas de maíz	125
Medición de color en tortillas	125
Análisis estadístico	125
Resultados y discusión	127
Efecto de las condiciones de extracción de betalainas de bagazo de betabel	129
Aplicación de betalainas en tortillas de maíz	131
Conclusiones	132
Referencias.	132
 9. Proyecto de perforación de pozo profundo en el municipio de Villa Guerrero, Jalisco, <i>Joseph Omar Gaeta González, Josefina Elizabeth Godínez Chavoya, José Manuel Núñez Olivera, Francisco Javier Ramos López y Rodolfo Cabral Parra.</i>	135
Introducción.	136
Metodología	138
Introducción a la metodología	141
Diseño del estudio	141
Métodos utilizados	141
Resultados y discusión	143
Conclusiones	149
Referencias.	150

10. Trabajadores migrantes wixaritari: Participación ciudadana en la integración al espacio público en Colotlán, Jalisco, <i>Adriana Elizabeth Morales Sánchez, Víctor Vladimir Vega Morales y Fernando Manuel de la Torre Molina</i>	151
Introducción.	152
Desarrollo	152
Conclusiones	158
Referencias.	159
<i>Sobre los autores</i>	161

Introducción



DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.348.00.01>

Este quinto volumen de la serie Investigación Permanente reafirma el compromiso de la ciencia con la atención de los desafíos globales vinculados al desarrollo sostenible. La obra se construye desde un enfoque que prioriza la integración del conocimiento, el rigor metodológico y la aplicabilidad de los resultados en contextos reales.

En un escenario global marcado por tensiones ecológicas, desigualdades estructurales y urgencias sociales, las investigaciones reunidas en este volumen ofrecen respuestas innovadoras desde una perspectiva multidisciplinaria, para contribuir a los diversos Objetivos de Desarrollo Sostenible. La selección de trabajos incluidos responde a criterios de originalidad, pertinencia y solidez científica, y se enfoca en áreas prioritarias como la seguridad alimentaria, la eficiencia energética, la gestión de residuos, la movilidad urbana, la biotecnología y el acceso a recursos vitales como el agua. Cada estudio parte de contextos específicos, pero converge en una orientación común: proponer soluciones viables, escalables y fundamentadas en evidencia empírica, con miras a promover el bienestar humano y la conservación ambiental.

Esta visión integral se plasma en propuestas tecnológicas, estrategias de intervención, evaluaciones de impacto y desarrollos bioquímicos con potencial de incidir tanto en la formulación de políticas públicas como en prácticas comunitarias y productivas. Las investigaciones se presentan en tres ejes temáticos que estructuran el contenido del volumen.

La primera parte, *Cambio climático y seguridad alimentaria*, abre con el estudio titulado “Agricultura urbana como medida de mitigación y adaptación al cambio climático”, que analiza la problemática de inseguridad alimentaria en Palmira, Colombia, pese a su tradición agrícola. La investigación, que combina metodologías cualitativas y cuantitativas, demuestra que la agricultura urbana puede funcionar como estrategia dual frente a la crisis climática, fortaleciendo al mismo tiempo la resiliencia alimentaria de comunidades vulnerables. Destacan en sus hallazgos la generación de ingresos alternativos, el aprovechamiento de espacios urbanos subutilizados y la reducción de la huella de carbono asociada al transporte de alimentos, para configurar una solución alineada con la sostenibilidad ambiental, social y económica.

En la misma línea temática, el capítulo “Estrategias para la reducción del impacto ambiental: caso ruteo de vehículos” propone una solución computacional de alta eficiencia para el problema del ruteo vehicular con flotas heterogéneas. A través de una metaheurística de Búsqueda Tabú, el estudio logra simultáneamente reducir costos logísticos y disminuir emisiones de CO₂, NO_x y CO. Su valor radica en la adaptabilidad del modelo a condiciones reales de operación, lo que favorece su implementación en sistemas de transporte urbano e interurbano con claros beneficios ambientales y económicos.

El tercer estudio de este eje, “Análisis del tráfico vehicular en Colotlán: estudio basado en simulaciones”, emplea la plataforma SUMO para modelar escenarios de movilidad urbana en Colotlán, Jalisco, que enfatizan en la seguridad vial, el ruido ambiental y las emisiones contaminantes. Mediante simulaciones detalladas respaldadas por datos empíricos locales, se identifican estrategias de intervención que podrían reducir los riesgos del tránsito vehicular, con impactos positivos en la salud pública, la calidad del aire y la seguridad ciudadana.

La segunda parte, *Gestión sostenible de residuos*, reúne una investigación centrada en el aprovechamiento de residuos urbanos mediante tecnologías limpias y procesos de valorización energética. El capítulo “Pretratamiento de lodos residuales utilizando campo magnético y ultrasonificación” evalúa la eficiencia de estas técnicas combinadas para optimizar la digestión anaerobia en el tratamiento de aguas residuales. Al centrarse en la solubilización

de materia orgánica y la mejora en la producción de metano, medida mediante indicadores como la DQO y los sólidos totales, el estudio muestra una alternativa técnicamente viable y ambientalmente responsable para la gestión de residuos urbanos e industriales.

La tercera parte, *Biotecnología y valorización de residuos*, profundiza en el uso biotecnológico de recursos naturales y subproductos, con aplicaciones en sectores como el alimentario, farmacéutico y cosmético. La investigación “Evaluación de la actividad enzimática durante la madurez del fruto de pingüica (*Ehretia tinifolia*) y la capacidad inhibitoria de los extractos fenólicos sobre la lipasa pancreática” analiza el perfil bioactivo de este fruto silvestre mexicano, al identificar compuestos con propiedades inhibitorias que pueden tener aplicaciones en el control metabólico y la promoción de la salud, al tiempo que se promueve un uso racional y sustentable de la biodiversidad.

En ese mismo eje, el capítulo “Evaluación de la actividad lipolítica intracelular y extracelular de la ostra del Pacífico (*Magallana gigas*)” aporta conocimientos sobre la fisiología digestiva de esta especie acuícola, relevantes para mejorar prácticas de cultivo y generar bioproductos de valor añadido. El estudio fortalece la sostenibilidad económica de comunidades costeras y promueve una gestión responsable de los ecosistemas marinos.

El capítulo “Proteína S2bp de la medusa bola de cañón: composición de aminoácidos y efecto del pH en la estabilidad del color” explora el potencial de este recurso marino poco aprovechado en el litoral sonorense. La proteína extraída destaca por su contenido en aminoácidos esenciales y un pigmento azul estable en determinadas condiciones de pH, con posibles aplicaciones en suplementos nutricionales o como colorante natural, en un claro ejemplo de bioprospección sustentable.

Asimismo, la valorización de residuos alimentarios se aborda en el estudio “Uso del bagazo de betabel como fuente de pigmentos naturales: extracción de betalaínas y aplicación en tortillas de maíz”, que optimiza el proceso de obtención de pigmentos antioxidantes a partir de este subproducto. Su aplicación en alimentos representa una alternativa sustentable a los colorantes sintéticos, con beneficios ambientales y para la salud pública.

Finalmente, el volumen concluye con el estudio “Proyecto de perforación de pozo profundo en el municipio de Villa Guerrero, Jalisco”, una pro-

puesta de ingeniería orientada a garantizar el acceso al agua potable en zonas rurales. Al integrar aspectos geológicos, sociales, administrativos y presupuestarios, el proyecto ofrece una solución técnica y económicamente viable, con implicaciones directas en la mejora de la producción agropecuaria, la reducción de la migración forzada y el fortalecimiento de las capacidades locales.

Los trabajos reunidos en este volumen demuestran que la investigación científica no puede permanecer en la abstracción, debe constituirse como una herramienta efectiva para la transformación social y ambiental. Invitamos a la comunidad académica, a los gestores públicos y a los diversos actores sociales comprometidos con el desarrollo sostenible a leer, reflexionar y aplicar los conocimientos aquí presentados, como un aporte tangible hacia un futuro más equitativo, resiliente y en armonía con el entorno natural.

MARÍA DE LOS ÁNGELES CAMACHO RUIZ

SILVIA ELENA MOTA MACÍAS

ITZEL CELESTE ROMERO SOTO

FILIBERTO BRISEÑO AGUILAR

Primera Parte

CAMBIO CLIMÁTICO Y SEGURIDAD ALIMENTARIA

1. Agricultura urbana como medida de mitigación y adaptación al cambio climático



EDWIN JAVIER ORTEGA ZÚÑIGA*

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.348.01>

Resumen

El estudio realizado en Palmira, Colombia, revela una preocupante situación de inseguridad alimentaria a pesar de su tradición como capital agrícola del país. El análisis de investigaciones previas destaca múltiples factores que contribuyen a este problema, que incluyen el envejecimiento de la población rural, la desigualdad de género en el acceso a recursos agrícolas y el impacto del cambio climático en la producción.

Entre los factores se pueden numerar el envejecimiento de la población rural y la falta de interés de los jóvenes en la agricultura, lo que ha reducido la mano de obra disponible y limitado la adopción de nuevas tecnologías. Además, la desigualdad de género dificulta el acceso de las mujeres a recursos y decisiones agrícolas. Por su parte, el cambio climático, con eventos extremos como sequías e inundaciones, ha impactado negativamente la producción agrícola, mientras que la urbanización acelerada ha disminuido las áreas de cultivo y fragmentado el paisaje agrícola.

Como alternativa, se exploró el potencial de la agricultura urbana mediante un proyecto piloto en cuatro puntos de la ciudad. La implementación de sistemas de producción de hortalizas en espacios reducidos demostró ser una fuente viable de alimentos frescos en entornos urbanos densos. Este estudio subraya la necesidad de un enfoque multidisciplinario para abordar

* Maestro en Gestión y Auditorías Ambientales. Actualmente lidera la estrategia de sostenibilidad en la Universidad Pontificia Bolivariana, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6935-3486> ; correo electrónico: edwin.ortega@upb.edu.co

la seguridad alimentaria en Palmira, que considere los factores sociales, económicos y ambientales.

Palabras clave: *agricultura, desarrollo sostenible, seguridad alimentaria, desarrollo agrícola, producción alimentaria.*

Introducción

A pesar de su histórica reputación como capital agrícola de Colombia, Palmira enfrenta una paradoja marcada por un crecimiento económico impulsado por la industria, el comercio y la minería, pero con un déficit significativo en la producción de alimentos, lo que la hace dependiente de mercados externos. Esta situación, que cuestiona la sostenibilidad de los sistemas alimentarios locales y la seguridad alimentaria de su población, se ve agravada por la presión que ejercen el cambio climático, la urbanización y el envejecimiento de la población rural sobre la producción de alimentos a pequeña escala, tradicionalmente pilar de la economía local, lo que motivó la sistematización de dos proyectos de investigación en la región para comprender mejor los desafíos y oportunidades del sector.

A través del análisis cualitativo y descriptivo de un estudio socioeconómico de pequeños productores y un proyecto de agricultura urbana en Palmira, se reveló un panorama complejo caracterizado por la persistencia de prácticas agrícolas tradicionales, la desigualdad de género y la necesidad de adaptación a los cambios globales. Este artículo presenta los hallazgos de esta investigación, explora las causas del desabastecimiento de alimentos en la región y propone estrategias para fortalecer la producción local y garantizar la seguridad alimentaria, al discutir los desafíos y oportunidades que enfrentan los pequeños productores, así como el potencial de la agricultura urbana como complemento a la producción tradicional.

Metodología

Introducción a la metodología

A continuación, se presenta la metodología desarrollada para la sistematización de experiencias de dos proyectos de investigación relacionados con la producción de alimentos.

Diseño del estudio

El estudio adopta una metodología que combina lo cualitativo y lo descriptivo para analizar investigaciones previas. El enfoque cualitativo busca entender a profundidad el por qué de los resultados, al analizar entrevistas y observaciones para comprender las percepciones de los agricultores y las dinámicas sociales involucradas, para ofrecer así una visión integral y holística. Por otro lado, el enfoque descriptivo se manifiesta en la presentación detallada de los procesos, resultados y contextos de las investigaciones, utiliza narrativas para proporcionar una visión clara y objetiva, facilitando la visualización de los procesos. La combinación de estos enfoques permite generar conocimiento útil y conclusiones adaptadas al contexto actual. En este estudio específico, la sistematización de experiencias permite entender cómo se desarrollaron las investigaciones, sus hallazgos y cómo estos pueden contribuir al diseño de estrategias para promover la agricultura urbana y periurbana, así como a la mitigación y adaptación al cambio climático.

Métodos utilizados

Este estudio empleó una metodología cualitativa que combinó la revisión documental de investigaciones previas con el análisis temático de datos recopilados, incluyendo entrevistas a agricultores y datos de producción de sistemas de agricultura urbana. El objetivo principal fue comprender el desarrollo y los aprendizajes de investigaciones previas, así como evaluar el impacto de las prácticas de agricultura urbana y periurbana, en lugar de

verificar hipótesis o generalizar resultados. La información se categorizó y codificó en temas clave como las condiciones socioeconómicas de los productores, las características de los sistemas de producción y las limitaciones encontradas, para luego realizar un análisis temático que identificara patrones y tendencias, al construir narrativas detalladas de los procesos y resultados. Finalmente, se llevó a cabo una reflexión teórica para relacionar los hallazgos con conceptos de agricultura sostenible, seguridad alimentaria y agricultura urbana.

Consideraciones éticas

El estudio socioeconómico de pequeños productores fue aprobado por el comité de ética de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Palmira, garantizando la confidencialidad de los datos personales y con el consentimiento informado de los participantes. Este documento mantiene esos principios éticos y la confidencialidad de los datos.

Limitaciones del estudio

La interpretación de los resultados debe considerar limitaciones como el posible sesgo en la selección de la muestra a través de asociaciones campesinas, la limitación de la generalización debido al contexto específico de Palmira y la necesidad de actualizar constantemente los datos debido a la dinámica de los sistemas socioeconómicos y agroecológicos. Por lo tanto, se recomienda cautela al extrapolar los resultados a otros contextos y momentos temporales.

Resultados y discusión

Caracterización de productores

Aunque el primer estudio tenía un enfoque de caracterización de recursos fitogenéticos se obtuvieron resultados en diferentes ámbitos, el primero fue la caracterización sociodemográfica de la población.

Tabla 1.1. *Caracterización socioeconómica de pequeños agricultores de Palmira*

<i>Variable</i>	<i>Resultado</i>	<i>Descripción y soporte científico</i>
Tamaño y composición de los hogares	Disminución del tamaño familiar	El tamaño promedio de las familias en la zona de estudio ha disminuido en comparación con el promedio nacional y con estudios previos, lo que evidencia una tendencia hacia hogares más pequeños (DANE, 2014).
	Envejecimiento de la población rural	Aumento en la proporción de adultos mayores y una disminución en la población joven, lo que indica un envejecimiento de la población rural y un bajo relevo generacional (Flórez et al., 2015).
Roles de género y trabajo	División sexual del trabajo	Se mantiene una división tradicional de las tareas, con las mujeres dedicadas principalmente a labores domésticas y cultivos de menor escala, mientras los hombres se ocupan de labores más pesadas y de mayor envergadura (Arriagada y Noordam, 1982).
	Baja participación de mujeres en la toma de decisiones	Aunque las mujeres participan en las labores agrícolas, su participación en la toma de decisiones sobre el manejo de la finca es limitada (Arriagada y Noordam, 1982).
	Baja valoración social del trabajo agrícola	La falta de oportunidades y la percepción de un futuro poco prometedor en el campo están llevando a los jóvenes a buscar alternativas fuera del sector agrícola (Perry, 2010).
Desigualdad de oportunidades	Bajo nivel educativo	El nivel educativo de los productores es predominantemente bajo, con un mayor porcentaje de personas con estudios primarios o menores (Bravo et al., 2023).
	Desigualdad en el acceso a la tierra	La mayoría de los productores son propietarios de sus tierras, pero el tamaño de las parcelas es generalmente pequeño, lo que limita sus posibilidades de desarrollo (Huertas y Triana, 2024).
Sistemas de producción	Policultivo	Predomina el sistema de policultivo, aunque se observa una creciente adopción de prácticas convencionales.
	Autoconsumo y comercialización	La producción se destina principalmente al autoconsumo, aunque también existe una proporción significativa de productores que comercializan sus productos (Múnera-Ramírez y Acevedo-González, 2020).
Prácticas agrícolas	Semillas	Se observa una mezcla de semillas criollas y comerciales, con una tendencia a la adopción de variedades comerciales.
	Fertilización	El uso de análisis de suelo es bajo y la fertilización se basa en prácticas tradicionales y en la utilización de productos químicos (Vergara-Buitrago, 2018).
	Riego	La mayoría de los productores tienen acceso a fuentes de agua para riego, pero la eficiencia en el uso del agua es limitada.

Fuente: Elaboración propia.

La agricultura familiar en la región enfrenta desafíos complejos como el envejecimiento de la población, la baja productividad y la vulnerabilidad al cambio climático, pero demuestra resiliencia a través de prácticas tradicionales y el valor del autoconsumo. Para garantizar su sostenibilidad es crucial fortalecer la asociatividad, promover la capacitación y el acceso a tecnologías apropiadas, y diseñar políticas públicas que reconozcan y valoren los sistemas de producción tradicionales, al abordar estos desafíos de manera integral y con la participación activa de los productores.

La escasez de opciones formativas agrícolas en la región ha generado una brecha generacional y ha impulsado a los jóvenes a buscar oportunidades laborales fuera del sector. Para revertir esta situación se realizó una alianza entre la Secretaría Agropecuaria de Palmira y el Servicio Nacional del Aprendizaje (SENA), con el objetivo de ofrecer programas de formación contextualizados que fortalezcan las competencias de los jóvenes en áreas como tecnologías agropecuarias y agronegocios. Al aprovechar la disposición de los jóvenes para apropiarse de nuevas tecnologías, se busca fomentar el relevo generacional y garantizar la sostenibilidad de la agricultura en la región. Por su parte, la Secretaría Agropecuaria también se vinculó al proyecto para fortalecer las asistencias técnicas en función de aumentar la productividad de los sistemas productivos a pequeña escala.

Ruedas de negocios para compras locales

Para fortalecer la producción local y promover la seguridad alimentaria se implementó un proyecto de ruedas de negocio ejecutado por el semillero de investigación en organizaciones sostenibles. Esta iniciativa se alinea con la Política de Seguridad Alimentaria y Nutricional del país (CONPES 113 de 2008) y con la Ordenanza 480 de 2018 del Valle del Cauca, que adopta el Plan de Soberanía, Seguridad Alimentaria y Nutricional 2018-2032. Para seguir las recomendaciones de la FAO sobre el fomento de compras públicas locales (Bravo et al., 2022), se estableció un espacio de encuentro entre pequeños productores y entidades públicas y privadas.

A través de mesas de negociación rotativas se facilitó la conexión entre la oferta y la demanda de productos locales, para contribuir al desarrollo económico local y a la consolidación de cadenas de suministro sostenibles. La iniciativa, que inicialmente contó con el apoyo de las secretarías municipales de agricultura y educación, logró ampliar su alcance en 2019 gracias a la alianza con la Secretaría de Ambiente, Agricultura y Pesca del Valle del Cauca. Esta colaboración permitió desarrollar una metodología más robusta para priorizar las necesidades de los productores y compradores locales, para asegurar así la sostenibilidad y el impacto a largo plazo del proyecto.

Figura 1.1. Afiche ruedas de negocios regionales

2DA JORNADA DE NEGOCIOS VALLE DEL CAUCA 2019

COMPRAS PÚBLICAS LOCALES **MISIÓN COMERCIAL PROPAÍS**

Con la participación de los operadores de diferentes entidades públicas que adelantan compras de bienes agropecuarios, se busca gestionar un espacio para que los productores organizados puedan adelantar acuerdos comerciales estables para optimizar su calidad de vida y su competitividad.

En el marco de la estrategia "coseche y venda a la risa" del MAGP, propaís genera un espacio para que los productores puedan identificar y gestionar líneas de comercialización estables y sin intermediación con superficies de mercado de alto reconocimiento a nivel nacional.

14 AGOSTO **COLISEO CUBIERTO PALMIRA**

El Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, la Secretaría de Ambiente, Agricultura y Pesca Del Valle y la Alcaldía de Palmira invitan a la comunidad productiva primaria a participar de la 2ª Jornada de Negocios del Valle del Cauca, que tendrá lugar el 14 de Agosto en el Coliseo Cubierto Ramón Elías López entre las 7:30 am y la 1:00 pm, con la finalidad de promover la pequeña industria de carácter comunitario y las industrias generadoras de empleo.

Patrocinadores: Universidad Pontificia Bolivariana, Bienestar Familiar, Parque bioPadFico, Programa Mundial de Alimentos, Secretaría Agropecuaria y Desarrollo Rural, Secretaría de Educación, Dirección de Emprendimiento y Desarrollo Empresarial, Palmira, y el Gobierno del Valle del Cauca.

En el encuentro podrán participar personas naturales, asociaciones, cooperativas y sociedades comerciales constituidas en Valle del Cauca, que produzcan o fabriquen en el Departamento líneas de productos.

www.ambpalmira.gov.co

Fuente: Universidad Pontificia Bolivariana (2019).

Agricultura urbana

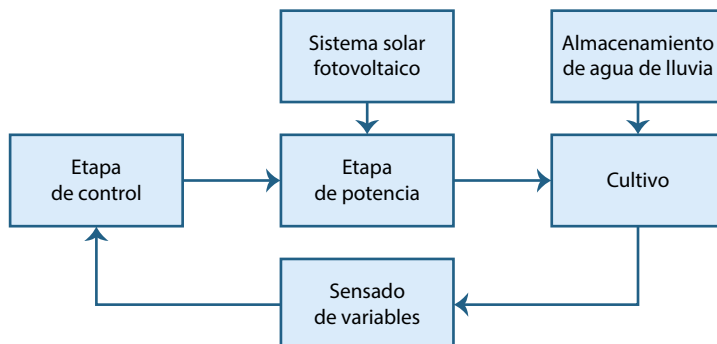
Por su parte, la variabilidad climática está generando desafíos significativos para los agricultores de la zona. El desplazamiento de los pisos térmicos en la ladera de la montaña provoca una disminución en la productividad de los cultivos tradicionales, e incluso imposibilita su cultivo en algunas áreas.

Esta situación plantea un dilema para los agricultores: migrar a zonas con condiciones climáticas más favorables o adaptar sus sistemas productivos. Si bien la primera opción es poco viable debido a las repercusiones sociales y económicas, la segunda opción implica la adopción de nuevas tecnologías y prácticas agrícolas que permitan hacer frente a los efectos del cambio climático (Ocampo, 2011).

La disminución de la producción agrícola en zonas rurales amenaza con generar escasez de alimentos en las ciudades. Ante este escenario, la agricultura urbana surge como una alternativa prometedora, propuesta ya abordada en otros contextos como es el caso del proyecto de agricultura urbana en la parroquia de San Antonio de Pichincha en Ecuador (Risueño C. A., 2020), en el cual se determinó que existe una disposición significativa de la comunidad para participar, a pesar de la falta de información y conocimientos técnicos. Se concluyó que la agricultura urbana tiene el potencial de mejorar la seguridad alimentaria, generar ingresos adicionales y contribuir a la lucha contra el cambio climático, pero enfrenta obstáculos como la falta de conocimientos técnicos de la población urbana.

La falta de tiempo para tareas como el riego representa un obstáculo importante para el desarrollo de la agricultura urbana. Para hacer frente a esta problemática, se propuso el desarrollo de un sistema automatizado de agricultura urbana para la ciudad de Palmira, diseñado para cultivar alimentos de manera eficiente y sostenible. Este proyecto se concibió desde una perspectiva multidisciplinar, al integrar investigadores de diversas áreas del conocimiento, incluyendo ingeniería industrial, ingeniería agropecuaria, química, ingeniería de sistemas y electrónica. La colaboración entre estos campos permitió abordar el desafío desde múltiples ángulos, para asegurar una solución que permita cultivar alimentos de manera eficiente y sostenible, incluso en espacios reducidos y con horarios limitados, solución que ha sido abordada por otros investigadores como es el caso en la Universidad de Cartagena donde se desarrolló un sistema IoT para el monitoreo de variables climatológicas en cultivos de agricultura urbana el cual propone una solución práctica y accesible para la monitorización al utilizar tecnologías de código abierto y aprendizaje automático (Chanchí-Golondrino et al., 2022).

Figura 1.2. Diagrama de bloques del sistema



Fuente: Elaboración propia.

Figura 1.3. Piloto de producción de agricultura urbana



Fuente: Elaboración propia.

Para garantizar la eficiencia de la investigación se seleccionaron cuidadosamente especies con ciclos de cultivo cortos. Esta decisión permitió acelerar la obtención de resultados y maximizar la productividad, para facilitar así el análisis de los datos experimentales.

Se instaló un sistema de cosecha de agua de lluvia que capta el agua de los techos y la almacena en dos tanques de 500 litros. Esta agua, libre de cloro y otros químicos, se utiliza para el riego por goteo de los cultivos. Esta tecnología permitió reducir en un 100 % el consumo de agua potable y garantizar un suministro continuo de agua de alta calidad, incluso durante periodos de sequía. Además, el riego por goteo optimizó la distribución del agua, minimizar las pérdidas por evaporación y mejorar la eficiencia del sistema.

Figura 1.4. *Piloto de producción de agricultura urbana 2*



Fuente: Elaboración propia.

Los resultados obtenidos en el estudio demostraron que, con una profundidad de suelo de al menos 35 cm, se logró un rendimiento promedio de 6.5 kg por metro cuadrado.

Tabla 1.2. *Producción en kilos de un punto en un ciclo productivo*

<i>Especie</i>	<i>Peso (g)</i>
Tomate cherry	3 095
Tomate chonto	19 560
Acelga	3 866
Habichuela	74
Pimentón	267
	26 862

Fuente: laboración propia.

Los datos obtenidos en la primera etapa del estudio permitieron diseñar un plan de producción escalonado y sostenible, que a partir del segundo año incorporó la rotación de cultivos para validar la adaptación de nuevas especies como fue el caso del pepino, lechuga y hierbas aromáticas como el cilantro, se optimizó el uso del espacio disponible y se diversificó la producción. Esta práctica no solo previno la fatiga del suelo y aumentó su capacidad de retención de nutrientes, sino que también redujo significativamente la necesidad de insumos externos, manteniendo una producción orgánica.

Conclusiones

La agricultura rural enfrenta un desafío crítico debido al envejecimiento de la población y la disminución del interés de los jóvenes hacia esta actividad. La falta de relevo generacional pone en riesgo la sostenibilidad de las prácticas agrícolas tradicionales y la seguridad alimentaria local.

Las mujeres, a pesar de su importante papel en la agricultura, enfrentan desigualdades en el acceso a la tierra, la tecnología y la toma de decisiones. Esta situación limita su potencial de desarrollo y contribuye a la persistencia de prácticas agrícolas menos eficientes.

El cambio climático, la urbanización y la globalización están transformando los sistemas agrícolas tradicionales. Es necesario adoptar nuevas

tecnologías y prácticas agrícolas más sostenibles para garantizar la resiliencia de los sistemas productivos y la seguridad alimentaria.

La falta de formación especializada limita la adopción de nuevas tecnologías y prácticas agrícolas. Es fundamental invertir en capacitación para los agricultores, especialmente los jóvenes, para fortalecer sus conocimientos y habilidades.

La agricultura urbana se presenta como una estrategia valiosa para combatir el cambio climático, al reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y promover prácticas agrícolas sostenibles. Además, mejora la resiliencia alimentaria, optimiza el uso del agua y mitiga las islas de calor urbanas, con beneficios adicionales para la salud pública y la economía local. Para fortalecer el sector agrícola y la sostenibilidad se requieren políticas públicas que apoyen la agricultura familiar (Guzmán, 2023), la investigación, la innovación, la igualdad de género y la conservación de recursos naturales.

Referencias

- Arriagada, I. y Noordam, J. (1982). *Las mujeres rurales latinoamericanas y la división sexual del trabajo: Las trabajadoras del agro II*. CEPAL.
- Bravo, E., Elena, O. y Solano León, E. (2023). Inequidad en la educación rural en Colombia: Revisión de literatura. *Ciencia Latina: Revista Científica Multidisciplinar*, 7(1), 7257-7274.
- Bravo, H., Sotomayor Echenique, O. y Nanno, M. (2022). *Programas de compras públicas a los agricultores familiares: ¿Un nuevo canal de ventas para el comercio justo?* FAO.
- Chanchí-Golondrino, G., Ospina-Alarcón, M. A. y Saba, M. (2022). Sistema IoT para el monitoreo de variables climatológicas en cultivos de agricultura urbana. *Revista Científica*, 44, 257-271. http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0124-22532022000200257&script=sci_arttext
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística de Colombia. (2014). *Censo Nacional Agropecuario*.
- Flórez, C., Villar, L., Puerta, N. y Berrocal, L. (2015). *El proceso de envejecimiento de la población en Colombia: 1985-2050*. Fundación Saldarriaga Concha.
- Guzmán, M. (2023). Análisis del sector agropecuario en el PND: Colombia potencia mundial de la vida. *Revista Nova*, 8(1), 47-56.
- Huertas, R. D. y Triana Ancinez, B. (2024). *Reforma agraria y sistemas de tenencia de la tierra: Una difícil relación*. CAPAZ.

- Jara, O. (2012). *La sistematización de experiencias: Práctica y teoría para otros mundos posibles*. Javegraf.
- Múnera-Ramírez, R. y Acevedo-González, G. (2020). Aproximación a un sistema asociativo de comercialización para productos agrarios de pequeños y medianos productores. *Revista Lasallista de Investigación*, 17(2), 162-176.
- Ocampo, O. (2011). El cambio climático y su impacto en el agro. *Revista de Ingeniería*, 1(33), 115-123.
- Perry, S. (2010). *La pobreza rural en Colombia: Programa Conocimiento y Cambio en Pobreza Rural y Desarrollo*. RIMISP.
- Risueño Calahorrano, P. (2020). *La agricultura urbana como medida de mitigación al cambio climático en San Antonio de Pichincha en el año 2020*. FLACSO. <https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/16806/2/TFLACSO-2020PMRC.pdf>
- Salcedo, S. y Guzmán, L. (2014). *Agricultura familiar en América Latina y el Caribe: Recomendaciones de política*. FAO.
- Universidad Pontificia Bolivariana. (2019). *Ruedas de negocios del semillero SIOS*. <https://www.valledelcauca.gov.co/publicaciones/63884/rueda-de-negocios-de-palmira-acerco-a-pequenos-productores-con-grandes-companias-nacionales>
- Valent, J., Oliveira, L. y Dornelles Valent, V. (2017). Agricultura urbana: O desenvolvimento de um projeto social. *Desenvolvimento Regional em Debate*, 7(2), 4-19.
- Vergara-Buitrago, P.-A. (2018). Los saberes campesinos como estrategia de desarrollo rural en la Serranía de los Yariguíes (Santander, Colombia). *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 38(2), 461-477.

2. Estrategias para la reducción del impacto ambiental: Caso ruteo de vehículos



BRYAN FERNANDO SALCEDO MONCADA*

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.348.02>

Resumen

El sector transporte es responsable del 79 % de las emisiones mundiales de CO₂ del total de gases contaminantes de la atmósfera. Tomando en cuenta esta preocupación mundial, este proyecto aborda una extensión de Flota Heterogénea del problema de contaminación de ruteo de vehículos (PRP). El problema consiste en el enrutamiento de una flota fija de vehículos de diferentes capacidades, para entregar la mercancía requerida por un conjunto de clientes. De tal forma, se busca reducir los costos asociados al transporte y la emisión de gases contaminantes como el dióxido de carbono (CO₂), el dióxido de nitrógeno (NO₂) y el monóxido de carbono (CO), dadas las afectaciones en la salud humana. A pesar del aumento en las investigaciones acerca del PRP en los últimos años, no todas contemplan la extensión de flota heterogénea, velocidad discretizada, capacidad de los vehículos, ventanas de tiempo e inclinación de las rutas de esta investigación. Además, se propone una metodología de solución novedosa mediante una metaheurística de búsqueda tabú. Finalmente se puede evidenciar cómo se logra la reducción de los costos logísticos, la disminución de emisiones de efecto invernadero y el uso de vehículos favoreciendo la congestión vehicular de las carreteras. Se obtienen estos resultados computacionales en

* Magíster en Ingeniería con énfasis en Industrial. Profesor-investigador de la Universidad Pontificia Bolivariana, Palmira, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4240-8971> ; correo electrónico: bryan.salcedo@upb.edu.co

150 segundos en casos de prueba de tamaño considerable; 50 clientes. Confiando así la eficiencia y eficacia del algoritmo.

Palabras clave: *PRP, flota heterogénea, ventanas de tiempo, búsqueda tabú.*

Introducción

El hombre, desde las primeras fases de la humanidad, requiere satisfacer sus necesidades, y por ello acude al trueque; intercambiando cosechas, armas, utensilios, pieles, etc. El comercio entonces, desde la antigüedad, ha sido un motor de crecimiento económico. La necesidad de transportar los diferentes objetos y mercancías para conectar diferentes sociedades existe desde entonces.

La carga y distribución de mercancías dio origen al transporte terrestre. En principio, a pie o a lomos de animales de carga, con la desventaja de transportar cantidades poco voluminosas, pues los burros, camellos u otros animales de carga soportaban reducidos pesos. Con la revolución industrial, en el siglo XVII, el intercambio de mercancías se hizo más sencillo al reducir las distancias dentro o fuera de las naciones, lo que llevó a la creación de un mayor número de carreteras, vías de comunicación y desarrollo de las regiones. En 1882 se descubrió el petróleo y el uso del combustible como fuerza impulsadora, lo que llevó a la creación el automóvil como aparato de transporte rápido y cómodo. Su evolución fue fundamental para garantizar el suministro de alimentos y todo tipo de bienes y servicios. Fue indispensable para el avance de la propia humanidad.

Hoy en día el transporte es uno de los pilares de la logística industrial, pues el problema de distribuir productos desde un origen a un destino final con una adecuada planificación puede significar ahorros considerables y así mismo generar ventajas competitivas a las organizaciones. En ese mismo orden de ideas, la toma de decisiones sobre el ruteo de vehículos es esencial para la reducción de costos operativos e índices de competitividad de las empresas y naciones (Aithor, 2023).

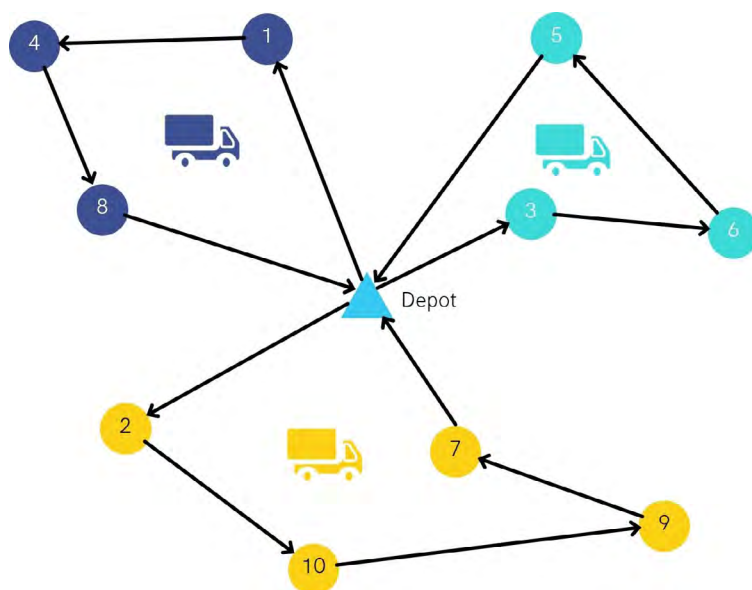
No obstante, Fukasawa et al. (2016) señalan al sector transporte como uno de los principales responsables de la contaminación atmosférica a par-

tir del consumo de combustibles fósiles. United States Environmental Protection Agency (EPA), a través de su inventario de emisiones y disipadores de gases de efecto invernadero en USA, en el 2020 ubica al transporte como el sector de mayor consumo energético, porque libera a la atmosfera 1565 millones de toneladas métricas (MMT) de CO₂, que representa el 79 % del total de GEI liberados (EPA, 2022). Así entonces, al tener en cuenta la mitigación del impacto ambiental, la búsqueda de mejora del servicio y distribución del transporte, se ha planteado el problema de enrutamiento de vehículos (*vehicle routing problem*, VRP) (Naderipour y Alinaghian, 2016). El VRP supone el costo de viaje y el tiempo empleado entre dos nodos (clientes), sin embargo, el consumo de combustible y los GEI emitidos dependen de las decisiones de enrutamiento tomadas (Fukasawa et al., 2016). En ese sentido, el VRP se ha visto en la necesidad de evolucionar con un enfoque que cubra las preocupaciones medioambientales mundiales, como la contaminación y el uso de combustibles alternativos (Kramer et al., 2015). No obstante, son pocos los estudios que han abordado el componente ambiental en el ruteo, adicional a la implementación de un modelo de emisión de contaminantes efectivo (Moryadee et al., 2019).

El VRP parte de una flota de vehículos, respetando la capacidad de cada uno, puede atender la demanda de un conjunto de clientes geográficamente dispersos, con el objetivo de encontrar la distancia más corta. Además, considera una sola visita a cada cliente (Abdi et al., 2020). En la figura 2.1 se muestra una representación del problema, las flechas indican el orden de las rutas de los vehículos (arcos), los círculos la ubicación de los clientes (nodos) y, por último, el depósito en el centro. Los colores obedecen a la identificación de las tres diferentes rutas.

El VRP proviene del problema de agente viajero conocido por las siglas TSP (*traveling salesman problem*). Este consiste en que un vendedor viajero debe visitar una lista de ciudades, donde las distancias entre todas estas son conocidas y cada una debe ser visitada sola una vez, iniciando y finalizando en un punto de origen (depósito). El objetivo del problema es encontrar el mínimo costo, el cual puede estar dado por distancia o tiempo.

Figura 2.1. Forma gráfica del vehicle routing problem (VRP)



Fuente: Elaboración propia.

El crecimiento de las investigaciones en torno al VRP ha sido exponencial. En los últimos años han aparecido nuevos estudios que intentan incluir un número mayor de parámetros y variables para hacer más real el problema (Braekers et al., 2016). Los componentes fundamentales del VRP son red de carreteras, clientes, depósitos, vehículos y conductores. Para hacer diferentes versiones de este problema, diferentes restricciones y situaciones pueden imponerse e interrelacionarse para lograr los objetivos particulares, las versiones más comunes del VRP son limitación básica de capacidad (CVRP), limitación de ventanas de tiempo (VRPTW), limitación de flota vehicular heterogénea (HFVRP), VRP con viajes de regreso (VRPB), recogida y entrega (VRPPD) y cualquier otra combinación de estas variantes (Arboleda et al., 2018).

De acuerdo con lo anterior, se han desarrollado modelos más completos para la distribución de mercancías en entornos urbanos dependiendo de las variaciones del VRP según las características incluidas. Esto se puede apreciar en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. *Siglas por tipo de VRP*

<i>Sigla</i>	<i>Significado</i>
CVRP	Capacitated vehicle routing problem (VRP con limitación básica de capacidad)
DCVRP	Distance and capacitated vehicle routing problem (VRP con distancia y capacidad limitada)
VRPTW	Vehicle routing problem with time windows (VRP con ventanas de tiempo)
VRPB	Vehicle routing problem with backhauls (VRP con viajes de regreso)
VRPPD	Vehicle routing problem pickup and delivery (VRP con recogida y entrega)
OVRP	Open vehicle routing problem (VRP abierto)
MDVRP	Multiple-depot vehicle routing problem (VRP con múltiples depósitos)
VRPFH	Vehicle routing problem heterogeneous fleet (VRP con flota heterogénea)
PVRP	Periodic vehicle routing problem (VRP periódico)
SVRP	Stochastic vehicle routing problem (VRP estocástico)

Fuente: Elaboración propia.

En vista de las preocupaciones ambientales, las investigaciones buscan alternativas para el enrutamiento han propuesto el denominado *Green-Vehicle Routing Problem* (GVRP) con la intención de minimizar el consumo de combustible a partir de las decisiones escogidas en la distribución de mercancía (Li et al., 2018). Mientras que el GVRP busca la minimización de la distancia total de vehículos de combustible alternativo en vez de vehículos convencionales para la reducción del consumo de combustible (Lin et al., 2014), el PRP tiene como objetivo reducir las emisiones de carbono (Bektaş y Laporte, 2011).

El PRP, al igual que sus antecesores, ha sido demostrado como NP-hard. Se ocupa de determinar el conjunto de rutas de vehículos y velocidad en cada tramo para reducir simultáneamente, al mínimo, los costos operacionales y ambientales totales (Fukasawa et al., 2016). El costo ambiental se traduce en la huella ambiental causada por los GEI.

Considerando lo anterior, este estudio presenta el problema de contaminación de ruteo de vehículos (PRP, por sus siglas en inglés) con la implementación de una flota heterogénea, velocidades discretas y un modelo de medición de contaminantes. El objetivo de esta investigación es desarrollar una metodología de solución novedosa a partir de una meta-heurística de búsqueda tabú, que logre reducir los costos incurridos en el uso de los diferentes vehículos y la contaminación generada de estos a través de las emisiones de CO₂, NO₂ y CO. El PRP se ha centrado en la combinación de características diferenciadoras de otras investigaciones: una flota

heterogénea, un único depósito, velocidad discretizada entre rutas, la dependencia de la entrega según las ventanas de tiempo de los clientes, el gradiente entre rutas y la carga llevada entre nodos. Se espera que el modelo propuesto sirva para la toma de decisiones en las organizaciones para la planificación y gestión de la logística de distribución, para convertirse en una estrategia empresarial que reduzca costos y a la vez sea socialmente responsable.

Metodología

El presente trabajo tiene como objetivo principal diseñar una metaheurística de búsqueda tabú (Glover, 1989) para resolver el problema de contaminación de ruteo de vehículos (PRP) teniendo en cuenta una flota heterogénea, ventanas de tiempo y velocidades discretas para minimizar los costos de uso del vehículo y de contaminación de CO_2 , NO_2 y CO .

Introducción a la metodología

De tal modo, los objetivos específicos se detallan a continuación:

- Determinar los principales gases contaminantes generados en problemas de ruteo de vehículos y su modelo de medición para su incorporación a la metaheurística.
- Diseñar una metaheurística de búsqueda tabú, en un tiempo computacional eficiente, para solucionar el problema de contaminación de ruteo de vehículos (PRP).
- Validar los resultados de la metodología de solución mediante la experimentación computacional.

Diseño del estudio

Las principales contribuciones de este proyecto en relación con la extensión de flota heterogénea y velocidades discretas del problema de contamina-

ción de ruteo de vehículos (PRP, *pollution routing problem*) consisten en diseñar una metodología de solución que permita la integración de diversas características realísticas del PRP original. Estas corresponden a velocidades discretas que atiendan a las regulaciones de transporte urbano del territorio colombiano; el uso de una flota heterogénea a partir de vehículos de diferentes capacidades, la inclinación de las vías entre los nodos (clientes) a visitar; la demanda a satisfacer y las ventanas de tiempo de estos como restricciones temporales.

Métodos utilizados

La metodología de solución propuesta busca el balance entre la explotación y exploración del espacio de solución, el cual se obtiene a partir de la metaheurística de búsqueda tabú con múltiples niveles de decisión. La búsqueda tabú ha sido destacada por su éxito en problemas de optimización NP-hard como el ruteo de vehículos. Su éxito radica en la incorporación de una memoria adaptativa y una exploración responsiva, permitiendo alcanzar la efectividad entre la calidad de las soluciones y el tiempo computacional. Para el caso de estudio se plantean diversos niveles de decisión: la secuencia de clientes a visitar por los vehículos disponibles, las velocidades asignadas a estos vehículos y el tipo de vehículo a utilizar.

Limitaciones del estudio

Variables de decisión

El modelo presentado no obedece a un modelo exacto en donde se alcance la optimalidad del problema, pues ya se ha demostrado en otros trabajos cómo no es posible encontrar un óptimo en instancias realistas (Gutiérrez-Padilla et al., 2021). En ese sentido, el modelo obedece a un algoritmo de búsqueda tabú con múltiples niveles de decisión. A continuación, se formulan verbalmente las variables de decisión:

- Rutas construidas como secuencia de nodos a visitar por cada tipo de vehículo k .
- Cantidad y tipo de vehículos k elegidos por ruta.
- Selección de velocidad Vel_v del vehículo en cada arco E .

Las anteriores variables de decisión son la base fundamental para el desarrollo del algoritmo de búsqueda tabú, dado que cada una de ellas representa un nivel de decisión. A continuación, se relacionan otras variables de decisión dependientes de estas. Es decir, son variables que pueden ser calculadas o estimadas de acuerdo con los resultados de las primeras.

- Carga actual de cada vehículo k en cada cliente C_j .
- Cantidad de emisiones liberadas en cada ruta por cada gas contaminante seleccionado: CO_2 , NO_2 y CO (g).
- Cantidad de emisiones totales liberadas en cada ruta (g/km).
- Distancia total recorrida por cada ruta (km).
- Costo total como suma del costo fijo de usar un vehículo, costo variable por el pago de los conductores y costo por las emisiones liberadas (\$).

Función objetivo

El objetivo del algoritmo es encontrar la ruta para cada tipo de vehículo, con su respectiva asignación de velocidad en cada arco y la secuencia de clientes (nodos) a visitar para satisfacer plenamente la demanda y las ventanas de tiempo. De tal manera que se reduzcan los costos del uso de los diferentes vehículos, el pago de los conductores y los costos de emisiones incurridos.

Restricciones

- Los vehículos k no pueden exceder su capacidad de carga en cada una de las rutas.
- Los clientes C_j solo son visitados una vez, cada nodo tiene un arco de entrada y uno de salida.

- Existe equilibrio entre cada cliente, se garantiza que si un vehículo k entra a un nodo sale el mismo vehículo k .
- Los vehículos k salen del depósito y regresan al mismo.
- Se debe establecer la viabilidad de atención entre nodos con respecto a sus ventanas de tiempo y la dinámica de los tiempos de viaje.
- Se debe distinguir entre el depósito y los clientes. Para el depósito, los vehículos k salen con una carga igual a la suma de todas las demandas de los clientes en una ruta. En el caso de los clientes, la carga cambiará a medida que sean atendidos.

Resultados y discusión

Determinación de gases

Una vez seleccionados los gases a medir, dióxido de carbono (CO_2), el dióxido de nitrógeno (NO_2) y el monóxido de carbono (CO), es necesario calcular su costo ambiental y sumarlo a los costos propios de la logística de distribución por carretera. En ese sentido, la metodología MEET permite hallar este valor (Hitckman et al., 1999).

La ecuación (1) representa el total de emisiones (g) generados en una ruta.

Donde:

- e_i es el factor de emisión i (g/km).
- D es la distancia recorrida (km) por los vehículos en una ruta.

Las ecuaciones (2), (3) y (4) expresan la relación entre los factores de emisión de CO_2 , NO_2 y CO respectivamente.

En estas ecuaciones, GC_i indica el coeficiente de corrección del gradiente de la carretera y LC_i la corrección del coeficiente de la carga del vehículo entre nodos para CO_2 , NO_2 y CO respectivamente. Por su parte, v indica la velocidad del vehículo (km/h), y indica el gradiente de la carretera (%) y, finalmente, x indica la relación entre la carga del vehículo y su capacidad entre nodos $[0, 1]$. El costo monetario de los tres contaminantes es calcula-

do con base en donde un gramo de emisión equivale a 0.000027 dólares (Bektaş y Laporte, 2011).

En la tabla 2.2 se aprecia el promedio de emisiones emitidas en gramos para cada tipo de contaminante y el promedio total sumado de todos según las ecuaciones anteriores. Las instancias se refieren al número de clientes en cada fila. En donde a medida que aumenta el número de clientes las emisiones crecen proporcionalmente. Para consultar más información de estas instancias véase https://github.com/dmorill/HPRP_instances

Tabla 2.2. Emisiones calculadas para cada conjunto de instancias

Instancia	Promedio de CO ₂	Promedio de NO ₂	Promedio de CO	Promedio de emisiones totales
15C	4554.72	41.14	27.03	980268.77
50C	15083.34	136.38	88.25	3289893.62
75C	25083.23	227.97	141.64	5536150.14
100C	36551.91	334.89	197.79	8283892.02
150C	56209.59	516.11	300.62	12893951.01

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 2.2 permite evidenciar la relación de kilogramos del tipo de GEI por cada kilómetro recorrido, el cual es notoriamente mayor para el CO₂, alcanzando el 98.6 % de los gases totales medidos.

Diseño y resultados de la metaheurística

Para la solución del PRP la búsqueda tabú (Ts) ha resultado ser de las más efectivas, proporcionando un buen compromiso entre la calidad de la solución y el tiempo de computación (Nguyen et al., 2013).

La secuenciación de las rutas evalúa n configuraciones, donde n es el número de clientes y el algoritmo encuentra la mejor solución inicial S_0 . Una vez desarrollada la S_0 , se implementa el algoritmo de la búsqueda tabú. En cada iteración de la búsqueda tabú se hace un cambio o actualización en la estructura de la solución que reestablecerá la solución inicial de la siguiente iteración en cada nivel de decisión propuesto, generando variaciones en el *fitness* a evaluar con el fin de encontrar mejoras en estos (Michalewicz y Fogel, 1999). El *fitness* se define como la suma de los costos de usar los di-

ferentes tipos de vehículos, costos de los conductores y de las emisiones liberadas al medioambiente, calculados en la sección anterior.

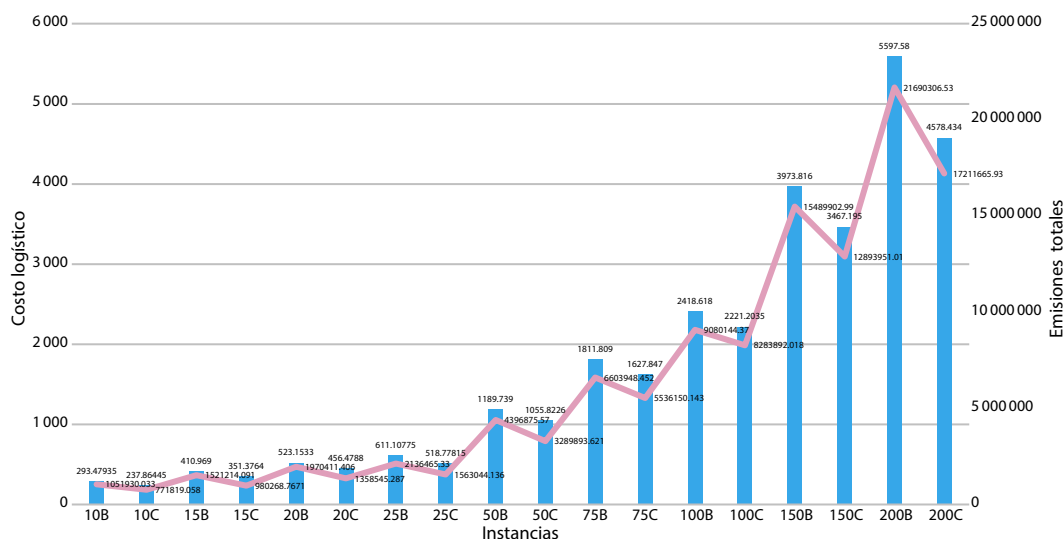
La solución generada describe la secuencia de visitas a los clientes, en donde se evidencia el número de vehículos utilizados. El costo total generado en la ruta toma en cuenta el pago a conductores, los costos fijos de uso de los vehículos, el costo de emisión de los contaminantes medidos y el tiempo promedio para ejecutar el algoritmo. En la tabla 2.3 se pueden apreciar estos resultados.

Tabla 2.3. Resultados de la metaheurística para cada conjunto de instancias

Instancia	Promedio de costo total (USD)	Promedio de distancia (km)	Promedio de total vehículos (unidades)	Promedio de tiempo total (s)
15C	351.38	948.18	4.00	9.15
50C	1 055.82	2 656.17	12.00	150.34
75C	1 627.85	4 047.58	18.00	416.40
100C	2 221.20	5 444.53	24.00	987.33
150C	3 467.20	8 353.22	40.00	3 134.58

Fuente: Elaboración propia.

Figura 2.2. Emisiones totales y costo logístico por instancia



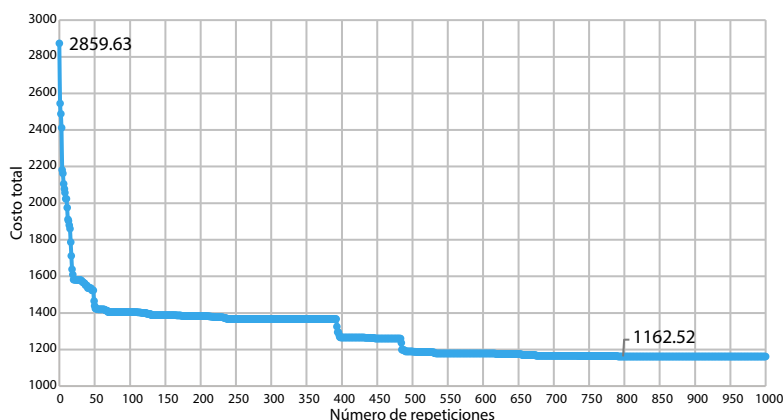
Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la tabla 2.3, la TS diseñada logra obtener los costos totales de las rutas. Asimismo, y teniendo en cuenta las distancias recorridas en las rutas para el total de gases, se pueden contabilizar los vehículos usados y el tiempo computacional para lograr la mejor solución final, se evidencia como al incrementar los nodos a visitar, el tiempo computacional se incrementa exponencialmente. Finalmente, en la figura 2.2 se pueden comparar los costos totales según el conjunto de instancia y el total de emisiones liberadas a la atmósfera.

Validación de resultados

La TS tiene el objetivo de encontrar los menores costos totales de las rutas. En ese sentido, para validar la convergencia del algoritmo se realizaron experimentos con instancias pequeñas (15 nodos), medianas (50 nodos) y grandes (100 nodos). Tomando en cuenta un total de 1 000 repeticiones, en la figura 2.3 se identifica la curva descrita por los resultados del algoritmo en una instancia de 50 clientes. En donde se puede visualizar un decrecimiento paulatino, desde un costo inicial de \$2 860 al mínimo posible, \$1 163, en la iteración 791. La curva dibujada permite corroborar como el algoritmo a medida que realiza cada iteración encuentra un mejor resultado final.

Figura 2.3. Convergencia del algoritmo en un conjunto de 50 clientes (nodos)



Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

Si bien la literatura destaca como principal gas de efecto invernadero el CO_2 , causado por el sector transporte aproximadamente con un 79 % de las emisiones del total de GEI liberados. Este estudio añade otros gases como el NO_2 y el CO para su respectiva medición de emisiones seleccionado considerando la distancia recorrida por los vehículos, inclinación de las carreteras, carga transportada en la ruta y velocidad de circulación.

En cuanto a la metodología para solucionar el PRP, debido al alto nivel de complejidad (NP-Hard) con la extensión de las características seleccionadas en esta investigación, se utiliza como método la metaheurística de búsqueda tabú, que realiza una búsqueda más robusta en el espacio de solución, incorporando mecánicas para escapar de los óptimos locales. Es de las más usadas y recomendadas en la literatura, dado que mediante su memoria adaptativa permite guiar la exploración eficaz y eficientemente gracias a la información obtenida a lo largo del proceso de búsqueda y mediante su exploración responsiva. También considera la suposición de que una mala decisión estratégica puede generar pistas que conduzcan a una zona prometedora del espacio de solución

Del mismo modo para la validación de la solución de la metaheurística elegida se usó el conjunto de instancias referencia en la literatura, alcanzado para todas las instancias la eficiencia del algoritmo en relación con la contaminación, los costos logísticos y el uso de vehículos. Los resultados contribuyen a proporcionar una solución que requiera menos vehículos para realizar eficientemente la misma cantidad de trabajo. Esto es importante en los sistemas de logística urbana, ya que aporta a la reducción de la presencia de vehículos en las calles de la ciudad y, por tanto, de su impacto negativo en la congestión y el medio ambiente.

A pesar de que el algoritmo desarrollado permite alcanzar una mejora significativa en un tiempo computacional aceptable, es sabido que la escalabilidad del algoritmo podría mejorarse. El operador propuesto para la secuencia de nodos realiza una búsqueda exhaustiva que abarca la mayoría del tiempo de computación. Por tal motivo, como trabajo futuro se piensa modificar este aspecto para hacer más atractiva la metodología de solución.

Referencias

- Abdi, A., Abdi, A., Akbarpour, N., Amiri, A. S. y Hajiaghaei-Keshteli, M. (2020). Innovative approaches to design and address green supply chain network with simultaneous pick-up and split delivery. *Journal of Cleaner Production*, 250, 119437. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119437>
- Aithor. (2023). *La influencia de los vehículos en el desarrollo económico de las ciudades*. <https://aithor.com/essay-examples/la-influencia-de-los-vehiculos-en-el-desarrollo-economico-de-las-ciudades>
- Arboleda Zúñiga, J., Gaviria-Gómez, J. A. y Álvarez-Romero, J. A. (2018). Propuesta de ruteo de vehículos con flota heterogénea y ventanas de tiempo (HFVRPTW) aplicada a una comercializadora pyme de la ciudad de Cali. *Revista de Investigación*, 11(1), 39-55. <https://doi.org/10.29097/2011-639x.178>
- Bektaş, T. y Laporte, G. (2011). The pollution-routing problem. *Transportation Research Part B: Methodological*, 45(8), 1232-1250. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2011.02.004>
- Braekers, K., Ramaekers, K. y Van Nieuwenhuyse, I. (2016). The vehicle routing problem: State of the art classification and review. *Computers and Industrial Engineering*, 99, 300-313. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2015.12.007>
- Departamento Nacional de Planeación. (2020). *Encuesta Nacional Logística*. Gobierno Nacional de Colombia.
- Erdoğan, S. y Miller-Hooks, E. (2012). A green vehicle routing problem. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(1), 100-114. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2011.08.001>
- Fukasawa, R., He, Q. y Song, Y. (2016). A disjunctive convex programming approach to the pollution-routing problem. *Transportation Research Part B: Methodological*, 94, 61-79. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2016.09.006>
- Glover, F. (1989, 1 de agosto). Tabu search: Part I. *ORSA Journal on Computing*, 1(3), 190-206. <https://doi.org/10.1287/ijoc.1.3.190>
- Gutiérrez-Padilla, M. V., Morillo-Torres, D. y Gatica, G. (2021). A novel mathematical model for a discrete speed pollution routing problem with time windows in a Colombian context. *IFAC-PapersOnLine*, 54(1), 229-235. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.08.027>
- Hickman, A. J., Hassel, D., Jourmard, R., Samaras, Z. y Sorenson, S. C. (1999). *Methodology for calculating transport emissions* (Project Report Se/491/98). Commission of the European Communities. <https://trimis.ec.europa.eu/system/files/project/documents/meet.pdf>
- Kramer, R., Subramanian, A., Vidal, T. y Cabral, L. D. A. F. (2015). A matheuristic approach for the Pollution-Routing Problem. *European Journal of Operational Research*, 243(2), 523-539. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2014.12.009>
- Li, J., Wang, D. y Zhang, J. (2018). Heterogeneous fixed fleet vehicle routing problem based on fuel and carbon emissions. *Journal of Cleaner Production*, 201, 896-908. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.08.075>

- Lin, C., Choy, K. L., Ho, G. T. S., Chung, S. H. y Lam, H. Y. (2014). Survey of Green Vehicle Routing Problem: Past and future trends. *Expert Systems with Applications*, 41(4 part 1), 1118-1138. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2013.07.107>
- Liu, C., Kou, G., Zhou, X., Peng, Y., Sheng, H. y Alsaadi, F. E. (2020). Time-dependent vehicle routing problem with time windows of city logistics with a congestion avoidance approach. *Knowledge-Based Systems*, 188, 104813. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2019.06.021>
- Marecek, J. (2010). Handbook of Approximation Algorithms and Metaheuristics. *The Computer Journal*, 53(8). <https://doi.org/10.1093/comjnl/bxp121>
- Michalewicz, Z. y Fogel, D. B. (1999). *How to solve it*. Modern Heuristics.
- Moryadee, C., Aunyawong, W. y Shaharudin, M. R. (2019). Congestion and pollution, vehicle routing problem of a logistics provider in Thailand. *The Open Transportation Journal*, 13(1), 203-212. <https://doi.org/10.2174/1874447801913010203>
- Naderipour, M. y Alinaghian, M. (2016). Measurement, evaluation and minimization of CO₂, NO_x and CO emissions in the open time dependent vehicle routing problem. *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, 90, 443-452. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2016.04.043>
- Nguyen, P. K., Crainic, T. G. y Toulouse, M. (2013). A tabu search for time-dependent multi-zone multi-trip vehicle routing problem with time windows. *European Journal of Operational Research*, 231(1), 43-56. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2013.05.026>
- Puenayán, D. E., Londoño, J. C., Escobar, J. W. y Linfati, R. (2014). Un algoritmo basado en búsqueda tabú granular para la solución de un problema de ruteo de vehículos considerando flota heterogénea. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 13(25), 81-98. <https://doi.org/10.22395/rium.v13n25a6>
- Santana, J. B., Rodríguez, C. C., García López, F. C., García Torres, M., Batista, B. M., Moreno Pérez, J. A. y Moreno Vega, J. M. (2004). *Metaheurísticas: Una revisión actualizada*. Universidad de La Laguna, Departamento de Estadística, Investigación Operativa y Computación.
- United States Environmental Protection Agency. (2022). *Inventory of U.S. greenhouse gas emissions and sinks: 1990-2020*.

3. Análisis del tráfico vehicular en Colotlán: Estudio basado en simulaciones



ANA LUCÍA SERRANO OCHOA*

RACHID MARZOUG**

JUAN PABLO ASTUDILLO LEÓN***

ANA ROSA CARRILLO ÁVILA****

LETICIA LEMUS CÁRDENAS*****

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.348.03>

Resumen

La seguridad vial comprende todo un conjunto de estrategias y medidas aplicadas para garantizar una movilidad segura para conductores y peatones. Sin embargo, esta tarea se vuelve más compleja con el crecimiento del tránsito y las ciudades, lo que trae consigo el aumento de riesgo de accidentes, congestión vial y contaminación.

Colotlán registra un elevado índice de accidentes, con 230 incidentes documentados entre 2021 y 2023, según estadísticas del INEGI (2020). Los principales afectados son conductores de automóviles particulares y motocicletas. Es evidente la existencia de una problemática significativa en la movilidad y los riesgos asociados a los accidentes.

Este trabajo analiza la movilidad en la infraestructura vial de la ciudad, enfocándose en la zona de mayor incidencia de accidentes para identificar soluciones que reduzcan riesgos y mejoren la movilidad. El estudio se

* Ingeniera Industrial con especialidad en Six Sigma. Maestrante en la Universidad de Guadalajara, México. Correo electrónico: ana.serrano2007@cunorte.udg.mx

** Doctor en Física Computacional. Profesor-investigador de tiempo completo de la Universidad de Guadalajara, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6578-696X> ; Scopus: 56142173900

*** Doctor en Ingeniería Telemática. Profesor en Yachay Tech, Ecuador. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7291-3584> ; Scopus: 57204736794

**** Doctora en Ciencias de la Educación. Profesora de la Universidad de Guadalajara, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7334-0378>

***** Doctora en Ingeniería Telemática. Profesora de tiempo completo de la Universidad de Guadalajara, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9139-5666>

ha planteado para desarrollarse en dos etapas: la aplicación de encuestas origen-destino (EOD) para recopilar datos de los patrones de viaje de los residentes de la ciudad, y la simulación del tráfico vehicular con SUMO (simulación de movilidad urbana).

Los resultados preliminares muestran retos importantes: tiempos irregulares en los flujos de tráfico que generan largas colas y desorden en cruces vehiculares. Además, las emisiones de CO₂ están cerca de los límites permitidos, mientras que los niveles de ruido en horas pico superan los valores aceptables, lo que puede afectar la salud y el bienestar. Este análisis busca aportar estrategias basadas en datos precisos y simulaciones realistas para mejorar la seguridad y la eficiencia en la movilidad de Colotlán.

Palabras clave: *SUMO, tráfico vehicular, seguridad vial, emisiones de CO₂, mejora.*

Introducción

La seguridad vial y la movilidad urbana son esenciales para el bienestar de las personas, ofrece acceso a servicios, desarrollo económico, conectividad y reducción de tiempos de desplazamiento. Sin embargo, el crecimiento del tráfico y las limitaciones de infraestructura han aumentado la congestión, los accidentes y la contaminación, lo que afecta negativamente la calidad de vida de los ciudadanos (Thomson y Bull, 2001).

La ciudad de Colotlán no está alejada de este contexto, ya que en un estudio reciente se revela un crecimiento exponencial de accidentes en los últimos años. Entre los años 2021 al 2023 se registraron 230 accidentes, que afectaron principalmente a motocicletas y automóviles particulares, con una tasa de accidentes de 0.35 % en el 2022, superando la media estatal de 0.165 % (INEGI, 2020).

La seguridad vial es clave para el desarrollo sostenible, ya que mejora el uso de recursos y reduce los impactos ambientales como la contaminación y el consumo energético. La planificación vial eficiente, en conjunto con tecnologías limpias y transporte sostenible, disminuye la huella ecológica (Doménech, 2009).

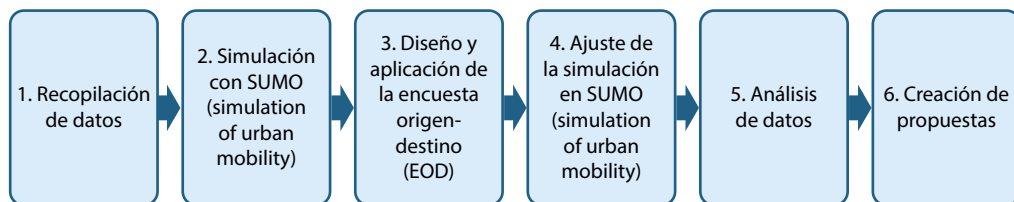
Este trabajo se alinea con los ODS 11 y 13, los cuales promueven las ciudades sostenibles y acción contra el cambio climático. Un transporte eficiente reduce accidentes, emisiones de CO₂, ruido y congestión, lo que mejora la calidad de vida y contribuye a la lucha contra el cambio climático (Naciones Unidas, 2015).

El objetivo de esta investigación es caracterizar y ayudar a mejorar el tráfico vehicular en Colotlán, evaluando su impacto en la seguridad vial y el medioambiente a través de simulaciones. Con el fin de identificar soluciones que ayuden disminuir estos riesgos y mejoren la movilidad, el estudio se centró en adaptar y representar el panorama realista de la zona de mayor incidencia de accidentes en un entorno de simulación. Para ello se organizó el trabajo en 6 etapas que se explicarán en el siguiente apartado de metodología.

Metodología

Para llevar a cabo esta investigación, se ha diseñado una metodología en seis etapas como se puede ver la figura 3.1, basada en un enfoque cuantitativo que facilita un análisis y una mejor comprensión del tráfico vehicular en Colotlán. Esta metodología combina la recopilación y análisis de datos reales con simulaciones avanzadas, lo que permite una evaluación precisa de la situación actual y la propuesta de soluciones eficientes.

Figura 3.1. *Etapas del proceso metodológico*



Fuente: Elaboración propia.

Diseño del estudio

El estudio utiliza un enfoque cuantitativo no experimental, con simulaciones que modelan escenarios hipotéticos mediante la herramienta SUMO (Akhter et al., 2020). No se manipulan variables en un entorno real, sino que se ajustan virtualmente para evaluar el impacto de los cambios en la infraestructura vial y señalización. El objetivo es analizar cómo los tiempos de espera, las emisiones de CO₂ y los niveles de ruido (dB) responden a intervenciones en la infraestructura. A través de un enfoque descriptivo y correlacional se busca identificar patrones de tráfico y su relación con accidentes e impacto ambiental en Colotlán.

La investigación se sustenta en la recopilación de datos primarios y secundarios, obtenidos a través de registros oficiales de tránsito, grabaciones de tráfico y la encuesta origen-destino (EOD) aplicada a la población local. Estos insumos proporcionan una base sólida para evaluar la situación actual y proponer soluciones para mejorar la movilidad y la seguridad vial en la ciudad.

Métodos utilizados

La investigación se estructura en seis etapas y emplea métodos que permiten una recolección rigurosa de datos y análisis cuantitativo. A continuación, se describen los métodos utilizados en cada fase del estudio.

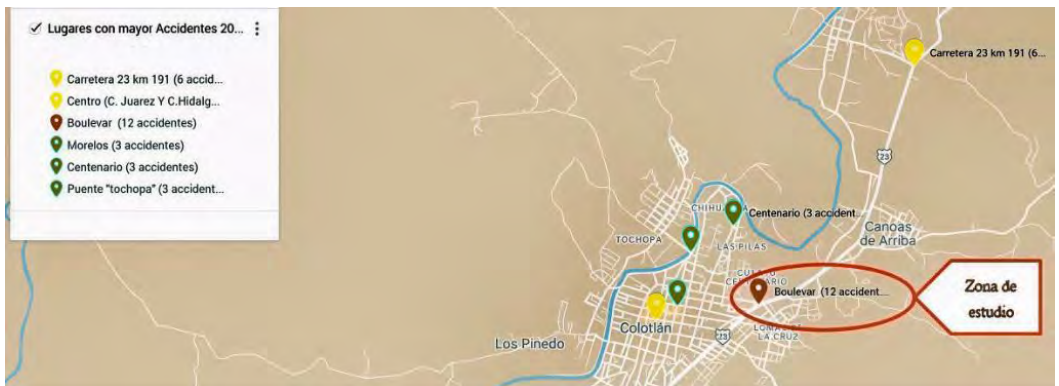
Recopilación de datos

En esta etapa, se recopilan datos históricos de accidentes registrados en Colotlán durante los últimos dos años (2021-2023). Para identificar los puntos críticos con mayor incidencia, se realizaron consultas con los oficiales del Departamento de Tránsito, la dependencia encargada de regular y supervisar la seguridad vial en el municipio.

La intersección del bulevar de Colotlán, en Jalisco, presenta una zona complicada para el tránsito vehicular, como se muestra en la figura 3.2. Este

cruce conecta varias direcciones, sin embargo, no tiene semáforos y ni suficiente señalización, lo que representa un conflicto de tránsito para los vehículos y con ello un alto riesgo de accidentes. Además, algunos de sus carriles son el cruce hacia calles secundarias y accesos a zonas residenciales, lo que contribuye a periodos de congestión, específicamente durante las entradas y salidas de escuelas (7:00 am y 2:00 pm).

Figura 3.2. Mapa de detección de accidentes viales en Colotlán Jalisco (2021-2023)



Fuente: Elaboración propia con base en datos históricos del Departamento de Tránsito de Colotlán, Jalisco (<https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1noapyDvMoJ6fXYzKiQosGlbjPRchKA9Q&usp=sharing>).

Por consiguiente, para conocer el comportamiento de la movilidad en esta zona se procedió a realizar grabaciones del flujo vehicular durante las horas pico con el fin de recolectar datos clave sobre:

- *Flujos vehiculares*: cuántos vehículos circulan por hora.
- *Demanda vehicular*: cuántos vehículos usan diferentes partes de la intersección.
- *Clasificación de vehículos*: cuántos son autos particulares, transporte público, motocicletas, etc.

La figura 3.3 muestra la zona de estudio en el bulevar de Colotlán, resaltada con los flujos de tránsito vehicular, identifica las rutas para realizar el conteo y la clasificación de los vehículos. Con esta información es posible evaluar cómo se distribuye la demanda vehicular durante las horas pico.

Figura 3.3. *Detección del flujo vehicular (origen y destino) y conteo de vehículos*



Fuente: Elaboración propia.

La clasificación de los vehículos se realizó en categorías que incluyen automóviles particulares, motocicletas, transporte público y camiones de carga pesada, organizada con los datos recabados durante una hora, a mitad de semana en el horario pico de las 2 pm. Esta clasificación se describe en la tabla 3.1.

Tabla 3.1. *Clasificación y conteo de tráfico vehicular en Colotlán, Jalisco, el miércoles 20 de marzo de 2024 a las 2 pm*

Origen	Destino	Tipo de vehículo (veh/h)				Total (veh/h)
		Vehículo particular	Camión de carga pesada	Motocicletas o mototaxis	Transporte público	
Salida del pueblo de Colotlán (Punto 1)	Entrada al pueblo de Colotlán (Punto 2)	9	0	0	0	9
	Salida hacia el CUNorte (Punto 4)	219	12	102	9	342
	Salida al ómnibus (Punto 6)	171	15	39	0	225
	Entrada a la calle La Montosa (Punto 7)	30	9	10	0	54

Origen	Destino	Tipo de vehículo (veh/h)				Total (veh/h)
		Vehículo particular	Camión de carga pesada	Motocicletas o mototaxis	Transporte público	
Entrada al bulevar desde los ómnibus (Punto 5)	Entrada al pueblo de Colotlán (Punto 2)	243	93	99	3	438
	Salida hacia el CUNorte (Punto 4)	384	48	153	6	591
	Salida al ómnibus (Punto 6)	6	0	0	0	6
	Entrada a la calle La Montosa (Punto 7)	30	6	27	0	63
Entrada al bulevar desde el CUNorte (Punto 3)	Entrada al pueblo de Colotlán (Punto 2)	180	18	51	3	252
	Salida hacia el CUNorte (Punto 4)	15	3	3	0	21
	Salida al ómnibus (Punto 6)	291	24	69	0	384
	Entrada a la calle La Montosa (Punto 7)	18	9	12	0	39
Entrada a la Calle La montosa (Punto 7)	Entrada al pueblo de Colotlán (Punto 2)	6	0	0	0	6
	Salida hacia el CUNorte (Punto 4)	18	6	12	0	36
	Salida al ómnibus (Punto 6)	15	3	15	0	33

Fuente: Elaboración propia.

Esta información recopilada en tiempo real proporciona una visión integral del tráfico en Colotlán. Posteriormente, estos datos son utilizados como insumos para la simulación en la siguiente fase de la metodología.

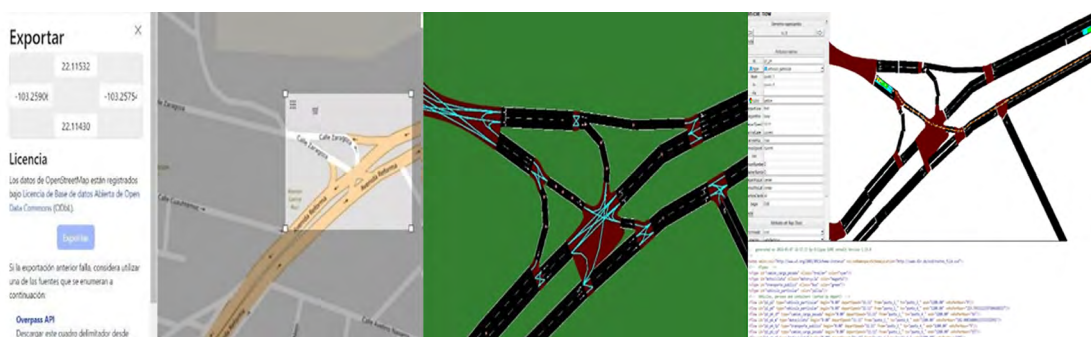
Simulación con SUMO (*simulation of urban mobility*)

SUMO (simulación de movilidad urbana) es un simulador de tráfico abierto microscópico y de código que permite modelar el flujo vehicular en redes viales reales, que integra datos de OpenStreetMap. Este simulador se utiliza para analizar movilidad, emisiones y consumo de combustible, apoyando estudios de tráfico y planificación urbana (Álvarez et al., 2018).

En esta fase, los datos recopilados en el paso 1 —incluyendo la red vial, flujos de tráfico, demanda y clasificación vehicular, así como puntos de origen y destino— se importan y programan en el simulador. En la figura 3.4

se muestra el proceso de configuración del escenario en SUMO (versión 1.21.0), utilizando datos estadísticos y gráficos reales, extraídos desde la plataforma OpenStreet maps (figura 3.4a) para el mapa con la red de carreteras a simular. El mapa con su infraestructura vial una vez cargado en el simulador (figura 3.4b) con los sentidos de flujo vehicular es posible agregar el número de vehículos calculados previamente para cada una de las rutas identificadas (figura 3.4c).

Figura 3.4. Configuración del escenario realista en el simulador de la zona de estudio



Notas: A = extracción de red de carreteras por medio de OpenStreetMap; B = configuración de la zona de estudio en SUMO; C = configuración de demanda vehicular y rutas en SUMO mediante Python.

Fuente: Elaboración propia.

Este paso permite adaptar la red simulada a las características específicas de la zona de estudio, lo que asegura una representación precisa de las condiciones reales del tráfico. Una vez configurado el escenario con estos datos se procedió a ejecutar las simulaciones para evaluar:

- Tiempos de espera en intersecciones y cruces principales
- Niveles de ruido (dB) en diferentes zonas de la ciudad
- Las emisiones de CO₂ generadas por los vehículos

La tabla 3.2 muestra las versiones del modelo de medición de emisiones de gases que dispone el simulador, HBEFA (Handbook emission factors for road transport / Manual de factores de emisión para el transporte por carretera), desarrollado por las agencias de protección ambiental Alemania,

Suiza y Austria, estima las emisiones según el tipo de vehículo, velocidad y comportamiento de conducción. Las emisiones se especifican en g/km para todas las categorías de vehículos especificadas por la versión 3 de este modelo: automóviles de pasajeros (HBEFA3(PC_G_EU4), vehículos pesados (HBEFA3/HDV), vehículo ligero comercial (HBEFA3/LDV_G_EU6) o autobús (HBEFA3/Bus). En este trabajo se seleccionan los modelos HBEFA3, adaptados a la flota vehicular de la zona de estudio, para obtener estimaciones precisas de las emisiones (Akhter et al., 2020).

Tabla 3.2. Descripción detallada del modelo HBEFA3

Modelo	Significado de las siglas	Clasificación del vehículo	Normativa/características
HBEFA3/PC_G_EU4	Turismo, gasolina, euro 4	Automóviles de pasajeros	Motor gasolina, euro 4 (2005-2009).
HBEFA3/HDV	Vehículo pesado	Vehículos pesados (camiones, tráileres)	Principalmente motores diésel.
HBEFA3/LDV_G_EU6	Vehículo ligero, gasolina, Euro 6	Vehículos ligeros comerciales (SUV, camionetas)	Motor a gasolina, euro 6 (2014+).
HBEFA3/Autobús	Autobús	Autobuses urbanos o interurbanos	Motor diésel o gas natural.

Fuente: Documentación SUMO-basada en HBEFA3 (Centro Aeroespacial Alemán, 2024).

La simulación permite obtener información detallada sobre el comportamiento del tráfico bajo las condiciones actuales y simular escenarios realistas, para generar la oportunidad de hacer modificaciones a fin de evaluar y mejorar en la movilidad e impacto de las emisiones de gases. Una parte importante previa a la simulación es la configuración de los datos que se quieren obtener como salida de este proceso, con el fin de analizarlos y evaluar el comportamiento en cada escenario acorde a las variables: emisiones de CO₂, tiempos de espera y nivel de ruido.

Diseño y aplicación de la encuesta origen-destino (EOD)

Las encuestas origen-destino son una fuente importante de información para conocer cómo se mueven las personas en una ciudad. A fin de contrastar la información recabada en las grabaciones del tráfico realizadas con

datos sobre la movilidad de la población en la zona de estudio, se diseñó un instrumento tipo EOD. El enfoque principal de esta encuesta es sobre aspectos importantes, como motivos de los viajes, horarios en los que se realizan, tipo de transporte y duración de los desplazamientos.

La estructura diseñada de la encuesta está conformada por 4 secciones y un total de 20 preguntas, aborda información demográfica, rutas de viaje, experiencias y comentarios.

Los resultados de la encuesta EOD muestra coherencia con los datos registrados, destacando la ruta del punto 1 al punto 4 (salida del pueblo hacia el CUNorte) como la más percibida por el 47.7 % de los encuestados, con un registro de 342 vehículos por hora. Sin embargo, la mayor densidad vehicular corresponde a la ruta del punto 5 al punto 4 (entrada al bulevar desde los ómnibus hacia el CUNorte), con 591 vehículos por hora y un 21.9 % en la encuesta. La ruta del punto 5 al punto 1 (entrada al bulevar hacia el pueblo) se identifica con un 9.6 % y 225 vehículos por hora (*vid.* figura 3.3). Esto valida la integración de ambas fuentes para un análisis más completo de la movilidad.

Ajuste de la simulación en SUMO (*simulation of urban mobility*)

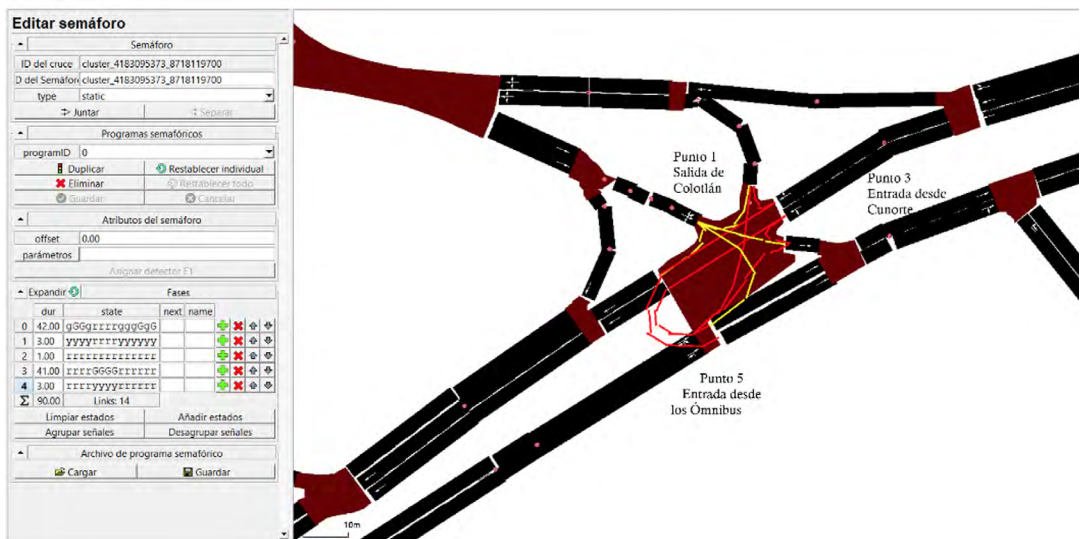
Con los datos obtenidos de la encuesta EOD, se realizó el ajuste de la configuración de la demanda vehicular, los patrones de origen y destino, y los parámetros de simulación en SUMO. Estos ajustes favorecen la precisión de las simulaciones y permiten evaluar el impacto de los cambios en el comportamiento de la movilidad.

Una vez configurado el escenario realista en el simulador, ajustado con los datos obtenidos de las grabaciones y validado con la información recolectada a través de la encuesta, se establece una base sólida para simular la movilidad de la zona de estudio. A partir de este escenario, es posible proponer diversas configuraciones y simularlas para analizar sus efectos sobre las variables de interés: tiempos de espera, emisiones de CO₂ y ruido. Como parte del estudio se realizó la configuración de dos propuestas enfocadas en el control del tráfico.

Semáforos estáticos con ciclo de 90 segundos

La primera propuesta configurada es un escenario con un sistema de semáforos. En esta propuesta, los 90 segundos corresponden a la duración total de un ciclo completo del semáforo, que incluye las fases de luz verde, amarilla y roja. Este tiempo se considera básico y estándar para regular de manera eficiente el flujo vehicular en intersecciones con tráfico moderado (Valentin y Arias, 2024). La figura 3.5 muestra la ubicación de los semáforos configurados en el escenario de simulación, los cuales se corresponden estratégicamente con las tres entradas principales de tráfico vehicular de la zona de estudio.

Figura 3.5. Configuración del escenario con semáforo estático de 90 segundos en el SUMO



Fuente: Elaboración propia.

El semáforo de este tipo conlleva una configuración determinada, en la cual se especifica el tiempo en segundos para cada uno de los estados posibles, es decir, para cada color: verde (g/G), rojo (r) y amarillo (y). En la tabla 3.3 se muestra la configuración aplicada del semáforo.

Tabla 3.3. Configuración del ciclo de semaforización de 90 segundos

<i>Fase</i>	<i>Tiempo (s)</i>	<i>Estado</i>	<i>Descripción</i>
1	41.00	g GG rrgg GG	Luz verde prolongada para las fases 2 y 3
2	3.00	yyyrryyy	Transición amarilla para las fases 2 y 3
3	1.00	Rrrrrrrr	Pausa en rojo para todas las rutas
4	41.00	rrr GGG r GG	Luz verde prolongada para la fase 1
5	3.00	rrryyyry	Transición amarilla para la fase 1
6	1.00	Rrrrrrrr	Pausa en rojo para todas las rutas
Total	90.00		

Fuente: Elaboración propia.

Semáforos con ciclo de 60 segundos basados en demanda vehicular

La segunda propuesta consiste en optimizar los semáforos al ajustar dinámicamente los tiempos de luz verde según la demanda vehicular registrada en cada ruta. Investigaciones como la de Jiménez y Sarmiento (2011) han demostrado que este enfoque reduce la congestión, aumenta la velocidad promedio, mejora la experiencia de los conductores y disminuye las emisiones de CO₂. Los parámetros de esta configuración se muestran en la tabla 3.4.

Tabla 3.4. Configuración del ciclo de semaforización de 60 segundos bajo demanda vehicular

<i>Fase</i>	<i>Tiempo (s)</i>	<i>Estado</i>	<i>Descripción</i>
1	16.00	rrrGGGrGG	Luz verde que favorece rutas secundarias en dos direcciones.
2	1.00	rrryyyry	Transición amarilla para cesar el movimiento en una intersección específica.
3	1.00	yyyrrrry	Luz amarilla como advertencia antes del cese total del movimiento.
4	17.00	GGGrrrrGG	Luz verde prolongada para rutas principales.
5	1.00	yyyrrrry	Transición amarilla para rutas principales.
6	1.00	rrrryyyy	Breve advertencia amarilla antes del cese del flujo.
7	22.00	rrrrGGGG	Luz verde para rutas menos transitadas, evitando largos tiempos de espera.
8	1.00	rrryGyGG	Equilibrio de colas en rutas secundarias.
Total	60.00		

Fuente: Elaboración propia.

Estas configuraciones propuestas conforman la pauta inicial de pruebas para ubicar qué elementos de infraestructura vial favorecen a mejorar la movilidad vehicular y con ello la reducción de riesgo de accidentes.

Resultados y discusión

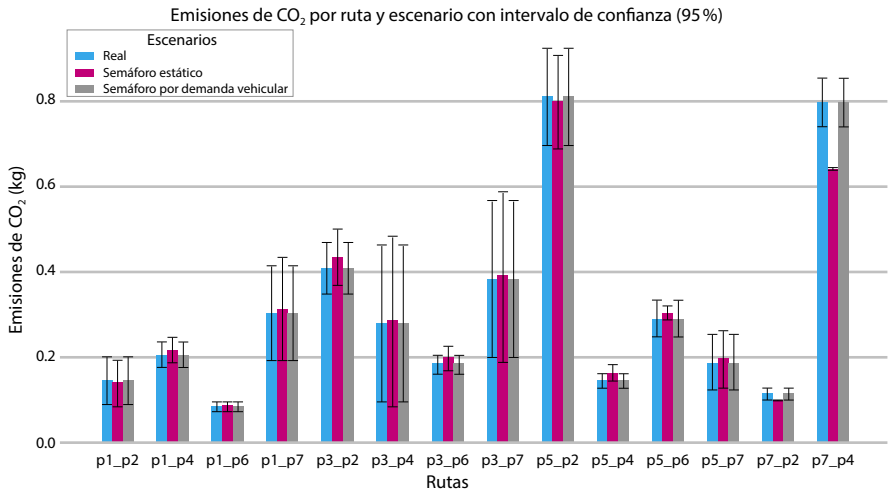
Como parte del estudio basado en simulaciones, el primer paso ha sido trasladar el comportamiento del tráfico real a un entorno de simulación.

El análisis y evaluación consiste en la revisión de tres escenarios: el escenario real (escenario 1) y dos propuestas con un sistema de semáforos (escenario 2 y escenario 3), que miden el tiempo de espera acumulado de los vehículos al transitar por la zona, las emisiones CO₂ y los niveles de ruido. A continuación, se detallan los resultados obtenidos de los escenarios.

Emisiones de CO₂

Los resultados sobre las emisiones de CO₂, en el escenario 1, correspondiente a la situación actual, presenta un total de 301.19 kg con una concentración de 1 533 ppm, superando el límite de 1 000 ppm que es considerado perjudicial para la salud (Unión Europea, 2015). En comparación, el escenario 2 registra 368.28 kg y 1 873 ppm, mientras que el escenario 3 alcanza hasta 360.7 kg y 1 834 ppm. La comparación de estos tres escenarios en las diversas rutas puede observarse en la figura 3.6. Aunque el escenario 2 muestra una disminución en la ruta del punto 3.7 al punto 4, en el resto de las rutas las emisiones aumentan o se mantienen similares. Estos resultados evidencian la necesidad de implementar estrategias más efectivas para mitigar el impacto ambiental, reducir las concentraciones de CO₂ y mejorar la calidad.

Figura 3.6. Comparación de los diversos escenarios en cuanto a las emisiones de CO₂



Fuente: Elaboración propia.

Niveles de ruido

Los niveles de ruido superan los 65 dB en el escenario 1, excediendo los 55 dB recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2022), lo que podría afectar la salud de los residentes. El escenario 2 muestra un nivel de ruido de 63.11 dB, mientras que el escenario 3 presenta 62.84 dB. Aunque los niveles de ruido en los dos escenarios con semáforos son menores que en el escenario 1, todavía superan el límite recomendado por la OMS. Esto resalta la importancia de implementar medidas para gestionar el ruido urbano y proteger la salud de la población (OMS, 2022).

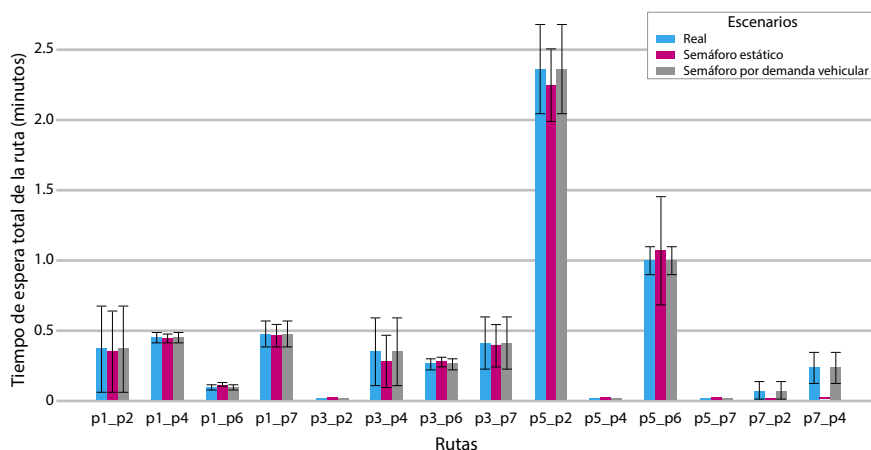
Tiempos de espera

El tiempo promedio de espera por vehículo en el escenario 1, correspondiente a la situación actual, es de 17.68 segundos. En contraste, los escenarios 2 y 3, propuestos como alternativos al escenario 1, muestran un aumento a 24.05 segundos y 25.93 segundos, respectivamente. La figura 3.7 evidencia

un desequilibrio en las colas de tráfico, con incrementos significativos en el tiempo de espera en ciertas rutas, como la del punto 5 al punto 2. Estos resultados sugieren que las propuestas de los escenarios 2 y 3 podrían no ser efectivas para reducir los tiempos de espera, ya que presentan un aumento en comparación con la situación actual.

Figura 3.7. *Tiempo de espera por vehículo en cada ruta (min)*

Tiempo de espera total de la ruta y escenario con intervalo de confianza (95 %)



Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

En este trabajo se identificó uno de los puntos con mayor incidencia de accidentes en la ciudad de Colotlán. Un aspecto relevante de esta zona a la que ocupa esta investigación es el estado de su infraestructura de señalización, que presenta deficiencias y convierte al lugar en un cruce conflictivo con escasa orientación para la movilidad vehicular.

Los resultados preliminares de la investigación muestran que las rutas punto5_punto2 y punto1_punto4 presentan tiempos de espera elevados debido a la congestión vehicular, especialmente por la presencia de vehículos de carga pesada. Este congestionamiento también genera un aumento en las emisiones de CO₂ y los niveles de ruido, lo que supera los límites

recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), que puede tener un impacto negativo en la salud pública y la calidad de vida de la población.

En cuanto a los semáforos implementados, los resultados muestran que los sistemas basados en la demanda vehicular no han mejorado el flujo de tráfico como se esperaba. Los tiempos de espera aumentan, las emisiones incrementaron y la velocidad promedio disminuyó, especialmente en el escenario 2, que generó las mayores emisiones. Estos resultados sugieren que los semáforos, en su configuración actual, podrían contribuir a la congestión en lugar de aliviarla.

Sin embargo, es importante considerar que un sistema de semáforos permite un control en el flujo vehicular y, por ende, una disminución en riesgos de accidentes. Dado estos hallazgos, se llevará a cabo una reevaluación exhaustiva de la zona y se formularán propuestas adicionales para mejorar la movilidad y la seguridad vial. Esto incluirá la reconfiguración de las rutas, una evaluación de la demanda vehicular futura y un análisis más detallado sobre la viabilidad de los semáforos a largo plazo. Estas nuevas propuestas permitirán una mejor comprensión sobre cómo intervenir en la infraestructura vial de manera efectiva y sostenible, para ajustar las soluciones a las necesidades específicas de cada ruta.

Referencias

- Agencia Europea de Medio Ambiente. (2015). *Visión general*. Unión Europea. https://european-union.europa.eu/institutions-law-budget/institutions-and-bodies/search-all-eu-institutions-and-bodies/european-environment-agency-eea_es
- Akhter, S., Ahsan, Md. N., Quaderi, S. J. S., Forhad, Md. A. Al, Sumit, S. H. y Rahman, Md. R. (2020). A SUMO based simulation framework for intelligent traffic management system. *Journal of Traffic and Logistics Engineering*, 1-5. <https://doi.org/10.18178/jtle.8.1.1-5>
- Álvarez López, P. A., Behrisch, M., Bieker-Walz, L., Erdmann, J., Flötteröd, Y.-P., Hilbrich, R., Lücken, L., Rummel, J., Wagner, P. y Wiessner, E. (2018). Microscopic traffic simulation using SUMO. En *2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC)* (pp. 2575-2582). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ITSC.2018.8569938>
- Centro Aeroespacial Alemán. (2024). *SUMO de un vistazo*. Simulation of urban mobility. https://sumo.dlr.de/docs/SUMO_at_a_Glance.html

- Doménech Quesada, J. L. (2009). *Huella ecológica y desarrollo sostenible*. AENOR.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). *Accidentes de tránsito terrestre en zonas urbanas y suburbanas 2021*. <https://www.inegi.org.mx/programas/accidentes/>
- Jiménez Uribe, M. M. y Sarmiento, I. (2011). Sistema adaptativo de control y optimización del tráfico de un corredor vial semaforizado: Aplicación a la ciudad de Medellín. *DYNA*, 78(169), 71–78. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/dyna/article/view/20661>
- Organización de Naciones Unidas. (2015, 17 de septiembre). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Organización Mundial de la Salud. (2022, 2 de marzo). *La OMS publica una nueva norma para hacer frente a la creciente amenaza de la pérdida de audición* (Comunicado de prensa). <https://www.who.int/es/news/item/02-03-2022-who-releases-new-standard-to-tackle-rising-threat-of-hearing-loss>
- Plan Integral de Movilidad Urbana Sustentable. (2017). *Encuesta Origen-Destino*. <https://www.implantepic.gob.mx/descarga/PIMUS/Encuesta%20origen-destino.pdf>
- Thomson, I. y Bull, A. (2001). *La congestión del tránsito urbano: Causas y consecuencias económicas y sociales*. CEPAL, División de Recursos Naturales e Infraestructura.
- Valentin Congora, N. A. y Arias Palomino, J. F. (2024). *Propuesta de semaforización adaptativa en la intersección de la Av. Tomás Valle con la Carretera Panamericana Norte para mitigar la demora vehicular y peatonal mediante microsimulación* [Trabajo de suficiencia profesional]. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas. <http://hdl.handle.net/10757/674459>

Segunda Parte

GESTIÓN SOSTENIBLE DE RESIDUOS

4. Pretratamiento de lodos residuales utilizando campo magnético y ultrasonicación



TANIA GUTIÉRREZ MACÍAS*
EDWIN ALDAIR REZA CHÁVEZ**
ALBERTO ESQUIVEL SOTELO***

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.348.04>

Resumen

Los pretratamientos de lodos promueven la solubilización y reducción del tamaño de los compuestos orgánicos refractarios presentes en los lodos residuales antes de ser digeridos, además, se ha demostrado que pueden fomentar la producción de metano en sistemas anaerobios. Por tal motivo el objetivo del presente trabajo fue evaluar la remoción de materia orgánica de los lodos residuales utilizando campo magnético y ultrasonicación como pretratamiento. Como metodología se utilizó lodo residual primario:secundario de una PTAR en una concentración 70:30. Se utilizó un diseño factorial 2^3 en el *software* Statgraphics y se evaluaron como variables el tiempo de contacto, número de imanes y tiempo de ultrasonicación. Para el pretratamiento con campo magnético se utilizaron imanes permanentes de neodimio (2 y 6) con una densidad magnética de 5 000 G y una velocidad de paso de $13.2 \text{ ml}\cdot\text{s}^{-1}$. Posteriormente, para el pretratamiento con ultrasonicación se utilizó un ultrasonificador Auto Science modelo AS515OB a una potencia de 20 kHz. Como parámetros se evaluó la remoción de la demanda química de oxígeno y sólidos totales. Como resultado se determinaron ocho

* Doctora en Ingeniería Ambiental. Profesora-investigadora del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6760-4800> ; correo electrónico: tgutierrez@secihti.mx

** Maestrante en Ciencias y Tecnología del Agua. Ingeniero de calidad en Baxter de México. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9826-9760>

*** Doctorando en Ciencias y Tecnología del Agua. Tecnólogo del Agua titular A en el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5322-0750>

pruebas de pretratamiento y se obtuvieron remociones de hasta un 26 % de ST y hasta un 50 % de DQO. En conclusión, el uso de los pretratamientos permite el rompimiento celular de la materia orgánica y fomenta su remoción.

Palabras clave: *neodimio, campo magnético, ultrasonicación.*

Introducción

Los lodos residuales, generados en el proceso de tratamiento de las aguas residuales, son compuestos sólidos con un contenido variable de humedad que presentan la mayor parte de la carga contaminante de las aguas residuales, tales como materia orgánica, organismos patógenos, metales pesados y el resto de las sustancias responsables del carácter peyorativo de las aguas residuales (Sarvenoei et al., 2018). En el Atlas global para el manejo de excretas, lodos residuales y biosólidos publicado en 2008 por el Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (UN-Habitat por sus siglas en inglés), se especifica que los países en vías de desarrollo no consideran los lodos residuales como un residuo a tratar, por lo que se tiene una nula inversión en infraestructura para su tratamiento, disposición final y/o aprovechamiento, así como la falta de datos estadísticos sobre las cantidades generadas. En México a algunas plantas de tratamiento de aguas residuales municipales (PTAR) no se les da el tratamiento y/o disposición final de los lodos residuales (Mantilla et al., 2017). Esto se debe principalmente a que la prioridad gubernamental en inversión se concentra en el abastecimiento de agua potable, en el drenaje y en el tratamiento del agua. Si bien existe una Norma Oficial Mexicana para la calidad de lodos residuales (NOM-004-SEMARNAT-2002) un gran porcentaje de las PTAR en la República no cuentan con la infraestructura para tratarlos.

Uno de los tratamientos más utilizados para los lodos residuales es la digestión anaerobia, proceso bioquímico que tiene como principal característica la generación de biogás, el cual está compuesto principalmente por metano (CH_4) y dióxido de carbono, así como reducir el peso y volumen de lodos, lo cual a su vez fomenta los costos de disposición (Mantilla et al., 2017).

Sin embargo, una considerable desventaja de este proceso es que debido al alto contenido de sólidos en los lodos residuales la biodegradabilidad es lenta, por lo tanto, se requieren tiempos de retención del orden de 20 a 30 días. Esto se debe a los tiempos de hidrólisis y al lento crecimiento de las bacterias metanogénicas, lo cual, se traduce en eficiencias moderadas (Pilli et al., 2016). Con la finalidad de reducir estos largos periodos y optimizar las cantidades de biogás generadas durante la digestión anaerobia, durante los últimos 30 años se han desarrollado investigaciones sobre métodos de pretratamiento para lodos generados en PTAR (Sarvenoei et al., 2018), en general podrían mencionarse cuatro tipos principales: térmicos, químicos, mecánicos y biológicos, de las cuales existen todo tipo de variaciones y combinaciones (Pilli et al., 2011).

El principal mecanismo de un pretratamiento es la solubilización y conversión de la materia orgánica particulada de lenta degradación en compuestos de bajo peso molecular fácilmente biodegradables. Esto es posible gracias a la desintegración (denominado así con fines prácticos en la gran mayoría de trabajos relacionados al tema, así como en el presente trabajo) de las partículas que componen al lodo, así como la ruptura de los flóculos presentes (Pilli et al., 2011). Dentro de los pretratamientos mecánicos se encuentra la ultrasonicación. Este mecanismo cuenta con una gran confiabilidad de operación debido al elevado grado de investigaciones realizadas hasta la fecha, la ausencia de generación de olores, facilidad de deshidratación del producto final, alto grado de desintegración y solubilización de los flóculos presentes en el lodo y la facilidad de implementación en una PTAR. Sin embargo, la principal desventaja de este proceso es el negativo balance de energía debido al elevado consumo por parte del equipo, lo cual incrementa los costos de tratamiento (Pilli et al., 2016).

Aunado a esto, existe un creciente interés en el desarrollo de tecnologías eficientes y a la vez amigables con el ambiente para el procesamiento de lodos residuales y toda la problemática que conlleva. Por ello, durante los últimos 20 años las investigaciones relacionadas han aumentado significativamente. Una de estas tecnologías se encuentra en la inducción de campo magnético a partir de imanes permanentes, estos se caracterizan por un diseño simple y la mayor ventaja que presenta su aplicación es la falta de necesidad de cualquier tipo de suministro de energía, además, la intensidad

de inducción del campo magnético no se debilita con el tiempo (Zhang et al., 2021; Zieliński et al., 2018). Esto, junto con otras ventajas como la falta de uso de químicos, la inexistencia de contaminantes secundarios y los bajos costos que representa, lo convierten en una tecnología sustentable y amigable con el ambiente, por lo cual cada vez son más las investigaciones relacionadas (Guan et al., 2017; Qu et al., 2020; Sarvenoei et al., 2018; Zhang et al., 2021; Zhao et al., 2020) sustentable y amigable con el ambiente, por lo cual cada vez son más las investigaciones relacionadas (Guan et al., 2017; Qu et al., 2020; Sarvenoei et al., 2018; Zhang et al., 2021; Zhao et al., 2020). Sin embargo, a pesar de las ventajas con las que cuenta, las investigaciones que evalúan su efecto en sistemas anaerobios aún son escasas, por tal motivo el objetivo del presente trabajo fue evaluar la remoción de materia orgánica medida como demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos totales (ST) de los lodos residuales utilizando campo magnético (CM) y ultrasonificación (UL) como pretratamiento.

Metodología

Los lodos residuales utilizados en el presente estudio fueron proporcionados por una PTAR ubicada en Cuernavaca, Morelos, con una capacidad de $750 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$. Las muestras fueron tomadas de la purga del sedimentador primario y del sedimentador secundario (posterior a su espesamiento) en contenedores plásticos de 20 litros, posteriormente fueron trasladados y almacenados en un cuarto frío a temperatura de 4°C en la planta piloto del IMTA, para posteriormente llevar a cabo su caracterización

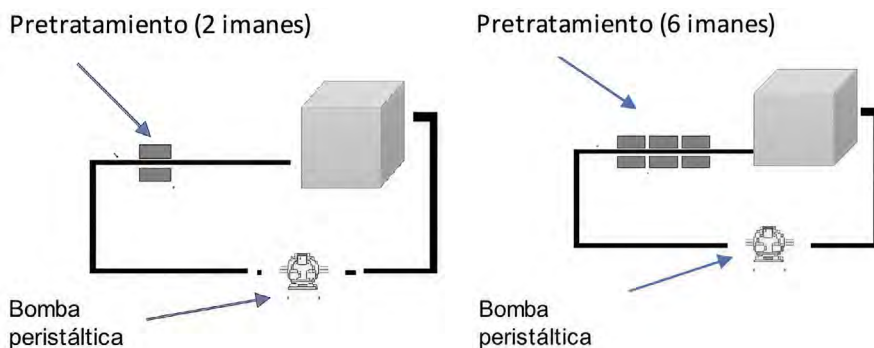
Pretratamiento del lodo

Para el tratamiento del lodo se realizó una mezcla en proporción 70:30 (secundario:primario), y se trató con CM seguido por UL.

Sistema experimental de CM

Para el pretratamiento con CM se evaluaron dos sistemas: el primero consistió en el uso de seis imanes permanentes y el segundo constituido por dos imanes, ambos de neodimio y una densidad magnética de 5 000 Gauss (G). Cada sistema contó con un contenedor de almacenamiento en forma de cubo de 500 ml. En cada sistema se introdujo un volumen de lodo de 200 ml a una velocidad de $13.15 \text{ ml}\cdot\text{s}^{-1}$ (figura 4.1). La intensidad de campo magnético se midió con un gausímetro marca LakeShore, modelo 410.

Figura 4.1. Sistema experimental de pretratamiento con CM



Fuente: Elaboración propia

Sistema experimental de UL

La muestra de lodo efluente del sistema de CM inmediatamente fue enviada a UL, donde se utilizó un sonicador digital de la marca Auto Science modelo AS5150B con una potencia de 180 watts (W), capacidad de 6 L y ajuste de potencia del 10 al 100 %. Para todas las corridas se indujo una frecuencia de UL de 40 kHz (Tiehm et al., 2000; Pilli et al., 2011). Para calcular la eficiencia del pretratamiento se utilizó el porcentaje de remoción para CM y UL tanto de ST como de DQO, las cuales fueron determinadas de acuerdo a las técnicas APHA.

Diseño de experimento

Con el objetivo de determinar las mejores remociones tanto de DQO como de ST se realizó un diseño de experimentos Diseño factorial 2³, se utilizaron como variables: tiempo de contacto del CM, el número de imanes y el tiempo de UL; se evaluaron 2 niveles alto y bajo, usando el programa estadístico Statgraphics. En la tabla 4.1 se presentan las variables descritas.

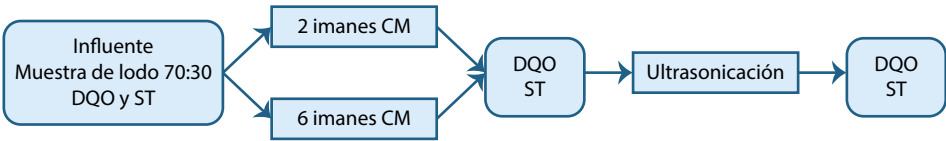
Tabla 4.1. *Diseño de experimentos de diseño factorial 2³*

Variables	Tiempo de contacto CM		No. de imanes		Ultrasonicación	
Niveles	15 min	30 min	2 imanes	6 imanes	20 min	30 min

Fuente: Elaboración propia.

Para el análisis de los resultados de las pruebas de pretratamiento se determinaron los parámetros de ST y DQO en el influente del sistema de CM y efluente, este último fue considerado también el influente de la UL, y finalmente en el efluente de UL. En la figura 4.2 se presenta de manera esquemática lo anterior, a fin de determinar la remoción en cada uno de las etapas de operación.

Figura 4.2. *Esquema del tren de pretratamiento*



Fuente: Elaboración propia.

Resultados y discusión

En la tabla 4.2 se presentan la caracterización de los lodos residuales de la PTAR de Acapantzingo 70 % lodo secundario y 30 % lodo primario. Como resultados se observó una DQO de 58 200 mg·L⁻¹ y ST de 59 518 mg·L⁻¹.

Tabla 4.2. Resultados de la caracterización de la mezcla de lodo (70:30)

Parámetro	Valor
DQO _i (mg·l ⁻¹)	58 200
DQO _s (mg·l ⁻¹)	234.68
ST (mg·l ⁻¹)	59 518.2
STV (mg·l ⁻¹)	24 341.7
SST (mg·l ⁻¹)	45 719.2
SSV (mg·l ⁻¹)	21 507.7
Alcalinidad (g CaCO ₃ ·ml ⁻¹)	4.3
pH	6.4
Conductividad (ms·cm ⁻¹)	3.34

Fuente: Elaboración propia.

Los resultados del diseño factorial 2³ realizado con el *software* Statgraphics se presentan en la tabla 4.3 y se puede observar que en total se determinaron 8 pruebas de pretratamiento en combinación a las 3 variables a evaluar; por ejemplo, para la prueba 1 se indicó realizar la prueba en CM con un tiempo de contacto de 15 min, para la variable de número de imanes fue de 2 imanes y en tiempo de ultrasonificación fue de 30 min. Una vez obtenido el análisis estadístico se procedió a realizar cada una de las pruebas, realizando DQO y ST.

Tabla 4.3. Diseño de experimentos

Variables	TC CM		No. de imanes		UL	
Niveles	15 min	30 min	2 imanes	6 imanes	20 min	30 min
Prueba 1	x		x			x
Prueba 2		x		x	x	
Prueba 3		x		x		x
Prueba 4	x			x	x	
Prueba 5		x	x			x
Prueba 6		x	x		x	
Prueba 7	x		x		x	
Prueba 8	x			x		x

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.4 se presentan los resultados ST y DQO de las diferentes pruebas realizadas. Partiendo de una concentración inicial del lodo sin pretratamiento de ST de 59 518 mg·L⁻¹, en la prueba 1 donde el lodo fue some-

tido a CM por 15 min, se observó una remoción de un 13 % de ST, lo cual corresponde a una concentración de $51\,881\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ de los mismos. Posteriormente el lodo efluente del CM fue pretratado con UL durante 20 min y como resultado se obtuvo una concentración de $43\,958\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ de ST, lo que da como resultado una remoción del 15 % con respecto a CM y un 28 % en combinación. Con lo anterior se observó que la suma de ambos pretratamientos o su aplicación en conjunto se obtuvieron mejores remociones que de manera individual, lo anterior concuerda con Guan et al. (2017). Además, de manera particular el pretratamiento con UL proporcionó mayor remoción que el CM, lo cual también concuerda con Pilli et al. (2011).

Por otro lado, la prueba 4 que correspondió a 30 min de CM se observó una remoción de hasta 41 %, sin embargo, al pasar por UL no existió remoción, ya que la concentración en CM de ST fue de $34\,883\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ y de UL de $37\,809\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, en lo cual se logró observar que al contrario de la prueba 1 no existió remoción.

Con el sistema de 6 imanes la remoción de ST de la prueba 5 y 6 fueron de un 13-14 % utilizando 30 min de CM, sin embargo, en las pruebas 7 y 8 donde el tiempo se redujo a 15 min las remociones fueron solo de un 1 y 2 %, lo cual observándose que a mayor tiempo de contacto con el campo magnético se logran obtener mejores remociones de ST. Con respecto a la UL se observó en la prueba 1 que con los altos tiempos de 30 min de CM y UL aplicados en conjunto la ultrasonificación tiende a provocar una mayor solubilidad en el lodo y, por lo tanto, una nula remoción de ST, sin embargo, esto no ocurrió cuando se utilizó 15 min de CM y 30 min de UL. Por otro lado, cuando el CM es bajo se logran obtener remociones posterior a la UL de 22-27 % con tiempos de 20-30 min de pretratamiento.

Con respecto a la remoción de DQO en las pruebas 1 y 2 se observó que aplicando CM por 15 min las remociones son bajas (2-4 %), sin embargo, al posteriormente aplicar UL las remociones fueron de un 42 y 53 % respectivamente. Con los tiempos mayores de CM de 30 min si se observaron remociones entre 38 y 47 % (pruebas 3 y 4) y con tiempos de UL de 20 min se registró una remoción del 30 %, lo cual en conjunto fue la mejor lograda de hasta un 68 %. Con el sistema de 6 imanes las remociones de campo magnético en las pruebas 5 a la 8 fueron de 44 a 48 %, es decir, el tiempo de exposición al CM no presentó diferencias en la remoción de DQO, mientras

que a diferencia de la UL las remociones fueron nulas y solo en la prueba 5 fue de un de un 6 %.

Conclusiones

El pretratamiento de CM y UL para el tratamiento de lodo residual es una tecnología que presenta remociones de hasta 48 % DQO y ST al utilizar un arreglo de 6 imanes. El CM como tratamiento solo presentó mejores remociones con el sistema de 6 imanes. A mayor densidad magnética mayor remociones de DQO. Con el sistema de 2 imanes es mejor utilizar tiempos de contacto de 30 min en comparación a 15 min, ya que presentan mejores remociones.

Tabla 4.4. Resultados de DQO, ST y sus remociones en el tren de pretratamiento

Parámetro	Combinación	ST (mg·L ⁻¹)	Remoción (%)	DQO (mg·L ⁻¹)	Remoción (%)
	Influyente (mezcla)	59 518		58 200	
Pruebas					
2 imanes + UL					
1	15 CM	51 881	13	56 145	4
	15 CM + 20 UL	43 958	15	32 267	42
	Total		28		46
2	15 CM	49 353	17	56 824	2
	15 CM + 30 UL	39 106	21	26 600	53
	Total		38		55
3	30 CM	46 648	22	35 923	38
	30 CM + 20 UL	45 850	2	24 978	30
	Total		24		68
4	30 CM	34 883	41	30 614	47
	30 CM + 30 UL	37 809	0	30 536	0.2
	Total		41		47
6 imanes + UL					
5	30 CM	50 963	14	32 306	44
	30 CM + 30 UL	52 130	0	30 469	6
	Total		14		50
6	30 CM	51 784	13	32 232	44
	30 CM + 20 UL	43 943	15	33 650	0
	Total		28		44
7	15 min CM	59 121	1	30 032	48
	15 CM + 30 UL	46 987	21	38 805	0
	Total		22		48
8	15 CM	58 478	2	30 144	48
	15 CM + 20 UL	43 505	27	55 186	0
	Total		29		48

Fuente: Elaboración propia

Las remociones de UL solo se presentaron cuando se utilizó el pretratamiento de CM con dos imanes. Con 6 imanes las remociones fueron nulas.

El uso de la combinación de ambas tecnologías es prometedor, sin embargo, es necesario hacer estudios a escala real, así como el análisis de los microorganismos presentes posterior al pretratamiento.

Referencias

- Guan, S., Deng, F., Huang, S., Liu, S., Ai, L. y She, P. (2017). Optimization of magnetic field-assisted ultrasonication for the disintegration of waste activated sludge using Box-Behnken design with response surface methodology. *Ultrasonics Sonochemistry*, 38, 9-18.
- Mantilla Morales, G., Sandoval Yoal, L., Ramírez Camperos, E., Gasca Álvarez, S., Navarro Franco, J., Hernández Cruz, N., García Rojas, J. L., Esquivel Sotelo, A. y Calderón Mólgora, C. (2017). *Energía limpia del agua sucia: Aprovechamiento de lodos residuales*. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002 (2003, 15 de agosto). *Protección ambiental: Lodos y biosólidos: Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final*. Semarnat.
- Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos. (2008). *Global atlas of excreta, wastewater sludge, and biosolids management: Moving forward the sustainable and welcome uses of a global resource* (R. J. LeBlanc, P. Matthews y R. P. Richard, Eds.).
- Pilli, S., Bhunia, P., Yan, S., LeBlanc, R. J., Tyagi, R. D. y Surampalli, R. Y. (2011). Ultrasonic pretreatment of sludge: A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 18(1), 1-18.
- Pilli, S., Yan, S., Tyagi, R. D. y Surampalli, R. Y. (2016). Anaerobic digestion of ultrasonicated sludge at different solids concentrations-Computation of mass-energy balance and greenhouse gas emissions. *Journal of Environmental Management*, 166, 374-386.
- Qu, G., Lv, P., Cai, Y., Tu, C., Ma, X. y Ning, P. (2020). Enhanced anaerobic fermentation of dairy manure by microelectrolysis in electric and magnetic fields. *Renewable Energy*, 146, 2758-2765.
- Sarvenoei, F. F., Zinatizadeh, A. A. y Zangeneh, H. (2018). A novel technique for waste sludge solubilization using a combined magnetic field and CO₂ injection as a pretreatment prior anaerobic digestion. *Journal of Cleaner Production*, 172, 2182-2194.
- Zhang, Z., Zhang, Y., Ming, W., Zhang, Y., Cao, C. y Zhang, G. (2021). A review on magnetic field assisted electrical discharge machining. *Journal of Manufacturing Processes*, 64, 694-722.
- Zhao, B., Sha, H., Li, J., Cao, S., Wang, G. y Yang, Y. (2020). Static magnetic field enhanced methane production via stimulating the growth and composition of microbial community. *Journal of Cleaner Production*, 271, 122664.
- Zieliński, M., Rusanowska, P., Dębowski M. y Hajduk, A. (2018) Influence of static magnetic field on sludge properties. *Science of the Total Environment*, 625, 738-742.

Tercera Parte

BIOTECNOLOGÍA Y VALORIZACIÓN DE RESIDUOS

5. Evaluación de la actividad enzimática durante la madurez del fruto de pingüica (*Ehretia tinifolia*) y la capacidad inhibitoria de los extractos fenólicos sobre la lipasa pancreática



ANDREÉ VELÁZQUEZ MARO*

RAÚL BALAM MARTÍNEZ PÉREZ**

LOURDES MARIANA DÍAZ TENORIO***

ANA MARÍA RENTERÍA MEXÍA****

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.348.05>

Resumen

Hoy en día la obesidad es uno de los más grandes problemas de salud a nivel mundial y, a pesar de ello, no existen muchas opciones farmacológicas para el tratamiento de la obesidad. La tetrahidrolipstatina, conocida comercialmente como Orlistat, es el único fármaco inhibidor de lipasas aprobado por la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) para la terapia a largo plazo de la obesidad. Debido a lo anterior diversas investigaciones se han enfocado en el desarrollo de fármacos antiobesidad, a partir de inhibidores de lipasas digestivas obtenidos principalmente de fuentes naturales, esto se debe a que algunos metabolitos secundarios de plantas, tales como los compuestos fenólicos, tienen la capacidad de inhibir la actividad de la lipasa pancreática. Este trabajo busca evaluar la producción de enzimas y las propiedades bioactivas del fruto de la pingüica (*Ehretia tinifolia*) para

* Ingeniero en Biotecnología por el Instituto Tecnológico de Sonora. ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3208-5016> ; correo electrónico: andree.velazquez212839@potros.itson.edu.mx

** Doctor en Ciencias con especialidad en Biotecnología. Profesor del Instituto Tecnológico de Sonora, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5152-7695> ; Scopus: 57210646749

*** Doctora en el Uso, Manejo y Preservación de los Recursos Naturales. Adscrita al Departamento de Biotecnología y Ciencias Alimentarias del Instituto Tecnológico de Sonora, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8941-3965>

**** Doctora en Physical Activity, Nutrition, and Wellness. Adscrita al Departamento de Biotecnología y Ciencias Alimentarias del Instituto Tecnológico de Sonora, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9760-1213> ; Scopus: 57204177744

verificar su capacidad inhibitoria, enzimas lipasas. Para esto, se cuantificó la concentración de proteínas solubles y azúcares reductores en los extractos del fruto, se cuantificó la actividad enzimática (proteasa y lipasa) de los mismos, y con extractos etanólicos extrajeron compuestos fenólicos para realizar ensayos de inhibición de lipasa pancreática porcina. Se logró tener porcentajes de inhibición $16.06 \pm 3.06 \%$ y $26.6 \pm 2.1 \%$ en los estadios de madurez y senescencia respectivamente.

Palabras clave: *inhibición, pingüica, lipasas, compuestos fenólicos.*

Introducción

La obesidad es uno de los principales problemas de salud a nivel mundial, un trastorno metabólico es caracterizado por el exceso de grasa corporal, se considera uno de los principales factores de riesgo para el desarrollo de enfermedades cardiovasculares, como diabetes, entre otras afecciones (Ceballos-Macías et al., 2018). Para el tratamiento de la obesidad se recomiendan dietas nutritivas, actividad física, tratamientos farmacológicos y opciones quirúrgicas (Rodrigo-Cano et al., 2017).

Uno de los principales focos de atención en el desarrollo de tratamientos farmacológicos para la obesidad son los inhibidores de lipasas digestivas (Liu et al., 2020), al inhibir la hidrólisis de los triacilglicéridos por las lipasas se puede disminuir la cantidad de grasa absorbida en el intestino (Kumar y Chauhan, 2021; Lowe, 1997; Winkler et al., 1990).

La tetrahidrolipastaina es un inhibidor irreversible de la lipasa pancreática, derivado de la lipstatina producida por *Streptomyces toxytricini*. Inhibe entre el 46.6 % y 91.4 % de la actividad enzimática y es el único inhibidor de lipasas aprobado por la FDA para el tratamiento a largo plazo de la obesidad. Sin embargo, su uso puede causar efectos secundarios como esteatorrea, incontinencia fecal y deficiencia de vitaminas liposolubles (Carrière et al., 2001; Heck et al., 2000; Zhang et al., 2008). Por lo tanto, una de las crecientes estrategias para el descubrimiento de medicamentos antiobesidad es la búsqueda de potentes inhibidores de lipasas en diferentes extractos de plantas, debido a que existen una variedad de compuestos bioactivos pre-

sentes en las plantas que han presentado potencial para el tratamiento de distintas enfermedades metabólicas, incluidas la obesidad (Buchholz y Melzig, 2015). Otro de los inhibidores utilizados comúnmente para el estudio de la inhibición de enzimas lipolíticas es el paraoxón (inhibidor irreversible de colinesterasas); sin embargo, este no se encuentra aprobado por ningún organismo regulatorio para el consumo humano debido a su alta toxicidad, a pesar de esto, muchos estudios lo han utilizado en modelos in vitro, para demostrar inhibición de enzimas lipolíticas.

Debido a lo anterior, esta investigación busca evaluar la producción de enzimas y las propiedades bioactivas del fruto de la pingüica (*Ehretia tinifolia*) en diferentes estadios de madurez, por métodos y técnicas bioquímicas para su potencial uso como inhibidor de enzimas lipolíticas digestivas.

Metodología

Introducción a la metodología

Las diferentes metodologías utilizadas en el presente estudio se enfocan en la cuantificación de la actividad lipolítica y proteolítica de los frutillos de la *E. tinifolia*, así como la cuantificación de los azúcares reductores presente en diferentes etapas del desarrollo.

Diseño del estudio

Las metodologías empleadas en este estudio fueron de carácter cuantitativo, ya que se calcularon los promedios, desviaciones estándar y el coeficiente de variación de los datos obtenidos con una de coeficiente de variación menor al 5 %. Asimismo, todos los ensayos se realizaron por triplicado.

Métodos utilizados

Obtención de extractos de E. tinifolia, cuantificación de proteínas y azúcares reductores

Los frutos de *E. tinifolia* fueron recolectados y clasificados en seis diferentes estadios de maduración: inmadurez, desarrollo, madurez, sobremadurez, ablandamiento y senescencia. Se realizaron extractos acuosos de estadios de maduración en relación 1:1 (frutillo: agua destilada) para posteriormente realizar un macerado y centrifugar a 10 000 g durante 10 minutos a 4 °C, para así obtener el sobrenadante con actividad enzimática (extracto enzimático). La concentración de proteínas se realizó según el método de Bradford (1976). Se utilizó albumina sérica bovina (BSA) como estándar. Los azúcares se cuantificaron mediante el método de Miller (1959).

Cuantificación de actividad proteolítica

La actividad proteasa de las muestras se determinó a partir del método modificado de García-Carreño y Haard (1993). La actividad enzimática fue representada en unidades por mililitro (u/ml) y fue determinada por las siguientes ecuaciones:

$$\text{Unidades de absorbancia} = A_m - A_b \quad (1)$$

Donde A_m representa la absorbancia de la muestra, y A_b representa la absorbancia del blanco.

$$\text{Actividad proteasa (u/ml)} = \frac{\text{Abs/min}}{\text{ml}} \quad (2)$$

Donde Abs representa unidades de absorbancia, min representa el tiempo de la reacción en minutos y ml representa el volumen total de la reacción en mililitros.

Cuantificación de actividad lipolítica y zimogramas de actividad

Para la cuantificación de actividad lipasa se utilizó 4-nitrofenil laurato en terbutanol (10 mM) como sustrato, y se registró la absorbancia mediante cinética de 15 minutos, obteniendo lecturas cada 30 s, a una temperatura controlada de 30 °C y a una longitud de onda de 410 nm. La actividad lipasa se expresó en unidades por mililitros (u/ml). El perfil de proteínas de las muestras se realizó a partir del protocolo de Laemmli (1970). Se realizó en un gel de poliacrilamida SDS-PAGE al 12 %. La separación de proteínas se realizó a 15 mA y a una temperatura de 4 °C. Posteriormente, el gel se lavó con agua ultrapura y se incubó en 50 ml de buffer $\text{Na}_2\text{HPO}_4/\text{NaH}_2\text{PO}_4$ (50 mM, pH 5.8) y 0.5 ml de tritón x-100 durante 30 min con agitación suave. A continuación, se incubó en 50 ml de buffer $\text{Na}_2\text{HPO}_4/\text{NaH}_2\text{PO}_4$ (50 mM, pH 5.8) y 0.5 ml de 4-metilumbeliferil butirato (100 μM) en DMSO durante 10 min, con agitación suave y protegido de la luz; posteriormente se observaron las bandas con actividad lipolítica por fluorescencia bajo luz UV.

Obtención de extractos etanólicos del fruto de *E. tinifolia*

La extracción etanólica de compuestos fenólicos de *E. tinifolia* se realizó como se describe a continuación. Se pesaron 10 g del fruto y maceraron para posteriormente ser mezclados con 50 ml de etanol 96 %. La mezcla se almacenó a 4 °C durante 12 h y protegida de la luz, posterior a esto, se centrifugó a 10 000 g durante 10 minutos, se recuperó la fase líquida, la cual fue colocada en un rotavapor, para eliminar el etanol. Los compuestos obtenidos sin alcohol liofilizaron y almacenaron a 20 °C hasta posterior uso.

Inhibición de la lipasa pancreática porcina

Para analizar el efecto inhibitorio se incubó una solución de lipasa pancreática porcina (8.8 mg/ml) con exceso de colipasa, se utilizó el liofilizado de compuestos fenólicos disueltos en dimetil sulfoxido (DMSO; 1 mg/ml) en presencia del inhibidor paraoxón (1.376 mg/ml). La mezcla de lipasa pan-

creática porcina y moléculas inhibitorias se incubaron durante 1 h a temperatura ambiente (25 °C), posteriormente, se cuantificó la actividad lipasa de acuerdo a la metodología de cuantificación de actividad lipasa con el método descrito por Mateos-Díaz et al. (2012). El porcentaje de inhibición fue determinada por la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de inhibición} = \frac{(Alc) - (Alm - Alc)}{Alc} \cdot 100 \quad (3)$$

Donde *Alc* representa la actividad lipasa del control y *Alm*, la actividad lipasa de la muestra. Los resultados fueron presentados el porcentaje de actividad relativa.

Resultados y discusión

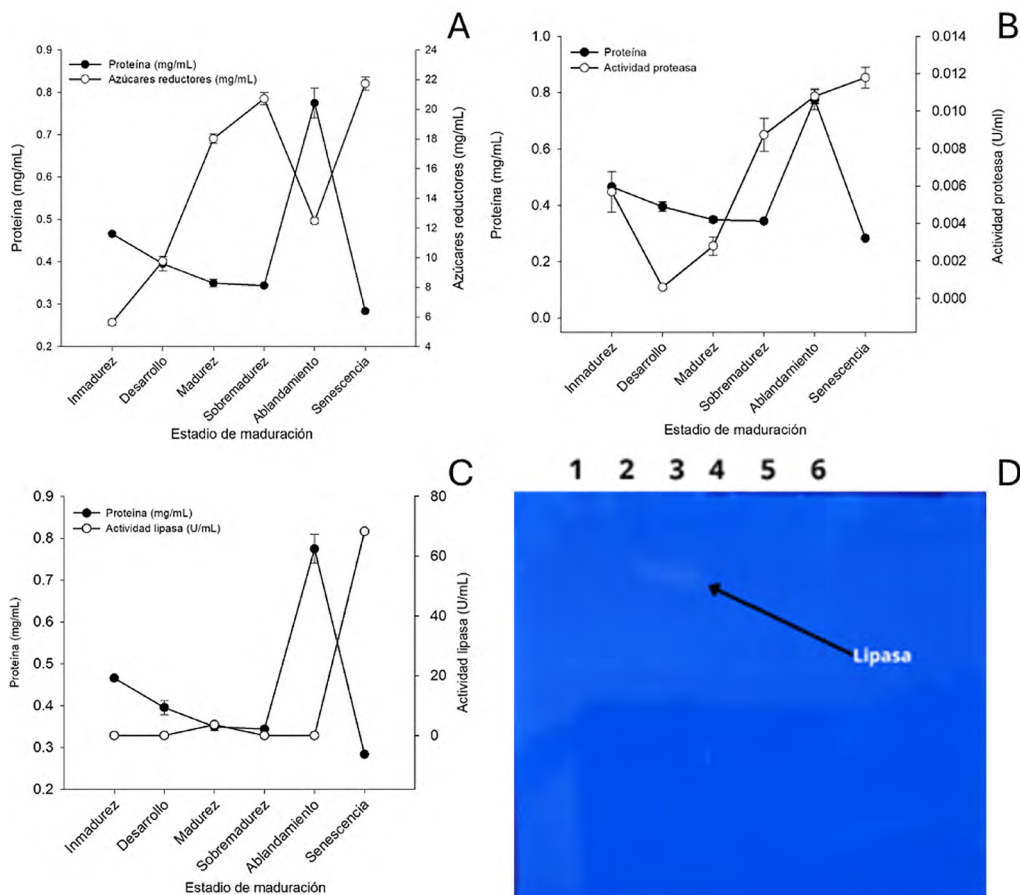
Cuantificación de proteína y azúcares reductores

Se observa un bajo contenido proteico y un aumento de la concentración de azúcares reductores a medida que el frutillo madura. Estos hallazgos son consistentes con lo reportado por Pío-León et al. (2012), quienes señalan que los frutos de *E. tinifolia* tienen un contenido de proteína del 16.5 % y un 65 % de carbohidratos en base seca figura 5.1a. Alqarni y Bazzi (2019) analizaron el aumento de proteína soluble, azúcares, actividades enzimáticas y polifenoles durante la maduración de los frutos de dátiles de la especie *Phoenix dactylifera* L. (variedad Hilwa). Los resultados presentados para la cantidad de proteína soluble muestran un comportamiento similar a los obtenidos en este trabajo para el fruto de *E. tinifolia*. Se reporta una baja cantidad de proteína durante los primeros estadios de maduración del fruto, alcanzan su máximo en la senescencia del fruto y disminuyen tras la madurez. En cuanto a los azúcares reductores, se evidencia un aumento progresivo durante la maduración, mostrando una disminución en el estadio de ablandamiento, comportamiento que coincide con los resultados del fruto de *E. tinifolia*.

En la figura 5.1b se muestra la actividad proteolítica en los extractos analizados, destacando que el estado de senescencia presentó la mayor ac-

tividad proteolítica junto con una baja concentración de proteínas. Este comportamiento se explica porque la degradación de proteínas durante la maduración de un fruto requiere la síntesis de enzimas hidrolíticas como las proteasas (Martínez-González et al., 2017).

Figura 5.1. Análisis de extractos enzimáticos de *Ehretia tinifolia*



Notas: A = relación entre la concentración de proteínas y azúcares reductores en los distintos estadios del fruto de *Ehretia tinifolia*; B = relación entre la concentración de proteínas y actividad proteasa en los distintos estadios; C = relación entre la concentración de proteínas y actividad lipasa en los distintos estadios de frutillos de *Ehretia tinifolia*; D = zimograma de actividad lipasa; (1) inmadurez (4.65 μ g); (2) desarrollo (3.95 μ g); (3) madurez (3.49 μ g); (4) sobremadurez (3.44 μ g); (5) ablandamiento (7.74 μ g); (6) senescencia (2.83).

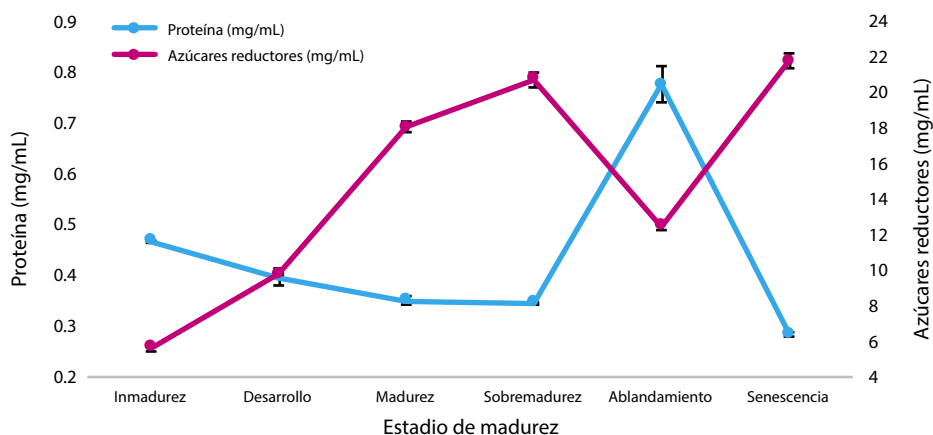
Fuente: elaboración propia.

Actividad lipasa y zimogramas

En la figura 5.1c se muestra la relación entre concentración de proteínas y actividad lipasa durante los estadios de madurez del fruto. Los resultados se comparan con el estudio de Henderson y Osborne (1991), quienes analizaron la actividad lipasa en *Elaeis guineensis* utilizando como sustrato glicerol tri[1-14C]oleato. En ambos estudios, se observa un aumento de la actividad lipasa al inicio de la madurez, que continúa aumentando a medida que el fruto madura. De igual manera, se menciona que este aumento puede estar correlacionado con la síntesis de carotenoides. Mientras que en la figura 5.1d se observa una banda de actividad lipolítica en el carril 3, lo cual coincide con los resultados obtenidos en el ensayo *in vitro*, sin embargo, el carril 6 que corresponde al estadio de senescencia no presenta ningún resultado visible en el zimograma, al ser el estadio que mayor actividad lipasa tuvo en los ensayos *in vitro*.

Inhibición de enzimas lipasas

Figura 5.2. Efecto de inhibición de los diferentes estadios del fruto de *Ehretia tinifolia* y del dietil 4-nitrofenil fosfato sobre la lipasa pancreática porcina



Nota: se utilizó 4-nitrofenil laurato como sustrato.

Fuente: Elaboración propia.

La figura 5.2 muestra que únicamente el estadio de madurez y el de senescencia del fruto *E. tinifolia* presentaron una inhibición significativa sobre la lipasa pancreática porcina. Este efecto pudiera atribuirse a la presencia ácido rosmarínico (IC_{50} : 347.5 μ M) (Buchholz y Melzig, 2015; Sergent *et al.*, 2012) y al posible aumento de compuestos antioxidantes en el estadio de senescencia del fruto (Martínez-González *et al.*, 2017). En el estudio de Dzib Guerra (2015), *E. tinifolia* mostró una capacidad de inhibición de la lipasa pancreática de $41 \pm 1.8 \%$, $35 \pm 0.8 \%$, $12 \pm 0.4 \%$ para los extractos fenólicos extraídos con etanol (0.25 mg/ml) de hojas, tallos y raíces respectivamente.

Conclusiones

Durante la senescencia de los frutos se presenta una disminución en proteínas solubles, aumenta la cantidad de azúcares reductores y de igual manera, hay un aumento de actividad de proteasas y lipasas. Los extractos fenólicos del fruto de *E. tinifolia* de los estadios de madurez y senescencia inhibieron en un $16.06 \pm 3.06 \%$ y $26.6 \pm 2.1 \%$ la actividad de la lipasa pancreática porcina, respectivamente. Esto sugiere que los extractos del frutillo de *E. tinifolia* tienen la capacidad de inhibir la lipasa pancreática porcina. Mas ensayos son necesarios para conocer si estos también pueden tener un efecto significativo sobre las enzimas lipolíticas humanas.

Referencias

- Alqarni, S. S. M. y Bazzi, M. D. (2019). Understanding the increased fruit content of soluble proteins, sugars, certain enzyme activities, and certain polyphenols in context to date fruit ripening. *Annales Bogorienses*, 23(1), 49-57. <https://doi.org/10.14203/ann.bogor.2019.v23.n1.49-57>
- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1-2), 248-254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- Buchholz, T. y Melzig, M. (2015). Polyphenolic compounds as pancreatic lipase inhibitors. *Planta Medica*, 81(10), 771-783. <https://doi.org/10.1055/s-0035-1546173>
- Carrière, F., Renou, C., Ransac, S., Lopez, V., de Caro, J., Ferrato, F., de Caro, A., Fleury, A., Sanwald-Ducray, P., Lengsfeld, H., Beglinger, C., Hadvary, P., Verger, R. y Laugier,

- R. (2001). Inhibition of gastrointestinal lipolysis by Orlistat during digestion of test meals in healthy volunteers. *American Journal of Physiology-Gastrointestinal and Liver Physiology*, 281(1), G16-G28. <https://doi.org/10.1152/ajpgi.2001.281.1.G16>
- Ceballos-Macías, J. J., Pérez Negrón-Juárez, R., Flores-Real, J. A., Vargas-Sánchez, J., Ortega-Gutiérrez, G., Madriz-Prado, R. y Hernández-Moreno, A. (2018). Obesidad: Pandemia del siglo XXI. *Revista de Sanidad Militar*, 72(5-6), 332-338. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0301-696X2018000400332&lng=es&tlng=es
- Crow, J. A., Bittles, V., Herring, K. L., Borazjani, A., Potter, P. M. y Ross, M. K. (2012). Inhibition of recombinant human carboxylesterase 1 and 2 and monoacylglycerol lipase by chlorpyrifos oxon, paraoxon and methyl paraoxon. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 258(1), 145-150. <https://doi.org/10.1016/j.taap.2011.10.017>
- Dzib Guerra, W. C. (2015). *Actividad biológica de plantas utilizadas contra la diabetes, la hipertensión y la obesidad en la medicina tradicional maya* [Tesis de maestría]. Centro de Investigación Científica de Yucatán. <http://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/handle/1003/394>
- García-Carreño, F. L. y Haard, N. F. (1993). Characterization of proteinase classes in langostilla (*Pleuroncodes planipes*) and crayfish (*Pacifastacus astacus*) extracts. *Journal of Food Biochemistry*, 17(2), 97-113. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4514.1993.tb00864.x>
- Heck, A. M., Yanovski, J. A. y Calis, K. A. (2000). Orlistat, a new lipase inhibitor for the management of obesity. *Pharmacotherapy*, 20(3), 270-279. <https://doi.org/10.1592/phco.20.4.270.34882>
- Henderson, J. y Osborne, D. J. (1991). Lipase activity in ripening and mature fruit of the oil palm. Stability *in vivo* and *in vitro*. *Phytochemistry*, 30(4), 1073-1078. [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)95175-6](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)95175-6)
- Kumar, A. y Chauhan, S. (2021). Pancreatic lipase inhibitors: The road voyaged and successes. *Life Sciences*, 271, 119115. <https://doi.org/10.1016/j.lfs.2021.119115>
- Laemmli, U. K. (1970). Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature*, 227, 680-685. <https://doi.org/10.1038/227680a0>
- Liu, T. T., Liu, X. T., Chen, Q. X. y Shi, Y. (2020). Lipase inhibitors for obesity: A review. *Biomedicine y Pharmacotherapy*, 128, 110314. <https://doi.org/10.1016/j.biopha.2020.110314>
- Lowe, M. E. (1997). Structure and function of pancreatic lipase and colipase. *Annual Review of Nutrition*, 17(1), 141-158. <https://doi.org/10.1146/annurev.nutr.17.1.141>
- Martínez-González, M. E., Balois-Morales, R., Alía-Tejagal, I., Cortes-Cruz, M. A., Palomino-Hermosillo, Y. A. y López-Guzmán, G. G. (2017). Poscosecha de frutos: maduración y cambios bioquímicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(no. esp. 19), 4075-4087. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i19.674>
- Mateos-Díaz, E., Rodríguez, J. A., Camacho-Ruiz, M. Á. y Mateos-Díaz, J. C. (2012). High-throughput screening method for lipases/esterases. En G. Sandoval (Ed.), *Lipases and phospholipases: Methods and protocols*. (pp. 89-100; col. Methods in Molecular Biology, 861). Humana Press. https://doi.org/10.1007/978-1-61779-600-5_5

- Miller, G. (1959). Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. *Analytical Chemistry*, 31, 426–428. <https://doi.org/10.1021/ac60147a030>
- Pío-León, J. F., Díaz-Camacho, S. P., López, M. G., Montes-Ávila, J., López-Angulo, G. y Delgado-Vargas, F. (2012). Physicochemical, nutritional, and antioxidant characteristics of the fruit of *Ehretia tinifolia*. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 83(1), 273–280. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-34532012000100029&lng=es&tlng=en
- Rodrigo-Cano, S., Soriano del Castillo, J. M. y Merino-Torres, J. F. (2017). Causas y tratamiento de la obesidad. *Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria*, 37(4), 87–92. <https://doi.org/10.12873/374rodrigo>
- Sergent, T., Vanderstraeten, J., Winand, J., Beguin, P. y Schneider, Y. J. (2012). Phenolic compounds and plant extracts as potential natural anti-obesity substances. *Food Chemistry*, 135(1), 68–73. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.04.074>
- Winkler, F. K., D'Arcy, A. y Hunziker, W. (1990). Structure of human pancreatic lipase. *Nature*, 343(6260), 771–774. <https://doi.org/10.1038/343771a0>
- Zhang, J., Kang, M.-J., Kim, M.-J., Kim, M.-E., Song, J.-H., Lee, Y.-M. y Kim, J.-I. (2008). Pancreatic lipase inhibitory activity of taraxacum officinale in vitro and in vivo. *Nutrition Research and Practice*, 2(4), 200–203. <https://doi.org/10.4162/nrp.2008.2.4.200>

6. Evaluación de la actividad lipolítica intracelular y extracelular de la ostra del Pacífico (*Magallana gigas*)



CAROLINA ESCÁRREGA SÁNCHEZ*

CECILIA ABIGAIL VALENZUELA BAÑUELOS**

DIANA SOSA RUIZ***

RAÚL BALAM MARTÍNEZ PÉREZ****

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.348.06>

Resumen

La ostra del Pacífico (*Magallana gigas*) es un molusco de importancia económica y caracterizado por su gran capacidad para adaptarse a entornos cambiantes de temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH y disponibilidad de alimento, entre otros. El éxito de su adaptación a ambientes cambiantes podría deberse a la batería enzimática que posee, capaz de metabolizar diversas biomoléculas, principalmente lípidos, los cuales son de gran relevancia para la supervivencia. Por tal motivo, el objetivo del presente trabajo es evaluar la actividad lipolítica intracelular y extracelular en el músculo y la glándula digestiva de *M. gigas*, respectivamente. Mediante técnicas electroforéticas se pudo observar el perfil de proteína de las proteínas solubles en músculo y glándula digestiva, así mismo, al utilizar un sustrato fluorogénico (4-metilumbeliferil butirato) se evidenciaron cinco bandas con actividad lipolítica en la glándula digestiva y tres en músculo. La actividad lipolítica fue de 270.91 ± 11.96 u/ml en músculo, mientras que en glándula digestiva

* Ingeniera en Biotecnología en el Instituto Tecnológico de Sonora, México. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-7682-5665> ; correo electrónico: carolina.escarrega212999@potros.itson.edu.mx

** Estudiante de la Licenciatura en Ingeniería Biomédica con una formación técnica como laboratorista clínico, México. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0252-5887>

*** Estudiante de la Ingeniería Bioquímica en el Instituto Tecnológico de Colima, con especialidad en Alimentos y Biotecnología, México. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-2338-5593>

**** Doctor en Ciencias con especialidad en Biotecnología. Profesor del Instituto Tecnológico de Sonora, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5152-7695> ; Scopus: 57210646749

883.49 ± 6.41 u/ml, al utilizar p-nitrofenil butirato como sustrato, mientras que con p-nitrofenil palmitato fue de 1.19 ± 0.04 u/ml y 15.66 ± 0.31 u/ml para músculo y callo, respectivamente. Los resultados obtenidos en el presente estudio nos ayudan a comprender mejor la batería enzimática que utiliza el organismo durante el metabolismo de lípidos.

Palabras clave: *lipasas, detergentes, actividad lipolítica, emulsión.*

Introducción

La producción de moluscos es un sector de gran importancia para México, pues forma parte del desarrollo económico de las comunidades que se dedican a su explotación, ya sea mediante cultivo o pesca artesanal, lo que posiciona a este grupo de especies como potenciales candidatos al desarrollo tecnológico, además de la aportación monetaria (Conapesca, 2022). Al invertir en investigación y desarrollo en este campo, el país puede fortalecer su posición en acuicultura a nivel nacional e internacional (Chong-Carrillo et al., 2024).

La especie de producción acuícola *Magallana gigas* (anteriormente *Crassostrea gigas*) es conocida coloquialmente como ostión del Pacífico, es originaria del noroeste del continente asiático (Japón, Corea y China), sin embargo, en México la podemos encontrar en el noroeste del país, en las costas de Sonora, Sinaloa, Baja California Norte y Baja California Sur, habita adherida a rocas y conchas, entre otros soportes (FAO, 2024). Esta especie mantiene características peculiares que le permite adaptarse a distintos ambientes de temperatura, puede sobrevivir y desarrollarse en nichos con rangos amplios de temperatura (-2 hasta 35 °C) y salinidad (0 hasta 50 ups) (Chavez-Villalba, 2014). Además, *M. gigas* produce entre 50 y 200 millones de huevos por desove.

Debido que la ostra del pacífico es un organismo que tiene la capacidad de adaptarse a ambientes cambiantes, el estudio de su biología nos ayudaría a comprender su éxito adaptativo, de tal manera que el estudio sobre su metabolismo o las enzimas implicadas en la producción de energía (enzimas digestivas o intracelulares; proteasas, carbohidrasas y lipasas) es

esencial para comprender la particularidad de este organismo, y al mismo tiempo nos proporciona información de interés biotecnológico (González-Bacerio, 2010).

Por tal motivo, el objetivo del presente estudio es llevar a cabo la identificación y cuantificación de la actividad de las enzimas lipolíticas intracelular y digestiva de la ostra del Pacífico, de tal manera que esto pueda ayudarnos a comprender procesos fisiológicos y determinar si las enzimas pueden llegar a tener impacto en alguna biotecnología, por ejemplo, en el proceso de producción de fármacos más selectivos y efectivos, con efectos secundarios menores; producción de detergentes; la obtención de pesticidas de menor toxicidad, mediante la síntesis de compuestos ópticamente puros y la resolución de mezclas cómo ha sido el caos de otras lipasas (Kirchner et al., 1985), entre otros usos.

Metodología

En este apartado se desglosan las técnicas para obtención de los extractos enzimáticos a partir de la glándula digestiva y músculo (callo) y su análisis.

Introducción a la metodología

El método de Bradford es uno de los métodos más usados para la cuantificación de proteína soluble, se basa en la unión del Comassie Blue G-250 a las proteínas para dar la forma azul. El efecto del complejo proteína-colorante se puede visualizar debido al cambio de absorción de 465 nm a 565 nm. El reactivo azul de Comassie G-250 interactúa con residuos de arginina, lisina, tirosina, triptófano y fenilalanina (Lemus-Venezolana y Cortez-Suárez, 2015).

La determinación de actividad proteolítica se basa en que cada enlace peptídico hidroliza peptidasas, al evaluar el progreso de la hidrólisis a 280 nm, de los grupos libres en solución ácida cuando se usa hemoglobina como sustratos y el monitoreo de los grupos azo libres mediante la absorbancia a 366 nm (García-Lagunas, 2014).

Se han desarrollado una variedad de ensayos para cuantificar la actividad hidrolítica de las lipasas en distintas muestras biológicas para revisar su manera de actuar con cada una de ellas, y comparar la cantidad de sustrato consumido y el tiempo empleado para que la liberación de productos ocurra (Camacho et al., 2009). La determinación de actividad lipolítica se basa en la detección del grupo cromóforo (4-nitrofenol) a partir de la hidrólisis del enlace tipo éster de los sustratos sintéticos (*p*-nitrofenil butirato y *p*-nitrofenil palmitato), los cuales se emulsifican con el uso de diferentes detergentes como el taurodesoxicolato de sodio, N-lauril sarcosina y 2-[4-(2,4,4-trimethylpentan-2-il)fenoxi]etanol (NaTDC, NLS y Triton x-100, respectivamente), los cuales intervienen en la formación de micelas a partir de la dispersión de los grandes agregados hidrofóbicos, para organizar los sustratos en solución acuosa (Dandavate et al., 2009). El análisis de la velocidad de liberación de los ácidos grasos puede efectuarse indirectamente mediante el seguimiento de los protones liberados durante la hidrólisis enzimática. El método electroforético es usado para conocer el perfil de enzimas y proteínas, usando geles de poliacrilamida, estos geles sirven como tamiz para las proteínas, para generar así su separación. El gel está compuesto por la acrilamida y monómeros recirculantes que se unen y polimerizan en cadenas largas estructuradas covalentemente.

Las técnicas antes mencionadas nos permiten generar información con el objetivo de evaluar la actividad lipolítica extracelular e intracelular de la ostra del Pacífico (*Magallana gigas*).

Diseño del estudio

El siguiente experimento fue cualitativo y cuantitativo. Inició con la obtención de muestras con pescadores locales; posteriormente, se llevó a cabo la obtención de extractos enzimáticos; y a continuación, su análisis con las metodologías antes mencionadas. El análisis inició con la obtención de los organismos a estudiar. La interpretación de los datos obtenidos en las distintas técnicas dio lugar al ámbito cuantitativo, donde fueron interpretados con herramientas computacionales.

Métodos utilizados

Obtención de las muestras

Las ostras del Pacífico (*Magallana gigas*; $n = 30$) fueron obtenidas de Bahía de Lobos, posteriormente fueron trasladadas a 0 °C al Laboratorio de Biotecnología de Especies Acuáticas, donde se les llevó a cabo un proceso de disección para recuperar el callo (músculo) y hepatopáncreas (glándulas digestivas), posteriormente obtenidos los tejidos, se homogenizaron por separado en una relación 1:4 (tejido/agua destilada) usando un equipo de dispersión de alto rendimiento (Ultraturrax) a 0 °C, con el objetivo de evitar la desnaturalización de las proteínas, posteriormente el extracto se centrifugó durante 30 minutos a 4 °C y 10 000 g, después se recuperó la fase acuosa (extracto enzimático) y se almacenó a -20 °C para su posterior uso.

Cuantificación de proteína soluble

Se determinó la concentración de proteína soluble en las muestras por método de Bradford (1976), al emplear como estándar albumina sérica bovina (BSA).

Actividad proteolítica

Se utilizaron dos sustratos, para condiciones alcalinas se empleó azocaseína al 0.5 % en amortiguador Tris 50 mM pH 8.0, mientras que para condiciones ácidas se empleó hemoglobina al 0.5 % en amortiguador de glicina a 50 mM y pH 4.0. Brevemente se añadieron en tubos de 1.5 ml, 25 µl de extracto enzimático, 250 µl del amortiguador indicado según la actividad enzimática ácida o alcalina; posteriormente, se incubaron a temperatura ambiente (25 °C) durante 60 min. Después, se agregaron 250 µl a de TCA 20 % para parar la reacción y se incubaron por 5 min a -20 °C, a continuación, se centrifugaron a 10 000 g por 10 min. Las muestras que contenían azocaseína como sustrato se leyeron a 366 nm, mientras que las de hemoglobina se leyeron a 280 nm. Las unidades totales de actividad de la proteasa se

expresaron como cambio en la absorbancia por minuto por ml de extracto enzimático.

Ensayo de actividad lipasa/esterasa

La cuantificación de actividad enzimática se basó en la detección del grupo cromóforo (*p*-nitrofenol) por la hidrólisis del enlace éster de los sustratos sintéticos. En una microplaca se depositaron 20 μ l (4.45 mg/ml de proteína) de callo y 20 μ l (10.38 mg/ml de proteína) de glándulas digestivas y se adicionaron 180 μ l de emulsión, la cual consiste en 17 partes de solución amortiguadora (25 mM tris-HCl; 150 mM NaCl; pH 8.0) con 0.5 % de detergente y una parte de sustrato (10 mM *p*-nitrofenol butirato ó *p*-nitrofenol palmitato disuelto en DMSO). Las lecturas se tomaron cada 30 s durante 15 min a 410 nm y 40 °C. Una unidad lipasa corresponde a la cantidad de enzima que libera 1 μ mol de *p*-nitrofenol por minuto.

Perfil de enzimas lipolíticas

El perfil de proteínas del extracto enzimático fue analizado por electroforesis en gel de poliacrilamida SDS-PAGE al 12 %. La migración de las proteínas se llevó a cabo mediante un voltaje de 15 mA a una temperatura de 4 °C. Se utilizó un marcador de bajo peso molecular (BIO-RAD low-range SDS-PAGE standards, 161-0304). Una vez terminada la separación de proteínas, se realizó el zimograma utilizando metilumbeliferil butirato (MUF-butirato) disuelto en DMSO y se visualizó bajo la luz UV.

Consideraciones éticas

Los organismos *Magallana gigas* fueron obtenidos de cooperativas pesqueras, respetando las temporadas de pesca por la Semarnat. Los organismos se adormecieron a 0 °C, posteriormente se llevó a cabo la disección.

Limitaciones del estudio

En el presente estudio, a pesar de ser factible para evaluar la actividad de las enzimas lipolíticas, no fue posible el determinar si todas pertenecían al mismo tipo de carboxilasas.

Resultados y discusión

Actividad proteolítica

Debido a que las enzimas proteolíticas pueden llegar a hidrolizar algunos sustratos sintéticos que se utilizan para cuantificar la actividad lipolítica, se llevó a cabo la medición actividad proteasa. Se logró detectar la actividad proteolítica de los tejidos de la ostra del Pacífico (*Magallana gigas*) en condiciones ácidas en músculo (0.319 u/ml) y en menos proporción en hepatopáncreas (0.02 u/ml), mientras que en condiciones alcalinas se detectó 0.221 u/ml en muestras de músculo y 0.002 u/ml en glándula digestiva. Se ha encontrado presencia de α -quimotripsina en el plasma de la ostra del Pacífico (*Magallana gigas*) (tabla 6.1), la cual puede reconocer y digerir proteolíticamente las proteínas plasmáticas, y llevar la inhibición de las serino proteasa (Oliver et al., 1999). En otros organismos marinos se ha detectado actividad proteolítica ácida atribuida a catepsinas B, L y C, mientras que la actividad alcalina está en función principalmente de tripsinas y quimotripsinas (Rojo-Arreola et al., 2020). Sin embargo, en este estudio, llevado a cabo en condiciones alcalinas (pH 8.0), no se determinaron las enzimas presentes en los extractos, pero se lograron detectar cuatro bandas correspondientes a proteasas en muestra de glándula digestiva y cero bandas de actividad en muestra de músculo (figura 6.1).

Por otro lado, se ha demostrado que *M. gigas* contiene carvotina, lo que le da esa resistencia a la mortalidad. Esta proteína glicosilada con actividad de inhibición de serino-proteasas se asocia con hierro, lo que indica que puede funcionar como agente quelante del hierro, según García-Lagunas (2014), por tal motivo en pH alcalino (hemoglobina) también se presenta actividad.

Tabla 6.1. *Determinación de actividad proteolítica de extractos enzimáticos de la ostra del Pacífico*

<i>Extracto enzimático (M. gigas)</i>	<i>Proteína (mg/ml)</i>	<i>Actividad ácida (u/ml)</i>	<i>Actividad alcalina (u/ml)</i>
Músculo (callo)	2.67	0.319	0.221
Glándulas digestivas (HP)	6.23	0.020	0.002

Fuente: Elaboración propia.

Actividad lipasa/esterasa

La actividad lipolítica del extracto enzimático mostró mayor actividad con *p*-nitrofenil butirato y Tritón x-100 en ambas muestras. Los detergentes tienen la capacidad de afectar la actividad enzimática de las enzimas lipolíticas, además, los estudios realizados indican que la inhibición va directamente con la concentración micelar crítica. Gargouri et al. (1983) hacen hincapié en el hecho que a una proporción dada de detergente/sustrato, el porcentaje de lipasa activa permanece constante, independientemente de la concentración de enzima, lo que demuestra que la superficie lipídica es controlada por las propiedades de la superficie de triglicéridos modificados por detergente a la que se une la enzima, esto se atribuye a la poca actividad lipolítica en conjunto con las sales biliares y a su alta actividad con el detergente Tritón x-100. Cross (1998) explica que la actividad lipasa por los detergentes aniónicos se debe a la habilidad de producir la inhibición de la enzima por desestabilización de su estructura tridimensional. La capacidad de hidrólisis es un mecanismo de distinción entre lipasas y esterases, dependiendo de la longitud de la cadena, por tal motivo la diferencia entre los dos sustratos, en comparación con el *p*-nitrofenol palmitato que mostró muy poca actividad de interacción con este organismo, en cambio como mencionan Del Monte et al. (2003) en su análisis de las lipasas del extracto enzimático de hepatopáncreas de *Litopenaeus vannamei*, se obtuvo mayor cantidad de actividad al aumentar la longitud de la cadena del ácido graso al *p*-nitrofenol, lo que evidencia la presencia de especies enzimáticas específicas hacia esteres cuyos ácidos grasos presentan al menos 8 átomos de carbono. Por el contrario, Chahiniana (2009) señaló que las esterases son selectivas para interactuar con sustratos de cadena corta.

Tabla 6.2. Cuantificación de actividad lipasa/esterasa de extractos de *M. gigas*

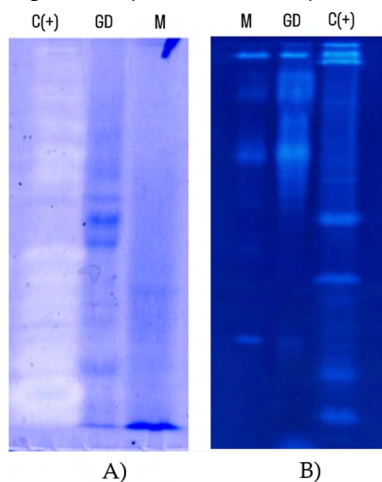
Extracto enzimático (<i>M. gigas</i>)	Actividad enzimática (u/ml)					
	<i>p</i> -NPB			<i>p</i> -NPP		
	NaTDC	NLS	Tritón x-100	NaTDC	NLS	Tritón x-100
Músculo (callo)	139.31 ± 5.41	27.95 ± 1.05	270.91 ± 11.96	4.06 ± 0.17	0.22 ± 0.00	1.19 ± 0.04
Glándulas digestivas (HP)	772.26 ± 21.37	61.48 ± 0.87	883.49 ± 6.41	7.74 ± 0.34	6.09 ± 0.29	15.66 ± 0.31

Fuente: Elaboración propia.

Perfil de lipasas

El perfil de lipasas (zimograma) para la detección de actividad lipasa/esterasa del extracto enzimático está representado en la figura 6.1b. En el primer carril, representado por M, se observó una serie de bandas no tan marcadas, pero que sí demuestran la presencia de enzimas lipolíticas. En el carril del centro nombrado por GD se muestra un bandeo de mayor intensidad confirmando (Casillas-Hernández et al., 2002) que la actividad de lipasa se incrementa para hacer disponibles las reservas lipídicas del hepatopáncreas. Por último, en el carril de la derecha representado por C(+) se aprecia una gran intensidad de bandas.

Figura 6.1. Zimograma del perfil de enzimas lipolíticas y proteolíticas



Nota: A = zimograma para proteasas utilizando caseína como sustrato; B = zimograma para enzimas lipolíticas utilizando MUF-B como sustrato; M = músculo; GD = glándulas digestivas de *M. gigas*; C(+) = hepatopáncreas del camarón azul (*Penaeus stylirostris*).

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

Mediante las técnicas empleadas se evaluó la actividad lipolítica extracelular e intracelular de la ostra del Pacífico (*Magallana gigas*). Los resultados mostraron que tanto el músculo como la glándula digestiva presentan actividad lipolítica, es esta última, la que presenta mayor actividad, lo que sugiere su papel crucial en la movilización de lípidos para el suministro energético. Se logró determinar que con Tritón x-100 se presentó la mayor actividad lipasas/esterasas en tejidos de *M. gigas*, esto nos indica que este surfactante es idóneo para continuar con el estudio de las enzimas lipolíticas de la ostra del Pacífico. No fue posible determinar el tipo de carboxilasas a las que pertenecen, pero sería de gran interés identificarlas para futuros análisis experimentales.

Referencias

- Camacho, R. M., Mateos, J. C., González-Reynoso, O., Prado, L. A. y Córdova, J. (2009). Production and characterization of esterase and lipase from *Haloarcula marismortui*. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 36(7), 901-909. <https://doi.org/10.1007/s10295-009-0568-1>
- Casillas-Hernández, R., Magallón, F., Portillo, G., Farnés, O., Nolasco, H. y Vega-Villasante, F. (2002). La actividad de proteasa, amilasa y lipasa durante los estadios de muda del camarón azul *Litopenaeus stylirostris*. *Revista de Investigaciones Marinas*, 23(1), 35-40.
- Chahiniana, H. S., L. (2009). Distinction between esterases and lipases: Comparative biochemical properties of sequence-related carboxylesterases. *Protein and Peptide Letters*, 16(10), 1149-1161. <https://doi.org/10.2174/092986609789071333>
- Chávez-Villalba, J. (2014). Cultivo de ostión *Crassostrea gigas*: Análisis de 40 años de actividades en México. *Hidrobiología*, 24(3), 175-190. <https://hidrobiologica.izt.uam.mx/index.php/revHidro/article/view/577>
- Chong-Carrillo, O., Aréchiga-Palomera, M., Peña-Almaraz, O. A., Nieves-Rodríguez, K. N., Palma-Cancino, D. J., Kelly-Gutiérrez, L. D., Badillo-Zapata, D., Vargas-Ceballos, M. A. y Vega-Villasante, F. (2024). Scientific research on exotic and native mollusk farming in Mexico according to Scopus. *Revista Agro Productividad*, 17(5), 221-236. <https://doi.org/10.32854/agrop.v17i5.2918>
- Comisión Nacional de Acuacultura y Pesca. (2022). *Anuario estadístico de acuacultura y pesca 2022*. Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. <https://nube.conapesca>

- gob.mx/sites/cona/dgppe/2022/ANUARIO_ESTADISTICO_DE_ACUACULTURA_Y_PESCA_2022.pdf
- Cross, J. (Ed.). (1998). *Anionic surfactants: Analytical chemistry* (2ª ed.). CRC. <https://doi.org/10.1201/9780367813130>
- Dandavate, V., Jinjala, J., Keharia, H. y Madamwar, D. (2009). Production, partial purification and characterization of organic solvent tolerant lipase from *Burkholderia multivorans* V2 and its application for ester synthesis. *Bioresource Technology*, 100(13), 3374-3381. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.02.011>
- Del Monte, A., Forrellat, A., Nolasco, H., Estévez, T., Boburg, B., Díaz, J. y Carrillo, O. (2003). *Aislamiento y caracterización de lipasas en el hepatopáncreas de Litopenaeus vannamei*. II Congreso Iberoamericano Virtual de Acuicultura (CIVA 2003).
- García-Lagunas, N. (2014). Cambios en la expresión génica de juveniles de *Crassostrea gigas* ante su exposición al dinoflagelado productor de toxinas paralizantes *Gymnodinium catenatum*. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste.
- Gargouri, Y., Julien, R., Bois, A. G., Verger, R. y Sarda, L. (1983). Studies on the detergent inhibition of pancreatic lipase activity. *Journal of Lipid Research*, 24(10), 1336-1342. [https://doi.org/10.1016/S0022-2275\(20\)37884-6](https://doi.org/10.1016/S0022-2275(20)37884-6)
- González-Bacerio, J., Moreno-Medina, V. R. y Del Monte Martínez, A. (2010). Las lipasas: Enzimas con potencial para el desarrollo de biocatalizadores inmovilizados por adsorción interfacial. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 12(1), 113-140.
- Kirchner, G., Scollar, M. P. y Klibanov, A. M. (1985). Resolution of racemic mixtures via lipase catalysis in organic solvents. *Journal of the American Chemical Society*, 107(24), 7072-7076. <https://doi.org/10.1021/ja00310a052>
- Lemus-Venezolana, M. J. y Cortez-Suárez, L. A. (2015). *Bioquímica general: Fundamentos y análisis de laboratorio*. Universidad Técnica de Machala.
- Neves, M. I. L., Silva, E. K. y Meireles, M. a. A. (2021). Natural blue food colorants: Consumer acceptance, current alternatives, trends, challenges, and future strategies. *Trends in Food Science & Technology*, 112, 163-173. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.023>
- Oliver, J. L., Lewis, T. D., Faisal, M. y Kaattari, S. L. (1999). Analysis of the effects of *Perkinsus marinus* proteases on plasma proteins of the eastern oyster (*Crassostrea virginica*) and the Pacific oyster (*Crassostrea gigas*). *Journal of Invertebrate Pathology*, 74(2), 173-183. <https://doi.org/10.1006/jipa.1999.4879>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Pesca. (2024). *Programa de información de especies acuáticas: Magallana gigas (Thunberg 1793)*. https://www.fao.org/fishery/es/culturedspecies/crassostrea_gigas_es/es
- Rojo-Arreola, L., García-Carreño, F., Romero, R. y Díaz-Domínguez, L. (2020). Proteolytic profile of larval developmental stages of *Penaeus vannamei*: An activity and mRNA expression approach. *PLoS ONE*, 15(9), e0239413. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239413>

7. Proteína S2bp de la medusa bola de cañón: Composición de aminoácidos y efecto del pH en la estabilidad del color



YUVITZA GUADALUPE DEPRAECT PAYÁN*

RAÚL BALAM MARTÍNEZ PÉREZ**

GUILLERMINA GARCÍA SÁNCHEZ***

MARÍA ELENA LUGO SÁNCHEZ****

JUAN CARLOS RAMÍREZ SUÁREZ*****

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.348.07>

Resumen

La medusa bola de cañón (*Stomolophus sp. 2*) es considerada un recurso pesquero abundante y de relevancia económica en el estado de Sonora; su captura se ha incrementado notablemente en los últimos años debido a su demanda en los mercados asiáticos. Además de ser considerada alimento, posee biomoléculas de interés industrial, entre ellas el colágeno y proteínas pigmentarias. En el presente trabajo se purificó la proteína S2bp, que le da la coloración característica a la medusa bola de cañón, se cuantificaron sus aminoácidos primarios por un método cromatográfico y se analizó por colorimetría triestímulo a diferentes condiciones de pH. Se identificaron 14 aminoácidos primarios y 2 iminoácidos, además, se determinaron las variaciones de color, ángulo y matiz del pigmento. Los resultados obtenidos

* Estudiante de Ingeniería en Biotecnología en el Instituto Tecnológico de Sonora, México. ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5039-3366> ; correo electrónico: yuvitza.depraect212992@potros.itson.edu.mx

** Doctor en Ciencias con especialidad en Biotecnología. Profesor del Instituto Tecnológico de Sonora, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5152-7695> ; Scopus: 57210646749

*** Maestra en Ciencias en Nutrición y Alimentos. Profesora-investigadora asociada del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3748-0530>

**** Maestra en Ciencias. Profesora-investigadora asociada del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1472-5438> ; Scopus: 6506767428

***** Doctor en Filosofía. Profesor-investigador con líneas de investigación enfocadas en ciencia y tecnología de alimentos de origen animal. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8512-1271> ; Scopus: 7801487433

mostraron que el color del pigmento es altamente estable en un rango de pH de 1 a 13 y a temperatura ambiente.

Palabras clave: *Stomolophus sp.2*, proteína S2bp, proteína azul.

Introducción

La medusa bola de cañón ha adquirido una progresiva relevancia en el norte de México, especialmente en el estado de Sonora, donde se han registrado capturas superiores a las 80 000 toneladas anuales (Hernández et al., 2024). En México se capturan principalmente dos especies de medusa bola de cañón: *Stomolophus sp. 1* en el alto golfo de California y *Stomolophus sp. 2* en el resto del noroeste del país. El mercado de la medusa bola de cañón representa una gran oportunidad en países asiáticos como China, Corea, Malasia, Indonesia, Tailandia y Singapur, donde esta no solo es apreciada por su valor proteico, sino también en la industria farmacéutica y cosmética por su alto contenido de colágeno (Méndez y Carrillo, 2023). Además de su importancia como alimento, esta posee un pigmento de origen proteico color azul, el cual resulta de gran relevancia, debido a que, en la actualidad, dentro de los colorantes naturales, el azul es probablemente el mayor desafío, debido a que las fuentes naturales de este color son limitadas. El uso de pigmentos naturales son la tendencia actual en el sector alimentario, debido a la demanda de seguridad alimentaria en comparación con los aditivos sintéticos, a pesar de esto, sigue siendo más económico para los fabricantes utilizar colorantes o pigmentos sintéticos en sus productos, ya que pueden proporcionar una mayor resistencia a la temperatura, la radiación luminosa o los cambios de pH en el medio, además de que los colorantes azules naturales escasean (Carocho et al., 2014).

Los principales colorantes azules naturales encontrados en la literatura son las antocianinas, genipina y ficocianina, sin embargo, estas sustancias colorantes son inestables, suelen tener una tinción más débil, mayor sensibilidad a la temperatura y a cambios de pH (Olas et al., 2021). Actualmente la ficocianina es el pigmento proteico que se utiliza como colorante natural en alimentos y medicinas, sin embargo, a pesar de presentar una buena

resistencia a temperaturas inferiores a 47 °C, su estabilidad disminuye significativamente a altas temperaturas y a cambios de pH (Neves et al., 2021). Debido a lo anterior, este trabajo está enfocado en la caracterización de un pigmento obtenido de la medusa bola de cañón (*Stomolophus sp. 2*), de modo tal que esto nos brinde información sobre su particularidad, principalmente su composición de aminoácidos y el efecto del pH sobre la estabilidad del color del pigmento proteico.

Metodología

Para llevar a cabo el estudio del pigmento proteico de la medusa bola de cañón (conocido como S2bp) se llevó a cabo una cromatografía de interacción hidrofóbica (HIC), con el fin de obtenerla pura, siguiendo la metodología descrita por Martínez-Pérez et al. (2020), esta técnica se basa en la interacción reversible entre una superficie hidrofóbica de una proteína y de una matriz cromatográfica a un gradiente decreciente de concentraciones altas a moderadas de sal, con sulfato de amonio la elución se logra (Mayolo-Deloisa et al., 2012); también se realizó un gel de electroforesis en de poliacrilamida para la determinación de la pureza de la proteína purificada. Posteriormente, se llevó a cabo la cromatografía líquida de alta eficiencia (HPLC), para la detección de aminoácidos que se basa en una reacción fluorescente originada de la derivatización de aminoácidos primarios con el compuesto O-ftalaldehído. La medición del color se llevó a cabo usando el espacio de color CIELAB (CIE $L^*a^*b^*$), este sistema especifica un color mediante tres parámetros L^* , a^* y b^* , que se pueden visualizar en un espacio 3D.

Diseño del estudio

Las metodologías empleadas fueron de carácter cuantitativo, ya que se calcularon los promedios, desviaciones estándar y el coeficiente de variación de los datos obtenidos, este se trabajó dentro de un límite de hasta 30 % de coeficiente de variación. Asimismo, se realizaron duplicados de la muestra

en el análisis para garantizar la confiabilidad de los resultados y reducir el error en el experimento.

Determinación de aminoácidos de la proteína S2bp por HPLC

Para la determinación de aminoácidos primarios proteicos libres de la proteína S2bp por HPLC se utilizó la metodología de Vázquez-Ortiz (1997), con modificaciones explicadas a continuación.

Hidrólisis ácida de la muestra

Se tomaron 1.4 mg de la proteína pura (S2bp) y liofilizada, a continuación, se pasó a tubos que contenían 1.4 mg de tioglicolato de sodio, seguido se añadieron 3 ml de HCl 6 M a cada tubo ($n = 3$). Estos fueron sometidos al vacío durante 2 minutos hasta la aparición de un halo húmedo en la zona de la rosca del tubo. Posteriormente, los tubos con muestra se incubaron a 150 °C durante 6 horas, o hasta la completa desaparición de cualquier residuo de muestra. El hidrolizado se transfirió a un matraz bola de 25-50 ml y se llevó a sequedad en rotavapor. Una vez evaporado el HCl de la muestra, se realizó un lavado con 5 ml de agua Milli-Q filtrada y se repitió nuevamente el proceso de evaporación. Esta operación se llevó a cabo dos veces más. Lo anterior con el objetivo de asegurarse de que no quede rastro de HCl. Finalmente, la muestra se resuspendió en 2 ml de amortiguador de citrato a un pH de 2.2 y se transfirió a microtubos hasta posterior uso.

Identificación de aminoácidos mediante HPLC

De la solución obtenida de la hidrólisis ácida se realizó una dilución 1:1000 con agua Milli-Q filtrada (0.45 μm); posteriormente, se agregaron 600 μl de agua Milli-Q filtrada, esta solución se llevó al HPLC, mismo que realizó la derivatización automatizada, mezclando entre corridas el reactivo O-Pthal-

dehído con la muestra de hidrolizada, esta se inyectó para la determinación de aminoácidos. Se utilizaron estándares de aminoácidos LAA21-1KT de Sigma Aldrich y el estándar interno L- α -amino-n-butyric acid de Sigma Aldrich, en concentración final de 2 μ g/ml.

Determinación de la variación del color de la proteína S2bp

Se utilizó una concentración 1 mg/ml de proteína, para evaluar el efecto del pH en el cambio de color, ángulo y croma, en un rango de 1, 4, 7.2 y 13. Además, S2bp fue sometida a cambios de pH utilizando una solución de buffer universal (Stauffer, 1989). El pH de la solución buffer (1-13) se ajustó con HCl concentrado o NaOH 6 M; posteriormente, se le adicionó una solución que contenía proteína azul para obtener una concentración de 0.8 mg/ml. Esta se incubó entre 5-20 min a temperatura ambiente para lograr el cambio de color. La reacción se detuvo utilizando el mismo amortiguador a pH 7.2 en relación 1:3, de tal forma que la concentración final de la proteína azul llegara a 0.2 mg/ml. Cada ensayo se realizó por triplicado.

Medición de ángulo y matiz de la proteína S2bp

Para la medición del color se utilizó el colorímetro portátil Konica Minolta CR-400 (Konica Minolta Sensing, Inc., Japón), obteniendo coordenadas de L^* , a^* y b^* , un estándar internacional para medición de color adoptado por la Commission Internationale d'Eclairage (CIE). Con ello se calculó el ángulo de matiz y el croma con las siguientes fórmulas:

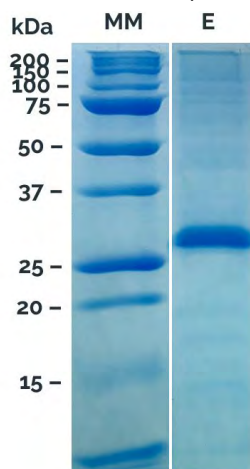
$$\text{Ángulo de Matiz} = \text{arcotang} \left(\frac{b^*}{a^*} \right) \quad (1)$$

$$\text{Croma} = (a^{*2} + b^{*2}) \quad (2)$$

Resultados y discusión

Pureza de la proteína s2bp

Figura 7.1. Gel de electroforesis de la proteína azul de medusa



Notas: MM = marcador de peso molecular; E = extracto de proteína.

Fuente: Elaboración propia.

Análisis del hidrolizado de S2bp mediante HPLC

El análisis del perfil cromatográfico del hidrolizado líquido, a través de la técnica de HPLC, permitió identificar y cuantificar los aminoácidos presentes en la proteína azul S2bp. En la tabla 7.1 se detalla el contenido de aminoácidos, se detectaron 14 aminoácidos primarios y 2 iminoácidos, donde 8 de estos son clasificados como esenciales, la treonina y valina son los aminoácidos esenciales mayoritarios. Los aminoácidos primarios son esenciales para la formación de proteínas, ya que son fundamentales para la constitución de tejidos, la síntesis de enzimas, hormonas, anticuerpos, y otros compuestos biológicamente relevantes (Naclerio, 2006). Estos tienen un grupo cuyo esqueleto carbonado no puede ser sintetizado a partir de moléculas simples por los seres humanos y, por lo tanto, deben proveerse

con la dieta (Gil, 2010). La identificación de estos aminoácidos esenciales sugiere que la proteína S2bp tiene un potencial relevante en aplicaciones nutricionales y alimentarias. Por otro lado, el perfil cromatográfico mostró una alta señal de ácido glutámico, aproximadamente en el minuto 2 como se muestra en la figura 7.2, seguido de la tirosina en el minuto 7.

Tabla 7.1. Contenido de aminoácidos de S2bp y otros pigmentos

Aminoácido	S2bp (mg AA/g)	Spirulina	% de aminoácidos		
			Subunidad α de la C-ficocianina	Subunidad β de la C-ficocianina	Proteína verde fluorescente
Ácido aspártico	31.14 $\pm$ 2.55	3.80	5.56	5.81	7.56
Ácido glutámico	142.58 $\pm$ 9.61	4.35	4.94	4.65	6.72
Serina	0.63 $\pm$ 0.20	5.16	7.41	9.30	4.62
Histidina*	17.47 $\pm$ 1.09	5.71	0.61	–	4.20
Arginina	–	2.45	4.32	6.40	2.52
Glicina	7.26 $\pm$ 0.15	5.98	8.02	6.40	9.24
Treonina	63.28 $\pm$ 3.88	5.16	6.17	5.81	6.30
Taurina	–	–	–	–	–
Alanina	91.68 $\pm$ 5.80	7.61	14.81	16.86	3.36
Tirosina	28.64 $\pm$ 1.28	5.71	6.79	2.91	4.62
Metionina*	2.22 $\pm$ 0.08	2.45	2.47	3.49	2.52
Valina*	99.79 $\pm$ 5.97	9.51	2.47	7.56	7.14
Fenilalanina*	2.32 $\pm$ 0.18	5.71	3.09	2.91	5.46
Isoleucina*	10.05 $\pm$ 0.76	8.15	6.79	5.23	5.04
Leucina*	9.23 $\pm$ 0.44	7.88	8.02	8.14	7.98
Lisina*	89.80 $\pm$ 2.36	3.80	5.56	2.33	8.40
Glutamina	–	2.17	4.32	2.91	3.36
Asparagina	–	4.62	3.70	4.07	5.46

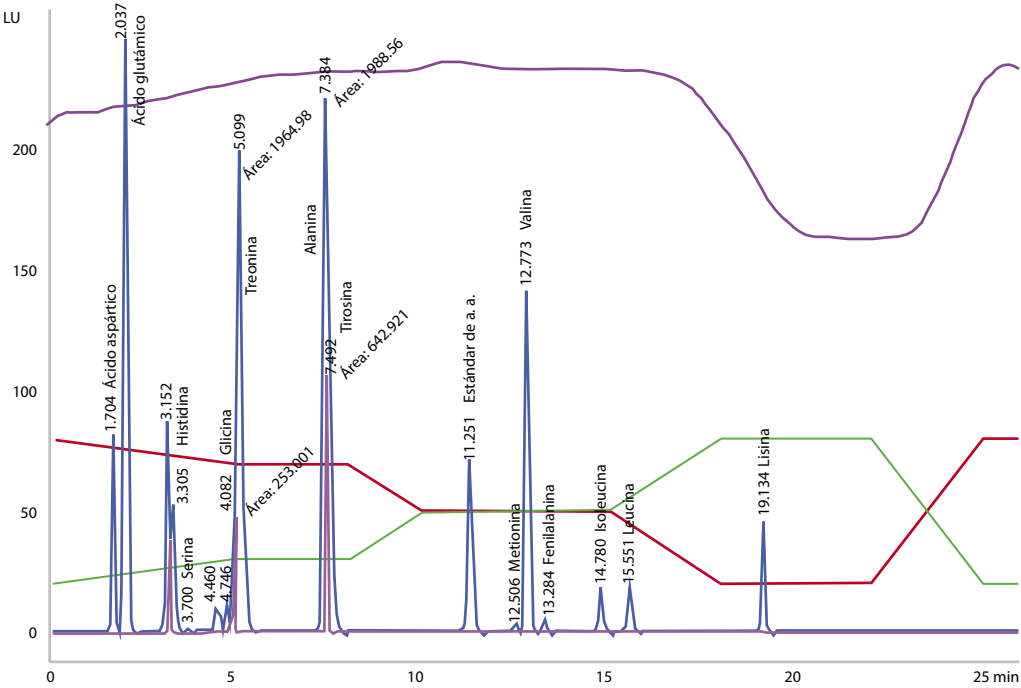
Nota: * Aminoácidos esenciales, – no detectado.

Fuente: Elaboración propia

La C-ficocianina, pigmento obtenido a partir de la espirulina (*Arthrospira platensis*), mostró un mayor contenido de aminoácidos. El porcentaje se estimó al utilizar una plantilla de la base de datos de UniProt, mediante la secuencia de aminoácidos de la subunidad α y β de la C-ficocianina (tabla 7.1), donde la sub unidad α mostró un mayor contenido de alanina, seguido de glicina y leucina por igual; en el caso de la sub unidad β , esta mostró un mayor porcentaje de alanina y serina. Tanto la medusa bola de

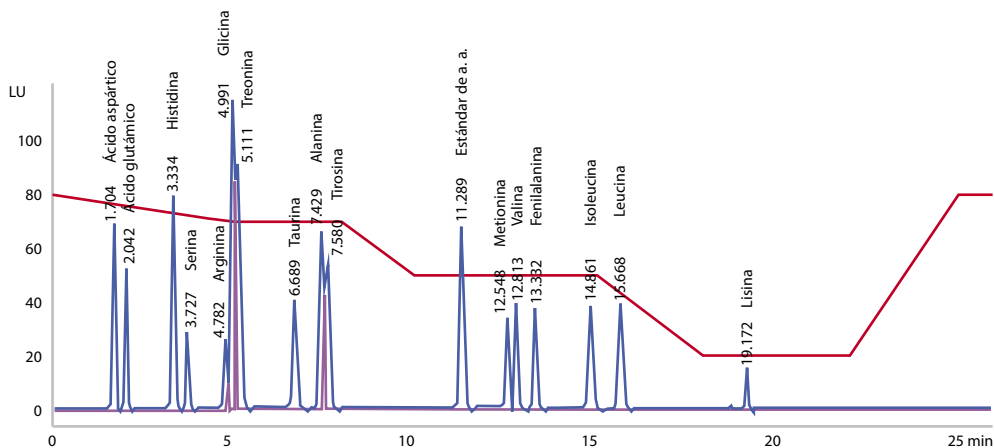
cañón (*Stomolophus sp. 2*) como la espirulina se desarrollan en condiciones de pH y salinidad que son típicas de sus hábitats marinos, para la medusa bola de cañón la salinidad del agua es de 36 ppm, mientras que la espirulina de 20 a 35 ppm (Pérez y Arredondo, 2023). Otra proteína pigmentaria es la producida por la medusa *Aequorea victoria*, cuya función es transducir la quimioluminiscencia azul de la proteína aequerina en luz fluorescente verde mediante un proceso de transferencia de energía (Franco y Longart, 2009). Esta proteína está conformada por 238 aminoácidos, su composición se obtuvo de la base de datos de UniProt mediante la secuencia de aminoácidos (se detalla en la tabla 7.1), que muestra diferencias en las cantidades de aminoácidos que la conforman, principalmente con los aminoácidos lisina y glicina.

Figura 7.2. Cromatograma representativo de la muestra de la proteína azul



Nota: línea verde = metanol; línea roja = buffer de acetatos.
Fuente: Elaboración propia.

Figura 7.3. Cromatograma representativo del estándar de 16 aminoácidos



Fuente: Elaboración propia.

El desarrollo del pigmento S2bp se realizó exclusivamente a nivel laboratorio, por lo que no se cuenta con datos representativos sobre rendimientos o costos a escala industrial. Aún es necesario escalar y optimizar el proceso para obtener esta información. Como referencia, los pigmentos naturales de color azul, como la espirulina, tienen precios de alrededor de \$400 MXN por cada 100 gramos, mientras que la ficocianina ronda los \$200 MXN por 100 gramos. Los precios varían dependiendo del vendedor.

Efecto del pH sobre el color de S2bp

La proteína S2bp de la medusa bola de cañón mostró estabilidad en un amplio rango de pH (1-13), la presencia de color fue medida con el colorímetro Konica Minolta CR-400, obteniendo coordenadas de L^* , a^* y b^* . Estos datos se muestran en la tabla 7.2, donde los resultados no mostraron grandes diferencias en cuanto a la variación del ángulo de matiz, los valores permanecieron en el rango de los grises, lo que sugiere que el pH no modificó el color a un nivel perceptible; de manera similar, el croma que representa la intensidad del color también mostró ligeras variaciones entre los

distintos rangos de pH, lo que indica que, aunque se realizaron ajustes en el pH, la opacidad o vivez del color de la proteína no experimentó cambios significativos. En comparación, diversos estudios mencionan que la C-ficocianina es notablemente estable a 4 y 37 °C (Fodosa et al., 2021), además de ser estable a pH entre 4 y 7. En la tabla 7.3 se presentan los valores de estabilidad del pH de las ficocianinas de diferentes organismos, se señala que la ficocianina producida por *Galdieria phlegrea* tiene una ventaja sobre la producida por *Spirulina*, cuyo pigmento se inactiva a 46 °C. Por otro lado, en un estudio realizado por Martínez-Pérez et al. (2020) se reportó que la temperatura es un factor determinante en la estabilidad de la proteína azul S2bp, ya que se observó que la máxima absorbancia fue de 650 nm a una temperatura de 50 °C, mientras que de 10 a 40 °C el color azul no mostró un cambio significativo, sin embargo, al aumentar la temperatura de 60 a 70 °C el color azul desapareció.

Tabla 7.2. Análisis de color a distintos rangos de pH

pH	L*	Ángulo de matiz	Croma
1	58.326 ± 0.615	216.721 ± 1.490	1.835 ± 0.264
4	45.920 ± 2.425	40.918 ± 18.205	0.544 ± 0.0765
7.2	35.083 ± 0.885	265.314 ± 6.025	1.181 ± 0.0456
12	42.223 ± 1.034	254.005 ± 14.862	1.311 ± 0.029
13	41.650 ± 3.065	187.882 ± 6.437	0.841 ± 0.043

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 7.3. Estabilidad de ficocianinas

Organismo	T (°C)	pH	Referencia
<i>G. phlegrea</i>	80	5-7	Ferraro et al. (2020)
<i>Geitlerinema sp.</i>	4-37	4-7	Patel et al. (2018)
<i>C. clavulatum</i>	4	7.4	Nair et al. (2018)
<i>Spirulina</i>	37	4	Minic et al. (2016)
<i>Sthomolopus sp. 2</i>	50	1-13	Martínez et al. (2020)

Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

Los resultados obtenidos demuestran que la proteína azul S2bp presentó un contenido de aminoácidos diverso, indicativo de su potencial valor nutricional y funcional. Además, la evaluación de la estabilidad del pH mediante la medición del color reveló que la proteína S2bp presentó ligeros cambios en ángulo de matiz, croma y la luminosidad en un rango de pH entre 1 y 13, esto indica que la proteína es estable y resistente a cambios en el pH, lo que sugiere que podría ser una potencial alternativa como pigmento natural frente a los pigmentos sintéticos actualmente utilizados en diversos sectores industriales. Sin embargo, es necesario realizar más estudios para caracterizar sus propiedades, funcionalidades y seguridad para su uso en la industria.

Referencias

- Camacho Ayala, T. X. (2017). *Obtención de un hidrolizado de Spirulina (Arthrospira platensis) en polvo, mediante secado por aspersión, como ingrediente funcional* [Trabajo de titulación]. Universidad Técnica del Ambato. <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/25303>
- Carocho, M., Barreiro, M. F., Morales, P. y Ferreira, I. C. (2014). Adding molecules to food, pros and cons: A review on synthetic and natural food additives. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(4), 377-399. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12065>
- Ferraro, G., Imbimbo, P., Marseglia, A., Illiano, A., Fontanarosa, C., Amoresano, A., Olivieri, G., Pollio, A., Monti, D. M. y Merlino, A. (2020). A thermophilic C-phycoerythrin with unprecedented biophysical and biochemical properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 150, 38-51. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.02.045>
- Franco, A. Y. y Longart, M. (2009). Aplicaciones de la proteína verde fluorescente (GFP) en la biología celular y en la visualización del sistema nervioso. *Revista de Estudios Transdisciplinarios*, 1(2), 84-96. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179214945007>
- Gil, Á. (2010). *Tratado de nutrición: Bases fisiológicas y bioquímicas de la nutrición* (2ª ed.). Editorial Médica Panamericana.
- González-Fosadosa, L. B., González-Chávez, B. K., Garrido-Hernández, A., Carrillo-Sancen, G., Cerón-Montes, G. I. y Martínez-Valdez, F. J. (2021). Caracterización de ficocianina por espectrofotometría de masas. *Pädi Boletín Científico de Ciencias Básicas e Ingenierías del ICBI*, 9(no. esp. 2), 149-156. <https://doi.org/10.29057/icbi.v9iEspecial2.7985>
- Hernández Garibay, E., Cisneros Mata, M. A., Escobedo Rosales, R. B. y Apolinar Romo,

- A. A. y Curiel Bernal, M. V. (2024). Composición nutrimental de la medusa bola de cañón (*Stomolophus* sp. 1). *Revista Ciencias del Mar*, 1(2), 67-83. <https://revistas.uas.edu.mx/index.php/CIMAR/article/view/489>
- Huxtable, R. J. (1992). Physiological actions of taurine. *Physiological Reviews*, 72(1), 101-163. <https://doi.org/10.1152/physrev.1992.72.1.101>
- Jain, Y., Saxena, V. y Mittal, S. (2022). Ensembling deep learning and CIELAB color space model for fire detection from UAV images. En *Proceedings of the II International Conference on AIML Systems* (art. 7). <https://doi.org/10.1145/3564121.3564130>
- Karazhyan, R., Ameri, M., Noshahri, N., Ehtiati, A. y Abdollahi, N. (2024). Effects of copigmentation on the stability of phycocyanin pigments extracted from *Spirulina platensis* using spray dryer. *Applied Food Biotechnology*, 9(3), 227-237. <https://doi.org/10.22037/afb.v9i3.37752>
- Lacera Rúa, A. (2004). Roles alimenticios y metabólicos de la taurina y la L-carnitina. *Intropica*, 1(1), 105-120. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5167548>
- Martínez-Pérez, R. B., Díaz-Tenorio, L. M., Leyva Soto, L. A., Gortáres-Moroyoqui, P., García-Rico, L. y Rodríguez, J. A. (2020). Characterization of cannonball jellyfish (*Stomolophus* sp. 2) blue protein: A pH-stable pigment. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(23), 28597-28606. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08689-1>
- Mayolo-Deloisa, K., Martínez, L.M. y Rito-Palomares, M.. (2012). Técnicas cromatográficas y su aplicación a estudios de cambios conformacionales, estabilidad y replegamiento de proteínas. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 11(3), 415-429. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-27382012000300006
- Méndez Barrón, R. y Carrillo Cisneros, E. (2023). Pesquería de medusa bola de cañón en Sonora: Potenciales productivos, comerciales y de integración económica con Asia. *Indiciales*, 1(5). <https://doi.org/10.52906/ind.v1i5.51>
- Minic, S. L., Stanic-Vucinic, D., Mihailovic, J., Krstic, M., Nikolic, M. R. y Cirkovic Velickovic, T. (2016). Digestion by pepsin releases biologically active chromopeptides from C-phycocyanin, a blue-colored biliprotein of microalga *Spirulina*. *Journal of Proteomics*, 147, 132-139. <https://doi.org/10.1016/j.jprot.2016.03.043>
- Naclerio, F. (2006). *Utilización de las proteínas y aminoácidos como suplementos o integradores dietéticos*. https://www.researchgate.net/publication/280977138_Utilizacion_de_las_Proteinas_y_Aminoacidos_como_Suplementos_o_Integradores_Dieteticos
- Nair, D., Krishna, J. G., Panikkar, M. V. N., Nair, B. G., Pai, J. G. y Nair, S. S. (2018). Identification, purification, biochemical and mass spectrometric characterization of novel phycobiliproteins from a marine red alga, *Centroceras clavulatum*. *International Journal of Biological Macromolecules*, 114, 679-691. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.03.153>
- Olas, B., Białecki, J., Urbańska, K. y Bryś, M. (2021). The effects of natural and synthetic blue dyes on human health: A review of current knowledge and therapeutic perspectives. *Advances in Nutrition*, 12(6), 2301-2311. <https://doi.org/10.1093/advances/nmab081>
- Patel, H. M., Rastogi, R. P., Trivedi, U. y Madamwar, D. (2018). Structural characterization

- and antioxidant potential of phycocyanin from the cyanobacterium *Geitlerinema* sp. H8DM. *Algal Research*, 32, 372-383. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2018.04.024>
- Pérez Romero, C. y Arredondo Vega, B. (2023). Del tecuitlatl azteca a la *Spirulina*: Un recurso biotecnológico. *Recursos Naturales y Sociedad*, 9(2), 91-106. <https://doi.org/10.18846/renaysoc.2023.09.09.02.0008>
- Ruiz-Hernández, Y., Garza-Valverde, E., Márquez-Reyes, J. y García-Gómez, C. (2023). Extracción de ficocianina para uso como colorante natural: Optimización por metodología de superficie de respuesta. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 8(1), 84-91. <https://doi.org/10.29105/idcyta.v8i1.16>
- Stauffer, C. (1989). Effect of pH on activity. En *Enzymes assay for food scientist* (pp. 61-76). Avi.
- Vázquez-Ortiz, F. A., Caire, G., Higuera-Ciapara, I. y Hernández-Watanabe, G. (1997). High performance liquid chromatographic determination of free amino acids in shrimp. *Journal of Liquid Chromatography*, 18(10), 2059-2068.

8. Uso del bagazo de betabel como fuente de pigmentos naturales: Extracción de betalaínas y aplicación en tortillas de maíz



CÉSAR ALBERTO ROLDÁN CRUZ*

ALEJANDRO MARTÍNEZ VELASCO**

ADRIEL AZUARA VICARIO***

ABRIL RAMÍREZ HIGUERA****

GABRIELA BLASCO LÓPEZ*****

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.348.08>

Resumen

La valorización de residuos alimentarios es muy importante, pues promueve la sostenibilidad, la reducción del impacto ambiental y su aplicación en el desarrollo de productos alimentarios que mejoran la salud. Este estudio se enfocó en el aprovechamiento del bagazo de betabel, un residuo resultante en la obtención del jugo, para la extracción de pigmentos naturales con potenciales propiedades antioxidantes. Para optimizar el proceso de extracción, se utilizó una metodología de superficie de respuesta (MRS), con tres factores: potencia del microondas (30, 60 y 100 %), tiempo de extracción (10, 30 y 60 s) y relación etanol: agua (1:1, 2:1 y 3:1), así como 2 variables respuesta que fueron el contenido de betacianinas (BC) y betaxantinas (BX). En total, se realizaron 27 tratamientos que resultaron de la combinación de los diferentes factores. La MSR indicó que las condiciones que maximizan la extracción BC fueron 81.30 % de potencia, 1:1 relación etanol:agua y 60 s, para obtener 135.97 mg/100g de muestra seca. Para BX fueron 30.71 % po-

* Doctor en Biotecnología. Docente de tiempo completo de la Universidad Veracruzana, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8992-8176> ; Scopus: 57118083700 ; correo electrónico: croidan@uv.mx

** Doctor en Biotecnología. Docente de asignatura de la Universidad Veracruzana, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0955-554X>

*** Licenciado en Nutrición por la Universidad Veracruzana, región Veracruz, México.

**** Doctora en Biotecnología. Docente de asignatura de la Universidad Veracruzana, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1430-2689>

***** Doctora en Alimentos. Docente-investigadora de tiempo completo de la Universidad Veracruzana, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5045-4164>

tencia, 1:1 relación etanol:agua y 60 s para obtener 40.38 mg/100g de muestra seca. Estas condiciones, con el mayor contenido de BC y BX, se utilizaron como pigmentos naturales en la elaboración de tortillas de maíz, a las cuales se les midió el color. Este estudio no solo aprovechó un residuo alimentario utilizando una tecnología amigable con el medioambiente, sino que también permitió obtener una fuente novedosa de pigmentos naturales con potencial aplicación en la industria alimentaria.

Palabras clave: *valorización, bagazo de betabel, residuo alimentario, pigmentos naturales, betalainas.*

Introducción

La producción de alimentos genera muchos residuos agroindustriales que, cuando no se manejan correctamente, generan contaminación ambiental y problemas relacionados con el cambio climático. Para ello, se ha propuesto el estudio y generación de alternativas para una gestión eficiente de los residuos, utilizando de manera complementaria diferentes tecnologías emergentes y amigables con el medioambiente (Raza-Carrillo y Acosta, 2022). Entre estas tecnologías se encuentran el ultrasonido de alta intensidad, microondas, campos eléctricos pulsantes, altas presiones hidrostáticas y fluidos supercríticos, las cuales han reportado un menor tiempo de extracción, alto rendimiento y calidad en la extracción de compuestos bioactivos a partir de residuos alimentarios (p. ej.; cáscara de uva, pitaya, tuna, vainas de leguminosas y tallos de remolacha), en comparación con los métodos convencionales (Cazón y Sanches, 2024). Con ello se busca generar materias primas con alto valor agregado (polisacáridos, antioxidantes y pigmentos) a partir de residuos agroindustriales para la industria alimentaria (Salazar-López et al., 2023). Hay un interés particular en la búsqueda de pigmentos naturales para reemplazar a los colorantes sintéticos en la formulación de alimentos y bebidas. El consumo de este tipo de pigmentos se ha relacionado de manera positiva con la disminución del envejecimiento prematuro, además de la disminución en el desarrollo de determinados tipos de cáncer, diabetes y otras (Fiedor y Burda, 2014). Entre estos pigmentos se encuentran

las antocianinas, carotenoides, betalaínas, clorofilas, los cuales pueden obtenerse de los tejidos vegetales de residuos agroindustriales. El betabel (*Beta vulgaris*) se ha estudiado como una fuente potencial y sostenible de colorantes naturales, debido a su alto contenido de betalaínas, así como de minerales, vitaminas y muchos fitocomponentes con propiedades medicinales (Carreón-Hidalgo et al., 2022). Normalmente, el betabel se utiliza para la elaboración de jugos, mermeladas y bebidas, y como subproductos genera una gran cantidad de pulpa, cáscaras y tallos. Existen pocos estudios enfocados en el aprovechamiento de los residuos que se obtienen del betabel, pero ninguno hasta el momento que haya realizado la optimización de las condiciones de extracción de pigmentos naturales (betalaínas) a partir del bagazo y su aplicación en la formulación de alimentos. Por ello, el presente estudio tuvo como finalidad la valorización del bagazo del betabel como fuente potencial de pigmentos naturales, utilizando la extracción asistida por microondas y la metodología de superficie de respuesta, con la finalidad de encontrar las mejores condiciones de potencia, relación etanol:agua y tiempo, que permitan la mayor extracción de betalaínas (betacianinas y betaxantinas) y su aplicación como pigmento natural en la formulación de tortillas de maíz.

Metodología

Material biológico: se utilizaron frutos de betabel (*Beta vulgaris*) en madurez fisiológica, los cuales se lavaron y cortaron en trozos rectangulares. Posteriormente se introdujeron en un extractor de jugo (marca Turmix, modelo TU04, México) y se separó el bagazo del betabel (BV; material fibroso) del jugo, el cual se mantuvo en refrigeración hasta su utilización.

Diseño experimental

Los factores estudiados fueron potencia de microondas (30 %, 60 %, y 100 %), relación etanol:agua (1:1, 2:1, 3:1) y tiempo (10, 30, y 60 s). Se realizó una metodología de superficie de respuesta para obtener las condiciones de ex-

tracción óptimas, utilizando un diseño completamente al azar, tres factores con tres niveles, que generó un total de 27 corridas experimentales para la extracción de betalaínas (betacianinas (BC) y betaxantinas (BX)).

Extracción y cuantificación de betalaínas

Se pesaron 5 gramos de muestra de BV y se mezclaron con 50 ml de solvente etanol:agua, y luego la mezcla se sometió a condiciones de potencia de microondas (marca MABE modelo JES70W, México) y tiempo, de acuerdo con las condiciones para cada tratamiento indicado en la tabla 8.1. Los extractos se filtraron con un papel filtro Whatman n° 1 y se determinó el contenido de betalaínas utilizando un espectrofotómetro (LAMBDA 365, PerkinElmer, EE. UU.) a longitudes de onda de 540 y 480 nm (Chew et al., 2019). El contenido de BC y BX se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$BC \left(\frac{mg}{g} \right) = \frac{A (PM) V(FD)}{\epsilon LP}$$

Donde *BC* es el contenido de betalaínas y bataxantinas (mg/g, respectivamente); *V* es el volumen en mililitros del extracto obtenido; *FD* es el factor de dilución de la muestra; *L* es la longitud del paso óptico en cm; *P* es el peso de la muestra en gramos; *A* es la absorbancia medida a 538 nm y 480 nm para betacianinas y betaxantinas, respectivamente; *PM* es el peso molecular para betanina (550 g/mol) e indicaxantina (308 g/mol); ϵ es la absortividad molar (60 000 l/mol·cm para betanina y 48 000 l/mol·cm para indicaxantina).

Optimización de las condiciones de extracción de betalaínas

Los valores obtenidos del contenido de BC y BX (betalaínas) de los 27 tratamientos generados por el diseño experimental utilizado se analizaron con una metodología de superficie de respuesta, conforme a lo indicado en el apartado de análisis estadístico, para obtener las condiciones óptimas de potencia de microondas, relación etanol: agua y tiempo, que permitan la mayor extracción del contenido de BC y BX. Estos extractos se secaron en

un horno de convección a 35 °C por 24 h y se almacenaron en refrigeración para posteriormente ser incorporados en la elaboración de tortillas.

Aplicación en la elaboración de tortillas de maíz

Se elaboraron muestras de tortilla utilizando 45 gramos de harina de maíz y 5 gramos de extracto de betabel deshidratado. Posteriormente, se añadieron 60 ml de agua a la mezcla y se procedió a mezclar hasta obtener una masa homogénea. Se pesaron fracciones de 50 g de masa y se llevaron a la prensa para la obtención de las tortillas. Se colocaron en una parrilla eléctrica a 180 a 200 °C, y se dejaron 1.5 minutos de cada lado.

Medición de color en tortillas

Se obtuvieron los valores de luminosidad (L^*), a^* (coordenadas rojo/verde) y b^* (coordenadas amarillo/azul). A partir de estos resultados, se calculó el ángulo de tono o Hue (0° representa el rojo; 90°, el amarillo; 180°, el verde; y 270°, el azul) y la saturación de color o “croma” (C^*), de acuerdo a las expresiones que se presentan enseguida:

$$Hue = \tan^{-1} \left(\frac{b}{a} \right)$$

$$croma = \sqrt{a^2 + b^2}$$

Análisis estadístico

Para el análisis de los resultados se utilizó la metodología de superficie de respuesta (MSR) con el software Statgraphics Centurion XVI (Statistical Graphics Corp., Manugistics, Inc., Cambridge, MA, EE. UU.), aplicando un diseño estadístico completamente al azar con tres variables para la extracción de betacianinas y betaxantinas (tabla 8.1). Los datos del diseño se analizaron mediante regresión múltiple de mínimos cuadrados para ajustar los

modelos polinomiales que permitan predecir las concentraciones de betalaínas en función de las condiciones de extracción. La significancia de los modelos se probó mediante análisis de varianza (prueba F) y coeficiente de determinación (R^2). El nivel de significancia se estableció en $p < 0.05$ para todos los factores. Los gráficos de 3D, contorno y diagramas de Pareto se obtuvieron con ayuda del software mencionado.

Tabla 8.1. Condiciones para la extracción de betalaínas y betaxantinas del bagazo del betabel

Corrida	Potencia (vatios) (A)	Relación etanol:agua (B)	Tiempo (s) (C)	BC (mg/100g)	BX (mg/100g)
1	30	1:1	10	86.46	29.03
2	30	1:1	30	66.16	25.02
3	30	1:1	60	109.23	43.35
4	30	2:1	10	64.35	19.56
5	30	2:1	30	78.10	22.71
6	30	2:1	60	111.10	30.34
7	30	3:1	10	91.96	27.18
8	30	3:1	30	75.52	21.17
9	30	3:1	60	109.89	28.34
10	60	1:1	10	69.03	24.75
11	60	1:1	30	147.29	36.11
12	60	1:1	60	144.21	44.66
13	60	2:1	10	54.51	17.86
14	60	2:1	30	110.00	24.49
15	60	2:1	60	100.65	26.72
16	60	3:1	10	73.59	20.79
17	60	3:1	30	102.79	29.80
18	60	3:1	60	132.00	35.96
19	100	1:1	10	79.47	21.25
20	100	1:1	30	88.44	28.11
21	100	1:1	60	119.35	36.58
22	100	2:1	10	52.58	23.25
23	100	2:1	30	103.40	34.80
24	100	2:1	60	97.90	25.03
25	100	3:1	10	59.23	24.33
26	100	3:1	30	109.34	33.65
27	100	3:1	60	145.20	38.12

Nota: BC = Betalaínas; BX = Betaxantinas.

Fuente: Elaboración propia.

Resultados y discusión

El contenido de BC y BX obtenido del bagazo de betabel en función de la combinación de condiciones de potencia, relación etanol:agua y tiempo de microondas, se colocaron en la tabla 8.1 y se ven ilustrados en la figura 8.1. El contenido de BC fluctuó en un rango de 52.58 mg/100 g con el tratamiento 22, hasta 147.29 mg/100 g en el tratamiento 11. Por otro lado, en contenido de BX, los valores estuvieron comprendidos entre 17.86 mg/100 g con el tratamiento 13 hasta 43.35 mg/100 g con las condiciones del tratamiento 3. Se encontró que el contenido de BC se favoreció con potencias y tiempos altos, y menos influencia de la relación etanol:agua. El contenido de BX fue altamente sensible a la extracción con etanol, ya que con la relación más baja de 1:1 (etanol:agua) se favoreció la mayor extracción de estos componentes con tiempo altos, independientemente de la potencia de microondas aplicada, tal como se observa en T3 de la figura 8.1. De acuerdo con Kaba et al. (2024), las betacianinas son colorantes vegetales solubles en agua que pueden tener una tonalidad rojo violeta y las betaxantinas un color amarillo. Se ha informado que las betacianinas son antioxidantes más potentes que las betaxantinas (Azeredo, 2008), los cuales se pueden incorporar en productos alimenticios como colorantes naturales o como suplementos nutricionales, para mejorar su valor nutricional.

Figura 8.1. Extractos obtenidos con betalaínas y betaxantinas de bagazo de betabel a partir de las diferentes corridas experimentales



Fuente: Elaboración propia.

Con base en el análisis de regresión múltiple aplicado a los datos, se desarrollaron modelos predictivos para el contenido de BC y BX (tabla 8.2). Para evaluar la calidad de los modelos, se usaron los coeficientes de determinación (R^2), que indican el porcentaje de variabilidad de los datos que puede explicar un modelo. De acuerdo con Gutiérrez-Pulido y de la Vara-Salazar (2012), un modelo fuerte se considera cuando el valor de R^2 está por arriba del 70 %. En este estudio, ambos modelos estuvieron en estos valores de R^2 , los cuales, si bien están en el límite de confiabilidad, si permiten tener una referencia que explique el comportamiento de BC y BX.

Tabla 8.2. Modelos de regresión para betacianinas y betaxantinas

Variables respuesta	Modelo de regresión
BC	$= 93.892 + 1.06676 \times A - 63.7818 \times B + 0.674738 \times C - 0.00999637 \times A^2 + 0.0261667 \times AB + 0.00797333 \times AC + 14.6661 \times B^2 + 0.0815667 \times BC - 0.00545689 \times C^2$ $R^2 = 0.705$
BX	$= 45.1894 - 0.0705859 \times A - 26.0586 \times B + 0.291612 \times C - 0.000482086 \times A^2 + 0.0732619 \times AB + 0.000449524 \times AC + 5.47611 \times B^2 - 0.0644 \times BC + 0.000468444 \times C^2$ $R^2 = 0.705$

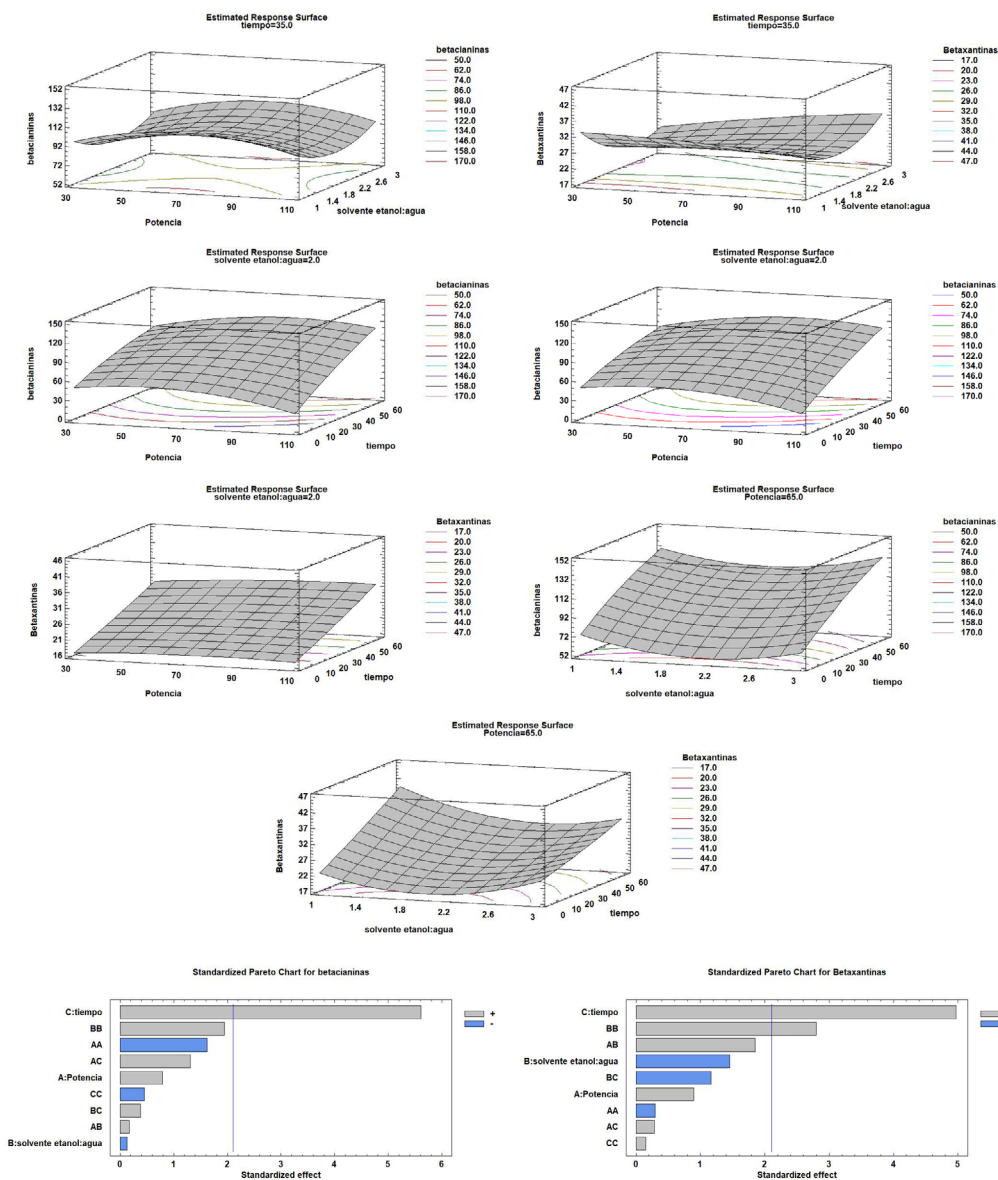
Nota: A = potencia; B = Relación etanol:agua; C) tiempo.
Fuente: Elaboración propia.

El análisis de varianza del contenido de BC y BX del bagazo de betabel indicó un comportamiento diferente en la influencia de los factores estudiados (potencial, relación etanol:agua y tiempo de microondas) sobre las variables respuesta, ya que en el caso de las betalainas solo el factor tiempo tuvo un efecto significativo para la mayor extracción de este compuesto ($p < 0.05$). En el caso de las BX tanto el factor tiempo ($p < 0.05$) y la interacción del solvente etanol:agua ($p < 0.05$), fueron las que tuvieron un efecto significativo y, por lo tanto, son las variables que se deben considerar para aumentar la extracción de este compuesto. Seo et al. (2014) reportaron que una solución al 50 % de etanol fue más efectiva que las soluciones acuosas y metanólicas en la extracción de compuestos fenólicos con actividad antioxidante de guayaba (*Psidium guajava* L.).

Efecto de las condiciones de extracción de betalaínas de bagazo de betabel

El análisis de las interacciones de los factores estudiados indicaron que la región que favorece la mayor extracción de BC se encuentra entre 70-75 % de potencia y relación etanol:agua 3:1 (figura 8.2). En la interacción potencia-tiempo, se observó que tiempos entre 50 a 60 s y potencia de 90 % son las que mejor favorecen la extracción de estos componentes. Finalmente, la combinación de etanol:agua-tiempo que mejor comportamiento presentó fue la relación de 3:1 y tiempos de 50 a 60 s. En el caso de BX, la zona de interacción potencia-relación etanol:agua que presentó mejor extracción se encontró en valores de potencia de 90 a 100 % y relación etanol:agua de 3:1. En la interacción potencia-tiempo, el factor que más influyó fue el tiempo, independiente de la potencia aplicada. Finalmente, la interacción solvente etanol:agua-tiempo que presentó mejor extracción de BX fue con una relación etanol:agua (1.4:1) y tiempos de 60 s. Los diagramas de Pareto indicaron que para la mayor extracción de BC, el factor que tiene más efecto es el tiempo de microondas, a diferencia de BX, donde los factores que más efecto tienen son el tiempo y la interacción del factor etanol:agua. De acuerdo con la MSR, las condiciones óptimas para la extracción de betalaínas a partir del bagazo de betabel, utilizando la extracción asistida por microondas, fueron 81.30 % de potencia, 3:1 relación etanol:agua y tiempo de 60 s para un contenido estimado de 135.97 mg/100 g de muestra seca de BC. En el caso de BX, las condiciones óptimas fueron 30.71 % de potencia, relación solvente:agua de 1:1 y tiempo de 60 s, con un contenido estimado de 40.38 mg/100 g de muestra seca. Estos resultados indican una mejora significativamente las condiciones de extracción de betalaínas, ya que los tiempos se reducen de manera significativa, en comparación a las utilizadas en la maceración (método convencional), que utiliza entre 15 hasta 30 min para lograr una buena extracción de pigmentos de fuentes naturales.

Figura 8.2. Graficas en 3D y diagrama de Pareto de las interacciones de potencia, relación solvente etanol:agua y tiempo para la obtención de BC y BX de bagazo de betabel

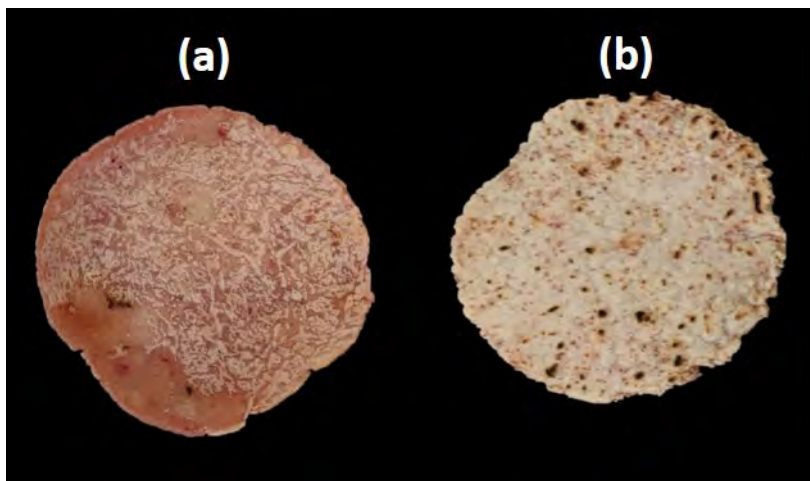


Fuente: Elaboración propia.

Aplicación de betalaínas en tortillas de maíz

Los pigmentos naturales obtenidos con las condiciones óptimas en la extracción de BC permitieron elaborar tortillas de maíz con una coloración rojo intenso (figura 8.3a), que coincidió con el ángulo de tono obtenido, pues se encontró en el rango de los tonos rojos (45.3 ± 4.04), con baja luminosidad (43.7 ± 3.90) y alta saturación de color (27.7 ± 4.15); con respecto a las tortillas formuladas con las condiciones que maximizaron el contenido de BX, donde las tortillas tuvieron un color orientado hacia los tonos amarillos (73.0 ± 7.21), con una menor saturación de color (17.3 ± 0.50) y valores de luminosidad más altos (61.0 ± 7.16) (figura 8.3b). A pesar de las condiciones de cocción de las tortillas (aprox. $100\text{ }^{\circ}\text{C}$) de ambas formulaciones, el color de BC y BX no presentaron cambios significativos, lo cual se atribuyó a la protección que pueden brindarle la matriz de carbohidratos (almidones) presentes en la harina de maíz nixtamalizada, que durante el proceso de cocción de las tortillas se promueve su gelatinización y con ello este efecto de protección (Martins et al., 2024).

Figura 8.3. Tortillas de maíz adicionadas con pigmentos de bagazo de betabel con las condiciones que permiten la mayor extracción de betacianinas (T_{BC}) y betaxantinas (T_{BX})



Fuente: Elaboración propia.

Conclusiones

El bagazo del betabel (*Beta vulgaris*) puede utilizarse como una fuente económica, novedosa y alternativa para obtener de betalaínas (BC y BX), gracias a la extracción asistida por microondas. La metodología de superficie de respuesta indicó que las condiciones que favorecen la mayor extracción de BC fueron 81.3 % de potencia, 3:1 relación solvente:agua y tiempo de 60 s, para un contenido estimado de 135.97 mg/100 g de muestra seca. Por otro lado, para BX las condiciones fueron 30.71 % de potencia, relación solvente:agua de 1:1 y tiempo de 60 s, para un contenido estimado de 40.382 mg/100 g de muestra seca. Es posible extraer e incorporar de estos pigmentos naturales (BC y BX) en una matriz alimentaria para elaborar tortillas de maíz. Este estudio representa una alternativa sustentable para la reutilización de residuos alimentarios como fuente de compuestos de alto valor agregado con potencial aplicación en la industria alimentaria o farmacéutica.

Referencias

- Azeredo, H. M. C. (2008). Betalains: properties, sources, applications, and stability: A review. *International Journal of Food Science & Technology*, 44(12), 2365-2376. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01668.x>
- Carreón-Hidalgo, J. P., Franco-Vásquez, D. C., Gómez-Linton, D. R. y Pérez-Flores, L. J. (2022). Betalain plant sources, biosynthesis, extraction, stability enhancement methods, bioactivity, and applications. *Food Research International*, 151, 110821. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110821>
- Cazón, P. y Sanches Silva, A. (2024). Natural pigments from food wastes: New approaches for the extraction and encapsulation: A review. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, 47, 100929. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2024.100929>
- Chew, Y. M., Hung, C. H. y King, V. A. (2019). Accelerated storage test of betalains extracted from the peel of pitaya (*Hylocereus cacti*) fruit. *Journal of Food Science and Technology*, 56(3), 1595-1600.
- Fiedor, J. y Burda, K. (2014). Potential role of carotenoids as antioxidants in human health and disease. *Nutrients*, 6, 466-488.
- Gutiérrez-Pulido, H. y de la Vara-Salazar, R. (2012). *Análisis y diseño de experimentos*. McGraw-Hill Interamericana.

- Kaba, B., Zannou, O., Redha, A. A. y Koca, I. (2024). Enhancing extraction of betalains from beetroot (*Beta vulgaris* L.) using deep eutectic solvents: Optimization, bioaccessibility and stability. *Food Production Processing and Nutrition*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/s43014-023-00208-2>
- Martins, I. R., Martins, L. H., D. S., Chisté, R. C., Picone, C. S. F. y Joele, M. R. S. P. (2024). Betalains from vegetable peels: Extraction methods, stability, and applications as natural food colorants. *Food Research International*, 195, 114956. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114956>
- Raza-Carrillo, D. y Acosta, J. (2022). Planificación ambiental y el reciclaje de desechos sólidos urbanos. *Economía, Sociedad y Territorio*, 22(69), 519-544. <https://doi.org/10.22136/est20221696>
- Salazar-López, N. J., Enríquez-Valencia, S. A., Zúñiga Martínez, B. S. y González-Aguilar, G. A. (2023). Residuos agroindustriales como fuente de nutrientes y compuestos fenólicos. *Epistemos*, 17(34). <https://doi.org/10.36790/epistemos.v17i34.265>
- Seo, J., Lee, S., Elam, M. L., Johnson, S. A., Kang, J. y Arjmandi, B. H. (2014). Study to find the best extraction solvent for use with guava leaves (*Psidium guajava* L.) for high antioxidant efficacy. *Food Science & Nutrition*, 2(2), 174-180. <https://doi.org/10.1002/fsn3.91>

9. Proyecto de perforación de pozo profundo en el municipio de Villa Guerrero, Jalisco



JOSEPH OMAR GAETA GONZÁLEZ*

JOSEFINA ELIZABETH GODÍNEZ CHAVOYA**

JOSÉ MANUEL NÚÑEZ OLIVERA***

FRANCISCO JAVIER RAMOS LÓPEZ****

RODOLFO CABRAL PARRA*****

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.348.09>

Resumen

El presente estudio se realizó con el propósito de terminar con el problema recurrente de la falta de agua en el municipio de Villa Guerrero, Jalisco (VGJ), a partir de una propuesta de proyecto de perforación de un pozo profundo que incluya tanto aspectos técnicos como sustentables —económicos, sociales, administrativos y ambientales—, utilizando recursos económicos del Gobierno del estado de Jalisco. Los resultados señalan que la instalación de un pozo profundo es viable, siempre y cuando se trabaje en equipo para solventar los diversos requisitos solicitados para la perforación de un pozo profundo, demostrándose que la disponibilidad de agua sin limitantes drásticas permitiría incrementar la productividad agropecuaria del municipio, establecer condiciones para arraigar a la gente a sus comunidades y disminuir así los porcentajes de migración de los pobladores de Villa Guerrero y la región Norte de Jalisco (RNJ), los cuales provocan diversos problemas,

* Maestro en Administración de Negocios. Actualmente se desempeña como *senior supply chain business continuity planning analyst* en AstraZeneca. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3302-7638> ; correo electrónico: omargaeta2896@gmail.com

** Doctora en Inclusión, Políticas Públicas e Investigación. Profesora-investigadora de la Universidad de Guadalajara, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6874-2487>

*** Doctor en Estudios Sociales. Profesor-investigador de la Universidad de Guadalajara, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6644-8375>.

**** Maestro en Administración de Negocios. Profesor-investigador de la Universidad de Guadalajara, México. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-8042-8093>

***** Doctor en Modelos Didácticos e Interculturalidad. Profesor titular B de la Universidad de Guadalajara, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7352-8947>

entre otros: separación familiar, mayor presencia de enfermedades emocionales y mayor inseguridad. Es fundamental, además, contar con programas permanentes de capacitación oficial sobre el uso eficiente del agua de riego entre los productores agropecuarios del municipio, para incidir así en la disminución de los excesivos volúmenes gastados de agua en cuestiones agropecuarias.

Palabras clave: *perforación de pozo profundo, agua, sustentabilidad, Villa Guerrero, Jalisco.*

Introducción

El presente estudio aborda el problema de la falta de agua en la región Norte de Jalisco (RNJ) y, específicamente, en el municipio de Villa Guerrero, Jalisco (VGJ), que forma parte de esta, y que condiciona severamente la productividad agropecuaria y dificulta la sustentabilidad del municipio. Se ofrece una alternativa a partir de un trabajo en conjunto entre Ayuntamiento local y Gobierno del estado para su solución integral. El proyecto de investigación se enfoca en el diseño y la implementación de un pozo profundo que permita extraer agua subterránea de manera eficiente y sostenible, además de considerar la administración de negocios como enfoque principal, contemplando aspectos técnicos y una visión sustentable en sus dimensiones económicas, sociales, administrativas y ambientales, lo que le proporciona una visión sustentable al proyecto.

El agua subterránea es una fuente importante de abastecimiento tanto para las zonas urbanas como rurales de México; de hecho, más del 65 % del agua necesaria para la vida diaria proviene de acuíferos al interior del país (Conagua, 2016). La importancia del agua subterránea se incrementa en casos donde existen comunidades que se caracterizan por tener climas semiáridos y áridos, ya que en estas situaciones el agua subterránea suele ser su única fuente de abastecimiento (Salazar, 2018), siendo este el caso del municipio de Villa Guerrero, Jalisco.

En la zona norte de Jalisco, la escasez de este recurso ha sido una problemática recurrente que afecta a la región. La demanda de agua para con-

sumo humano, agricultura y actividades industriales ha superado la capacidad de abastecimiento de las fuentes existentes, lo que ha generado una situación de estrés hídrico (Heilman, 2013). Esta situación no es un problema nuevo, ya que históricamente la región norte del estado de Jalisco (RNJ) ha sido una de las zonas que ha tenido más problemas por falta de agua, pues la región es altamente vulnerable a sequías (Heilman, 2013).

Así pues, el problema en términos llanos puede definirse como la falta de agua en algunas localidades del municipio de VGJ, lo que se agrava por la eficiencia en su uso para el riego de las parcelas. La escasez de agua puede afectar significativamente las actividades primarias como la agricultura y la ganadería en el municipio, con repercusiones tanto económicas como sociales y ambientales. En lo que se refiere a la agricultura hay reducción de la producción, pues la falta de agua para riego limita el crecimiento de los cultivos, lo que lleva a una menor producción agrícola. También hay deterioro del suelo, siendo que la sequía puede provocar la salinización y erosión del suelo, lo que lo vuelve menos fértil y productivo a largo plazo. En lo referente a la ganadería, al no haber suficiente agua disminuye la disponibilidad de agua para abrevadero. La escasez de agua puede llevar a la deshidratación y muerte de los animales, lo que genera pérdidas económicas para los ganaderos. Otra afectación al sector ganadero tiene que ver con el deterioro de la calidad del pasto, pues la falta de agua perjudica el crecimiento y la calidad del pasto, lo que reduce la cantidad de alimento disponible para el ganado. Esto puede afectar la salud y la productividad de los animales. Ahora bien, es importante cuidar ambos sectores productivos, pues tanto la agricultura como la ganadería son actividades económicas importantes en el municipio de VGJ. Estas actividades son las más importantes en este municipio ya que generan empleo, ingresos y contribuyen a la seguridad alimentaria de VGJ y de la RNJ. Estos sectores también tienen un gran valor social y cultural, son parte de la identidad y tradiciones del municipio, y contribuyen a la cohesión social y el desarrollo rural.

Metodología

El municipio de VGJ se localiza en la RNJ. Sus municipios colindantes son Chimaltitán, Mezquitic, Bolaños y Totatiche, y tiene una extensión territorial de 610.19 kilómetros cuadrados. Su cabecera municipal se localiza en las coordenadas 21° 58' 58.80" latitud Norte y -103° 35' 36.96" de longitud Oeste, a una altura de 1 773 metros sobre el nivel del mar (msnm). Su principal actividad económica es la agropecuaria, y presenta una alta incidencia de migración. El territorio municipal tiene alturas entre los 980 y 2 360 msnm; y una pendiente predominantemente montañosa mayor de 15 grados (IIEG, 2023). De acuerdo con los datos de uso de suelo y vegetación contenidos en la serie VII (IIEG, 2023), el municipio de VGJ presenta diversidad de tipos de uso de suelo y vegetación que caracterizan su paisaje y entorno natural. Estos usos de suelo se aglutinan en seis grupos acorde a sus características: (1) *agricultura* (14.3 %): esta categoría indica la presencia de áreas destinadas a la actividad agrícola, que incluye la siembra de cultivos y la producción agrícola en la región; (2) *asentamiento humano* (0.3 %): este porcentaje refleja la superficie ocupada por zonas urbanizadas, donde se concentra la población y se desarrollan actividades relacionadas con la vida cotidiana de la comunidad; (3) *bosque* (19.3 %): el área incluye áreas arboladas y forestales que albergan una rica diversidad de especies vegetales y animales, contribuyendo significativamente a la biodiversidad local; (4) *cuerpo de agua* (0.2 %): este porcentaje indica la presencia de cuerpos de agua, como ríos, arroyos o lagos, aunque su extensión en la zona de estudio es limitada; (5) *pastizal* (16.8 %): se refiere a áreas con vegetación herbácea utilizadas principalmente como pasto para ganado y otras actividades relacionadas con la ganadería, y (6) *selva* (49.2 %): la mayor parte del área de estudio está cubierta por selva.

Conocer el tipo de clima es un factor importante para considerar, ya que este tiene un impacto directo en la disponibilidad y distribución de las precipitaciones a lo largo del año, además de comprender cuándo y cuánta agua se espera que esté disponible naturalmente en el área. Esto es esencial para dimensionar adecuadamente la infraestructura de perforación del pozo profundo y determinar la capacidad de recarga del acuífero subterráneo

(Martínez, 2020). El área de estudio en el municipio de VGJ se caracteriza por una variabilidad climática que se clasifica utilizando el sistema de Köppen. La clasificación de Köppen es un sistema de clasificación climática que divide los climas del mundo en cinco grupos principales: tropical, seco, templado, continental y polar, identificados por la primera letra en mayúscula (Silva y Mendoza, 2019). En el área de estudio se han identificado dos tipos de climas según el sistema de Köppen:

- *Clima C (w1)*: este tipo de clima corresponde a un clima templado con estación seca invernal. Se caracteriza por inviernos relativamente secos y veranos con lluvias moderadas. Las temperaturas varían a lo largo del año, con inviernos más frescos y veranos cálidos. Este tipo de clima es común en regiones con una estación de lluvias bien definida y se asocia con la vegetación típica de zonas templadas.
- *Clima (A) C (wo)*: este tipo de clima se refiere a un clima tropical con estación seca prolongada. Se caracteriza por altas temperaturas durante todo el año y una estación seca que dura varios meses. Las precipitaciones son escasas durante la estación seca, lo que puede tener un impacto significativo en la disponibilidad de agua y en la vegetación de la región. Este tipo de clima es típico de zonas tropicales y se relaciona con ecosistemas adaptados a condiciones de sequía estacional.

Otro aspecto a considerar es el suelo; a este respecto, existen varios factores que pudieran ser determinantes para la elección de sitios apropiados para realizar los sitios de rastro de agua, sin embargo, se dio prioridad a la textura del suelo, ya que esta afecta la permeabilidad, es decir, la velocidad a la que el agua puede moverse a través del suelo. Los suelos arenosos tienden a tener alta permeabilidad, lo que facilita la extracción de agua a través de un pozo profundo. Por otro lado, los suelos arcillosos pueden ser menos permeables y requerir técnicas de perforación específicas. Conocer la textura del suelo permite planificar la profundidad de la perforación de manera más precisa. Si se identifica una capa de suelo arcilloso, por ejemplo, se puede anticipar que la perforación debe llegar más profundo para alcanzar el acuífero subterráneo y garantizar un suministro de agua confiable (Sa-

nabria, 2018). Para saber qué textura de suelo tiene el área de estudio, se utilizó la capa denominada “conjunto de datos vectorial edafológico escala 1:250 000 Serie III”; esta proporciona información detallada sobre la textura, composición y características de los suelos en el área de estudio (INEGI, 2014).

De acuerdo con la *Guía para la interpretación de cartografía: Edafología: escala 1:250 000: serie III* (IBID), existe una clasificación de texturas de suelos: *gruesa* (1), suelos arenosos con más de 70 % de arena, con menor capacidad de retención de agua y nutrientes para las plantas; *media* (2), comúnmente llamados “francos”, equilibrados en el contenido de arena, arcilla y limo; *fin*a (3), suelos arcillosos con más de 35 % de arcilla, que tienen mal drenaje, escasa porosidad, por lo general duros al secarse, se inundan fácilmente y son menos favorables al laboreo, mientras que *no aplica* (n/a) hace referencia a cuerpos de agua.

El proyecto se sustenta en estudios geofísicos previos que han identificado la viabilidad de la perforación en ubicaciones específicas en Villa Guerrero. Además, se apoya en un análisis de políticas públicas, considerando programas estatales para el desarrollo social que podrían facilitar el financiamiento y la integración del proyecto en las estrategias gubernamentales de la región. Para medir el impacto de la solución propuesta es importante enfatizar en que la implementación exitosa de este proyecto tendrá un impacto transformador en varios aspectos. Socialmente, mejorará la calidad de vida de la población al garantizar el acceso a agua potable, impulsará el desarrollo económico al facilitar actividades agrícolas y comerciales, y contribuirá a la equidad y la igualdad al proporcionar un recurso vital de manera más justa. Económicamente, se espera un aumento en la producción agrícola, generación de empleo y potencial desarrollo de pequeñas empresas locales. Los indicadores que pueden utilizarse para medir el impacto del proyecto son los que se observan en la tabla 9.1.

Tabla 9.1. Indicadores de eficiencia del proyecto

Indicador	Descripción
Salud	Reducción de enfermedades relacionadas con el agua.
Desarrollo económico	Aumento de la producción agrícola, creación de empleo.
Equidad	Acceso equitativo al agua para todas las comunidades.

Fuente: Elaboración propia.

Introducción a la metodología

La metodología utilizada en este estudio se diseñó para abordar de manera integral la problemática de la escasez de agua en el municipio de Villa Guerrero, Jalisco. El enfoque general de investigación se basó en la recopilación y análisis de datos tanto cuantitativos como cualitativos, con el objetivo de generar una propuesta técnica y sustentable para la perforación de un pozo profundo. Se seleccionaron métodos que permitieran evaluar la viabilidad del proyecto desde diferentes perspectivas, incluyendo aspectos técnicos, económicos, sociales y ambientales. La elección de estos métodos se justifica por la necesidad de obtener una visión holística del problema y de proponer soluciones que sean factibles y sostenibles a largo plazo.

Diseño del estudio

La metodología empleada en este estudio se basa en un enfoque mixto, que combina aspectos cuantitativos y cualitativos para abordar la problemática de la falta de agua en el municipio de Villa Guerrero, Jalisco. El estudio se centra en la identificación de fuentes de financiamiento, la evaluación de la viabilidad técnica y ambiental de la perforación de un pozo profundo, y la propuesta de un modelo de proyecto que pueda ser implementado con el apoyo de programas estatales de desarrollo social.

Métodos utilizados

La metodología empleada en este estudio se basó en un enfoque mixto, que combina métodos cuantitativos y cualitativos para abordar la problemática de la escasez de agua en el municipio de Villa Guerrero, Jalisco. El estudio se estructuró en varias etapas, cada una con métodos específicos que permitieron obtener una visión integral del problema y proponer soluciones viables y sostenibles.

En la primera etapa se realizó una revisión de literatura y análisis de políticas públicas. Esto incluyó una recopilación exhaustiva de documentos

oficiales, informes técnicos y estudios previos relacionados con la gestión de recursos hídricos, la perforación de pozos profundos y los programas de desarrollo social en el estado de Jalisco. Se consultaron fuentes como la Comisión Nacional del Agua (Conagua), el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) y el Instituto de Información Estadística y Geográfica del Estado de Jalisco (IIEG). Además, se analizaron los lineamientos técnicos y reglas de operación de programas estatales como el Programa de Apoyo a Proyectos Estratégicos Agropecuarios, Pesqueros y Acuícolas, la Estrategia de Reconstrucción del Tejido Social y el Programa Polos de Desarrollo Comunitario. Este análisis permitió identificar las fuentes de financiamiento más adecuadas para el proyecto y los requisitos necesarios para su implementación.

En la segunda etapa, se llevó a cabo una evaluación técnica y ambiental para determinar la viabilidad de la perforación de un pozo profundo en Villa Guerrero. Para ello, se revisaron estudios geofísicos previos realizados en la región, que incluyeron métodos como el sondeo eléctrico vertical (SEV) y la tomografía eléctrica. Estos estudios permitieron identificar las zonas con mayor potencial para la extracción de agua subterránea. Además, se analizaron datos sobre el tipo de suelo, el clima y la disponibilidad de agua en la región, utilizando información del INEGI y otras fuentes oficiales. Se consideraron factores como la textura del suelo, la permeabilidad y la capacidad de recarga del acuífero, lo que permitió dimensionar adecuadamente la infraestructura necesaria para el pozo.

En la tercera etapa se desarrolló un modelo de proyecto integral que incluyó aspectos técnicos, económicos, sociales y administrativos. Este modelo se basó en los resultados obtenidos en las etapas anteriores y se diseñó para ser adaptable a los programas estatales de desarrollo social. Se realizó un análisis financiero para determinar los costos asociados a la perforación del pozo y se compararon con los presupuestos disponibles en los programas estatales. Además, se consideraron los impactos sociales y ambientales del proyecto, proponiendo medidas para garantizar su sostenibilidad a largo plazo.

Finalmente, se realizaron consultas con expertos y actores clave en el ámbito de la geofísica, la gestión de recursos hídricos y el desarrollo social. Estas consultas permitieron validar los resultados obtenidos y ajustar el

modelo de proyecto según las recomendaciones de los especialistas. También se revisaron casos similares implementados en otras regiones de Jalisco, lo que permitió identificar buenas prácticas y lecciones aprendidas que pudieran aplicarse al proyecto en Villa Guerrero.

Resultados y discusión

En lo que se refiere a la viabilidad de aplicar en alguno de los programas revisados en el apartado anterior se encontraron los siguientes resultados:

- a) *Programa social Polos de Desarrollo Comunitario*. En función de este programa, es posible financiar la construcción del pozo profundo, previa autorización por parte del cabildo y las reglas de operación del mismo programa. Esto pudiera verse en conjunto como un proyecto viable, sin embargo, históricamente el programa ha beneficiado a municipios y localidades que tienen intensidades de marginación superiores; de hecho, en el año 2023, en la zona norte de Jalisco no fue beneficiada ninguna localidad del municipio de Villa Guerrero. Esto no quiere decir de ninguna manera que debe descartarse el programa Polos de Desarrollo Comunitario como alternativa para financiar el proyecto de pozo profundo en Villa Guerrero, solo se analiza la posibilidad de que es probable que sea rechazado.
- b) *Estrategia Reconstrucción del Tejido Social*. Al ser el programa que más recurso posee se podría pensar que esta estrategia del gobierno del Estado de Jalisco es el más viable benefactor del proyecto de perforación de pozo profundo, pues la inversión del proyecto equivale solamente al 0.38 % del presupuesto del programa. Así pues, aunque la participación en la estrategia con el proyecto de perforación de un pozo profundo como parte de la estrategia de reconstrucción del tejido social de la Secretaría del Sistema de Asistencia Social (ssas) del Gobierno de Jalisco puede ser viable, también presenta desafíos significativos, pues la estrategia de reconstrucción del tejido social se ha centrado principalmente en la mejora de viviendas

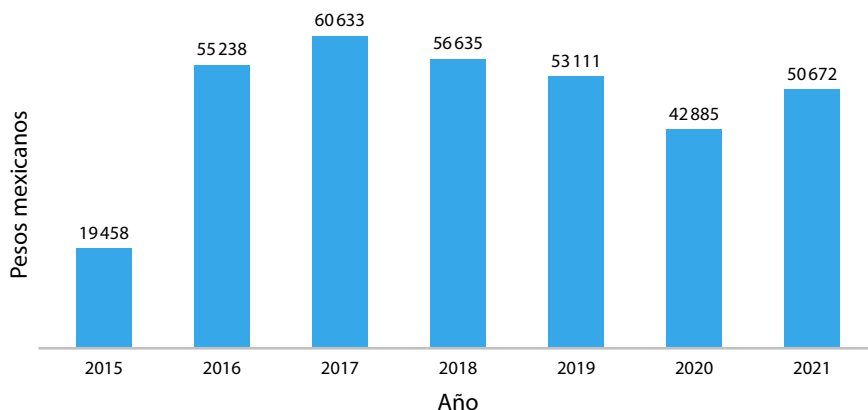
y espacios públicos como modelo para mejorar la calidad de vida de las comunidades.

- c) *Programa de Apoyo a Proyectos Estratégicos Agropecuarios, Pesqueros y Acuícolas del Estado de Jalisco*. La alternativa de financiamiento a través del Programa de apoyo a proyectos estratégicos agropecuarios, pesqueros y acuícolas del estado de Jalisco se presenta como la opción más viable y beneficiosa para la ejecución del proyecto de perforación de un pozo profundo en Villa Guerrero. Existen varias razones clave que respaldan esta elección. La primera razón es la ausencia de limitantes por el tipo de marginación con el que el Consejo Nacional de Población (Conapo) categoriza a las localidades de Villa Guerrero. Esta característica resulta esencial, ya que la necesidad de acceso al agua en la región no debe estar sujeta a restricciones basadas en la categorización de marginación de las localidades, dada la importancia de este recurso para la calidad de vida de la comunidad como lo sería en otros programas. Otro elemento relevante es el historial positivo del programa en cuanto al apoyo a proyectos similares. A lo largo del tiempo, el Programa de apoyo a proyectos estratégicos agropecuarios, pesqueros y acuícolas del estado de Jalisco ha brindado respaldo a iniciativas que se alinean con la perforación de pozos profundos y la gestión de recursos hídricos.

La problemática señalada se aborda desde dos enfoques; el técnico y el sustentable, que enfoca o considera tres dimensiones: económica, social y ambiental, y posteriormente la solución se planteará desde la administración de negocios. Aunque el tema de la necesidad del agua se relaciona con todos o bien con la mayoría los sectores productivos, es importante hacer énfasis que al ser en su gran mayoría un entorno rural, Villa Guerrero depende para su desarrollo de la agricultura y ganadería, actividades que de acuerdo con datos del Instituto de Información Estadística y Geográfica (INEGI) han sido bastante fluctuantes debido a diferentes factores, siendo la falta de agua uno de estos. El valor de la producción agrícola en Villa Guerrero ha presentado diversas fluctuaciones durante el periodo 2015-2021, habiendo registrado su nivel más alto en 2017. El valor de la producción agrícola de Villa

Guerrero en 2021 representó el 0.07 % del total estatal, alcanzando un monto de 50 672 pesos para ese año (IIEG, 2022).

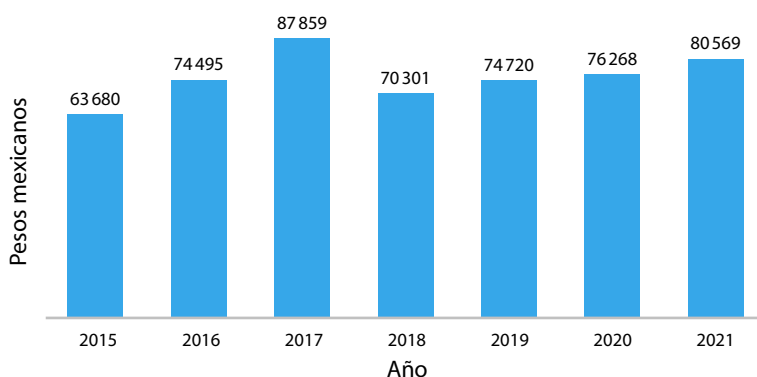
Figura 9.1. *Valor de la producción agrícola en Villa Guerrero 2015-2021*



Fuente: Instituto de Información Estadística y Geográfica (IIEG, 2022), con base en información del SIAP y SAGARPA.

Por su parte, la ganadería en Villa Guerrero también ha presentado cambios no homogéneos durante el periodo 2015-2021, siendo el ejercicio de 2017 el año en el que se ha registrado el mayor nivel en el municipio. En 2021, el valor de la producción ganadera en el municipio representó el 0.07 % del total estatal, alcanzando un monto de 80 569 pesos para ese año (IIEG, 2022).

Figura 9.2. *Valor de la producción ganadera en Villa Guerrero 2015-2021*



Fuente: IIEG (2022), con base en información del SIAP y SAGARPA.

Con este contexto podemos entender la problemática de la falta de agua, así como la necesidad de generar condiciones para incrementar la producción y productividad en VGJ. La falta de agua se suma a una lista de factores que han limitado el desarrollo representando un problema que ha derivado en que habitantes del municipio busquen alternativas para mejorar su calidad de vida, siendo la migración una práctica recurrente. Para el financiamiento del proyecto propuesto es necesario acceder a recursos externos al municipio, pues este último carece de los medios para la ejecución de la obra. Como se ha planteado a lo largo del documento, la alternativa considerada es la participación en programas del estado cuya finalidad y objetivos se basen en el desarrollo social, los derechos sociales, el desarrollo comunitario y algún otro que permita crear sinergia y sea transversal respecto al tema del abastecimiento de agua en el municipio de Villa Guerrero Jalisco. Después de hacer una revisión de programas y estrategias del Gobierno del Estado de Jalisco si consideraron algunos, siendo los más acordes los que a continuación se mencionan.

A. Programa social Polos de Desarrollo Comunitario. El programa Polos de Desarrollo Comunitario es un programa creado por el Gobierno del Estado de Jalisco y gestionado a través de la Secretaría del Sistema de Asistencia Social. Este programa tiene como objetivo mejorar las condiciones de vida de la población con mayor vulnerabilidad. El programa opera otorgando apoyos monetarios a instituciones privadas y públicas (incluidos los ayuntamientos municipales de Jalisco) para la implementación de proyectos que ayuden a crear mejores condiciones para el acceso de los derechos (SSAS, 2023a).

Los tipos de apoyo en el programa Polos de Desarrollo Comunitario (PDC) se dividen en dos categorías principales. Los apoyos monetarios otorgados a instituciones para la implementación del programa se gestionan mediante convenios de colaboración entre la Secretaría y las instituciones beneficiarias. En estos convenios se establecen acciones específicas orientadas a promover el desarrollo en los polígonos territoriales de los PDC, asegurando su alineación con los derechos sociales. El objetivo es que, a través de las instituciones, se ejecuten acciones en infraestructura, servicios, desarrollo de capacidades y fortalecimiento de habilidades, contribuyendo así a la reducción de la vulnerabilidad de la población en los PDC.

Por otro lado, los apoyos monetarios dirigidos a las personas que habitan en los Polos de Desarrollo Comunitario buscan favorecer su desarrollo social e integral mediante la entrega directa de recursos. Estos apoyos pueden destinarse a diversas áreas prioritarias, como estímulos para la educación y la cultura, acceso a una alimentación nutritiva y de calidad, asistencia en materia de salud, vivienda y apoyos sociales especiales para atender situaciones de emergencia. Estos últimos son evaluados por el personal del Sistema de Asistencia Social y validados por el Comité Técnico para la Asignación de Subsidios. Asimismo, se contemplan estímulos específicos para la conclusión de la educación básica en mujeres mayores de edad, así como apoyos para fomentar el trabajo comunitario. En conjunto, estos apoyos tienen la finalidad de mejorar la calidad de vida de las personas beneficiarias y contribuir a la disminución de las brechas sociales dentro de los PDC.

El programa tuvo en el año 2023 un presupuesto autorizado de \$49 651 300.00 (cuarenta y nueve millones seiscientos cincuenta y un mil trescientos pesos 00/100 m.n.). Para que un municipio de Jalisco pueda participar en el programa Polos de Desarrollo Comunitario con un proyecto de desarrollo social, es necesario cumplir con ciertos requisitos.

Para que un municipio del estado de Jalisco pueda participar en el programa con un proyecto de intervención, es necesario que cumpla con ciertos criterios de elegibilidad y requisitos establecidos. En primer lugar, debe presentar una carta de intención, además de un proyecto escrito firmado por la persona con atribuciones legales dentro del municipio. Este proyecto debe incluir la justificación de la intervención en el polígono seleccionado, señalando la situación de vulnerabilidad de la zona, así como una estimación de costos detallada mediante un catálogo de conceptos con el visto bueno del área de obra pública. También se requiere una carta de intención dirigida al Ayuntamiento por parte de una asociación civil que cumpla con los criterios de elegibilidad, en la cual se comprometa a aportar al menos el 25 % del costo total de la intervención propuesta. Además, es necesario presentar una copia certificada del expediente de la asociación civil con los documentos establecidos en el apartado correspondiente dentro del mismo lineamiento, junto con la estimación de la población que se verá beneficiada con la intervención.

Otro requisito fundamental es la aportación económica, ya que el municipio deberá garantizar una contribución mínima del 25 % del recurso económico necesario para cubrir el costo total del proyecto a desarrollar. Con estas disposiciones, se busca asegurar que los municipios participantes cuenten con proyectos viables y sustentables, fomentando la colaboración con asociaciones civiles y garantizando los recursos para su correcta ejecución.

B. Estrategia Reconstrucción del Tejido Social. La estrategia Reconstrucción del Tejido Social es una iniciativa implementada por el Gobierno de Jalisco, al igual que el programa social Polos de Desarrollo Comunitario, es gestionada por la Secretaría del Sistema de Asistencia Social (SSAS). La estrategia tiene el objetivo de mejorar el entorno físico y social de las comunidades más vulnerables del estado. La estrategia se rige por un lineamiento publicado por la SSAS, que establece los criterios y procedimientos para la selección de las zonas de intervención, así como para la ejecución y seguimiento de las acciones (SSAS, 2023b). La estrategia se enmarca en la actualización del Plan Estatal de Gobernanza y Desarrollo 2018-2024 (Secretaría de Gobernación del Estado de Jalisco, 2022), que establece como uno de sus objetivos principales la construcción de una sociedad más justa, equitativa y solidaria. Puesto que la estrategia está enfocada en la mejora del entorno físico y social de las localidades vulnerables de Jalisco, empata con los objetivos del presente proyecto. En este contexto, cabe mencionar que los tipos de apoyo son monetarios y no tiene un monto máximo o un tope financiero.

El programa tiene un presupuesto autorizado en 2023 de \$200 000 000.00 (doscientos millones de pesos 00/10 m.n.).

C. Programa de Apoyo a Proyectos Estratégicos Agropecuarios, Pesqueros y Acuícolas del Estado de Jalisco. El jueves 2 de marzo del 2023 se publicó en el periódico oficial del Estado de Jalisco los lineamientos técnicos del programa de apoyo a proyectos estratégicos agropecuarios, pesqueros y acuícolas del estado de Jalisco. Este programa es gestionado la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural (SADER) de Jalisco. El mismo busca contribuir con acciones específicas para el mejoramiento de espacios y unidades

para el fomento a la producción primaria; incrementar el desarrollo e innovación en las cadenas primarias, potenciar la producción y comercialización de productos primarios de manera local, nacional e internacional; así como promover la seguridad alimentaria y el desarrollo rural sustentable (SADER, 2023). En los lineamientos técnicos del programa refiere que su objetivo es contribuir en el desarrollo económico de las regiones rurales del Estado de Jalisco, a través de proyectos estratégicos que detonen el crecimiento de los sectores productivos primarios, generando beneficios para la población rural como la creación de empleo, incremento en la rentabilidad de los sectores productivos, así como una mejora en la calidad de vida de las personas en las regiones rurales. El presupuesto aprobado en 2023 para el programa es de \$101 000 000.00 (ciento un millones de pesos 00/100 m.n.). El programa tiene tres modalidades de apoyo: apoyo a proyectos estratégicos, apoyo a proyectos del sector lechero y apoyo a proyectos pesqueros y acuícolas.

Conclusiones

El proyecto de perforación de pozo profundo en Villa Guerrero, Jalisco es una solución integral y sostenible a la problemática de la falta de agua en la región. La utilización de programas de desarrollo social del estado de Jalisco, en conjunto con la colaboración entre el Ayuntamiento y el Gobierno del Estado, ha permitido la generación de una propuesta que aborda aspectos técnicos, sociales y administrativos, y que promueve el desarrollo económico y sostenible de la región norte de Jalisco. Es importante destacar que este proyecto es un ejemplo de cómo la utilización de recursos disponibles y la exploración de alternativas pueden generar soluciones eficientes y sostenibles a problemáticas críticas en la región. El proyecto de perforación de pozo profundo en VGJ es una muestra clara de cómo la colaboración entre diferentes actores y la utilización de programas de desarrollo social pueden generar soluciones eficientes y sostenibles a problemáticas críticas en la región.

Referencias

- Comisión Nacional del Agua. (2016). *Estadísticas del agua en México*. http://201.116.60.25/publicaciones/eam_2016.pdf
- Heilman, I. A. (2013). *Una propuesta de planificación para afrontar los efectos del cambio climático en el sector agrícola de Jalisco, México*. S/E.
- Herraiz, A. S. (2009). La importancia de las aguas subterráneas. *Revista de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 103(1), 97-114.
- Instituto de Información Estadística y Geográfica [de Jalisco]. (2022). *Diagnóstico del municipio de Villa Guerrero*.
- Instituto de Información Estadística y Geográfica [de Jalisco]. (2023). *Diagnóstico del municipio de Villa Guerrero*.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2014). *Guía para la interpretación de cartografía: Edafología: Escala 1:250 000: Serie III*.
- Ley de Aguas Nacionales. (2023, 8 de mayo). La presente ley es reglamentaria del artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de aguas nacionales. *Diario Oficial de la Federación*. (Ley original publicada el 1º de diciembre de 1992)
- Martínez, E. A. R. (2020). *La construcción social de la sobreexplotación de acuíferos en el estado de Chihuahua*. S/E.
- Molleda Basurco, D. A. (2019). *Estudio geofísico por el método geoeléctrico Schlumberger en la quebrada de Huiscash, distrito de Aquia, provincia de Bolognesi, departamento de Ancash* [Tesis de grado]. Universidad Nacional de San Agustín.
- Pódcast RadioUdeG Colotlán. (2021, 4 de noviembre). *Persiste la carencia de agua potable en Villa Guerrero*. UDG TV. <https://udgtv.com/noticias/persiste-la-carencia-de-agua-potable-en-villa-guerrero/39074>.
- Salazar, A. R. B. (2018). El agua subterránea y su importancia socioambiental. *Universitarios Potosinos*, 227, 16-21.
- Sanabria Rodríguez, G. (2018). *Propuesta de términos de referencia en el componente suelo para proyectos de perforación exploratoria de hidrocarburos en Colombia a partir de un referente internacional*. S/E.
- Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural de Jalisco. (2023). *Lineamientos Técnicos del Programa de Apoyo a Proyectos Estratégicos Agropecuarios, Pesqueros y Acuícolas del Estado de Jalisco*.
- Secretaría de Gobernación del Estado de Jalisco. (2022). *Plan Estatal de Gobernanza y Desarrollo 2018-2024*.
- Secretaría del Sistema de Asistencia Social de Jalisco. (2023, 29 de marzo). *Dictamen que determina los polos de desarrollo comunitario para el ejercicio 2023*. https://portalesmuli.s3.amazonaws.com/ssas/documents/Dictamen_Polos_2023.pdf
- Silva, M. y Mendoza, N. (2019). Uso de la clasificación climática de Köppen en la evaluación de los efectos del cambio climático en los llanos venezolanos. *Geominas*, 47(80), 153-160.

10. Trabajadores migrantes wixaritari: Participación ciudadana en la integración al espacio público en Colotlán, Jalisco



ADRIANA ELIZABETH MORALES SÁNCHEZ*

VÍCTOR VLADIMIR VEGA MORALES**

FERNANDO MANUEL DE LA TORRE MOLINA***

DOI: <https://doi.org/10.52501/cc.348.10>

Resumen

En el presente capítulo se reflexiona sobre la integración de los trabajadores migrantes wixaritari al espacio público en la ciudad de Colotlán, Jalisco, México. Se abordan problemáticas como la ciudadanía, la exclusión, la desigualdad, entre otras, que han sido practicadas por siglos hacia los migrantes, en especial los que pertenecen a grupos vulnerables. Desde el planteamiento anterior, se proponen algunas estrategias respecto a realizar estudios sobre participación ciudadana con visión incluyente e igualitaria, en los que se contemple la opinión de los migrantes de la cultura wixárika que habitan en Colotlán y a partir de ese punto, abonar con perspectiva intercultural para el diseño urbano de espacios públicos más inclusivos, sostenibles y amigables.

Palabras clave: *trabajadores migrantes, wixaritari, participación ciudadana, espacio público.*

* Doctora en Ciencias de la Salud en el Trabajo. Coordinadora de Investigación en la Universidad de Guadalajara, México ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0000-7555> ; correo electrónico: adriana.morales@academicos.udg.mx

** Licenciado en Urbanística y Medio Ambiente del Centro Universitario de Arte Arquitectura y Diseño de la Universidad de Guadalajara, México. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7195-2584>

*** Doctorando del programa de Innovación para el Hábitat Sostenible. Profesor de la Universidad de Guadalajara, México. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-4856-9305>

Introducción

En el presente capítulo se aborda un fenómeno de estudio desde la perspectiva del urbanismo, se plantea cómo, desde los procesos migratorios, los trabajadores indígenas salen de sus comunidades hacia las ciudades en busca de mejores oportunidades. En muchos de los casos se encuentran con problemas como la exclusión y/o la aculturación en el lugar de acogida; aquí, se presenta el caso particular de trabajadores wixaritari que viven en Colotlán. Los urbanistas, para realizar planificaciones eficientes de los espacios públicos en las ciudades, deben atender en sentido estricto temas como la inclusión para diseños de urbes más amigables, en este caso en particular deben considerar la opinión de los trabajadores migrantes wixaritari, cuyos nuevos contextos son multiculturales, para que se sientan integrados. La propuesta consiste en realizar un estudio que contemple las experiencias de participación ciudadana desde el punto de vista EMIC y así, desde su cosmovisión, sean considerados los elementos significativos de su cultura para el diseño de los espacios públicos en Colotlán para asegurar inclusión.

Desarrollo

Las comunidades indígenas están asentadas con mayor frecuencia en espacios geográficos de difícil acceso, su desarrollo económico suele ser escaso, el nivel educativo bajo, la deposición de las tierras ha sido una constante en sus historias, la falta de acceso a servicios de salud y la insuficiencia de trabajos dignos y bien remunerados; aunado a lo anterior, sus localidades suelen ser vulnerables a desastres naturales (Monroy, 2020). Dichas condiciones inciden en las personas para la toma de decisiones hacia la migración, sus intereses se basan en la búsqueda de mejores oportunidades, como el incremento de bienestar y de calidad de vida.

Floriberto Díaz Gómez, considerado como uno de los pensadores indígenas más sobresaliente del siglo xx, señala que dentro de la concepción de comunidad indígena se deben considerar los siguientes elementos: (a) un

espacio territorial delimitado y definido por la posición, (b) historia propia que se comparte de voz en voz y de generación a generación, (c) una variante de la lengua del pueblo, esta surge de la que identifican como su idioma común, (d) sistema que define lo político, cultural, social, civil, económico y religioso, (e) también un sistema comunitario de administración y procuración de justicia (Zolla y Zolla, 2004).

La etnia wixarika es autonombrada así por sus miembros, también es conocida como Huichol, pero ese concepto ha sido utilizado de manera frecuente por quienes no pertenecen a la etnia. Esta comunidad indígena tiene su origen en el estado de Nayarit. En la época de la conquista, los wixaritari se refugiaron en la sierra madre occidental y ahí permanecieron en condiciones de aislamiento por cientos de años, lo que contribuyó a una gran adherencia de identidad cultural. Hoy en día existen tres comunidades wixaritari, que son Santa Catarina, San Andrés Cohamiata y San Sebastián Teponahuaxtlán y su anexo Tuxpan de Bolaños. El territorio wixarika tiene una extensión de 4000 km² y cuenta aproximadamente con 18 500 habitantes. El tipo de paisaje es montañoso, también incluye barrancos profundos, cuevas, cavernas y bastos escurrimientos superficiales. De la vegetación, se considera que hay bosques templados, subtropicales y tropicales cálidos, su territorio cuenta con riqueza forestal. La etnia wixarika o huichol pertenece a la familia uto-azteca-sonorense, sus caracteres lingüísticos son utotos, estos se derivan de la lengua común desde hace alrededor tres mil años, su lengua se denomina wixarika. La etnia perdió territorio cuando se definieron los límites de los estados de Nayarit, Jalisco, Durango y Zacatecas; sin embargo, es importante destacar que dichos territorios se encuentran actualmente en litigio. Los wixaritari se consideran como una etnia poco afectada por los cambios culturales y económicos de la modernidad, su identidad étnica está casi intacta (Miramontes, 2003).

Por su parte, un asunto trascendental a considerar es el tema de migración, ya que ha sido un fenómeno que ha provocado la salida de los wixaritari de sus comunidades a otros sitios; lo anterior podría estar afectando su identidad de pueblo originario: por ejemplo, la aculturización, la exclusión y la falta de respeto a la diversidad son fenómenos que se reproducen dentro de los procesos migratorios, por tales motivos es indispensable continuar con estudios que permitan entender la realidad y buscar alternativas para mejorarla.

Derivado del planteamiento anterior, es importante precisar que el fenómeno migratorio se refiere al cambio de lugar de residencia o al desplazamiento a cierta distancia por periodos de tiempo relativamente prolongados, lo que implica un proceso de adaptación para quienes lo experimentan; además, implica voluntad de permanencia (Arango, 1985).

En el caso particular de la migración indígena en México se realiza principalmente de las comunidades de origen hacia las urbes. Aunque para algunos el destino es Estados Unidos de América, en su recorrido encuentran sitios donde encuentran refugio y/o trabajo temporal o permanente, si en las ciudades encuentran mejores niveles de vida que en sus localidades, es posible que decidan permanecer estables ahí (Hernández, 2018).

Por otra parte, respecto al concepto de trabajo existen normas establecidas por la Organización Internacional del Trabajo (OIT), donde se prescribe “trabajo decente y productivo en condiciones de libertad, equidad, seguridad y dignidad humana”; ahí se contemplan cuatro ejes, estos se refieren a los derechos en el trabajo, las oportunidades de empleo, la protección social y al diálogo social. La función que cumplen va más allá de la contemplación, se trata de la inclusión social, el fin de la pobreza, el fortalecimiento de la democracia, el desarrollo integral y la realización personal (Levaggi, 2004).

Como antecedentes se encontraron algunos estudios que fundamentan la propuesta que en este acápite se presenta. En una investigación desarrollada en Argentina, se expone que una gran parte de los miembros de las comunidades indígenas vive en las ciudades, el objetivo del estudio es lograr una aproximación al fenómeno actual de los indígenas urbanos, atendiendo en particular a las dinámicas migratorias y los procesos organizativos del ámbito urbano; consideran un verdadero desafío la integración de la presencia indígena en la diversidad urbana. También sostienen que la migración no contrapuntea lo urbano con lo rural, el fenómeno se convierte en una experiencia familiar y/o colectiva, la estadía y la migración temporal son también prácticas extendidas (Weis et al., 2013).

Otro estudio que aporta a este trabajo fue realizado por Cárdenas (2014), como fenómeno de estudio se encuentra la inestabilidad laboral que experimentan los indígenas en la ciudad, también la complejidad de la migración de familias completas. Dentro del fenómeno migratorio se complica el re-

torno a sus comunidades, no suele realizarse en el corto plazo. Lo anterior, significa un proceso para la adaptación a nuevas dinámicas y diferentes roles sociales.

Para entender una de las problemáticas que se relacionan a los trabajadores migrantes que migran a las urbes es indispensable abordar el tema de las ciudades, la tendencia en el nuevo modelo para la urbanización requiere afrontar de mejor manera los desafíos de la actualidad, las metas deben incluir la solución de problemas que siguen vigentes en pleno siglo XXI, temas como la exclusión, la desigualdad, la aculturación, el cambio climático, la inseguridad, la informalidad laboral y la visible insostenibilidad de la expansión de las urbes. Es indispensable plantear estrategias efectivas para la generación del espacio público como bibliotecas, parques, unidades deportivas, museos, espacios culturales, etcétera; con pertinencia social y sentido de inclusión. Considerar la participación del ciudadano en la solución de estas problemáticas, marcará la diferencia en la futura urbanización.

Por su parte, Colotlán es un municipio localizado en la región norte del estado de Jalisco, México, en las coordenadas 22° 12' N y 103° 18' O, a 1 720 metros sobre el nivel del mar, además limita al noroeste con el municipio de Santa María de los Ángeles, al noroeste y el sureste con el estado de Zacatecas y al suroeste con el municipio de Totatiche. El municipio cuenta con una superficie territorial de 50 515 hectáreas, de las cuales 22 108 son agrícolas, 21 423 en la actividad pecuaria, 3 780 son de uso forestal, 225 son suelo urbano y 2 979 son utilizadas con otros fines. En lo que a la propiedad se refiere, una extensión de 40 323 hectáreas es privada y otra de 10 192 de ejidal; no existiendo propiedad comunal (Colotlán, Gobierno Ciudadano, 2024). En el año 2020 el municipio contaba con una población total de 19 689 habitantes. En el aspecto cultural resulta de interés la diversidad que es aportada por los pueblos originarios o cercanos a la región, entre ellos la etnia wixarika, la cual aún conserva parte de sus tradiciones y estilos de vida, tales como la danza del venado, y la elaboración de artesanías con profundos simbolismos y una colorimetría bastante llamativa. Por decreto, el 19 de febrero de 1833 se le concedió título de ciudad a la villa de Colotlán (Colotlán, Gobierno Ciudadano, 2024). Colotlán es el nodo de la región norte del estado de Jalisco que conecta las diferentes localidades y ciudades de mayor jerarquía administrativa, como la capital del estado, ade-

más capitales de otros estados como Zacatecas y Aguascalientes, pues en ella se encuentran los servicios básicos que ofrece el gobierno en los diversos ámbitos, tiene mayor desarrollo humano que otros municipios de la región. Lo anterior, convierte a Colotlán en un centro de interés para los migrantes.

Por otro lado, el concepto de ciudadano tiene su origen en la antigua cultura griega, y esta hace referencia a los habitantes que tenían participación activa en la toma de decisiones, aunque, en esos tiempos, no todos podían ser considerados como tal, pues existían diferentes tipos de actores que no gozaban de tales privilegios, como los esclavos, las mujeres o los trabajadores de las clases bajas. El ser ciudadano además de ser considerado un privilegio, también era considerada una responsabilidad, pues aquellos que no eran partícipes dentro las actividades y la toma de decisiones, se consideraban no beneficiosos ni dignos de ostentar el cargo. Este concepto ha evolucionado de manera continua desde entonces, paulatinamente cubriendo una mayor cantidad de personas, pasando por hitos importantes, como la inclusión de la mujer, o de otras etnias no dominantes en los territorios, este proceso ha recorrido un camino complejo, y quizá aún falte para llegar a una completa democratización de las masas, sobre todo las más vulnerables.

El concepto de ciudadanía que surge a partir del neoliberalismo clásico en el siglo xx se refiere a la membresía en una comunidad política consolidada, relacionada al ejercicio de derechos y de obligaciones sobre las prácticas de participación en la toma de decisiones de la vida común, dichas prácticas hacen referencia al concepto de *participación ciudadana*. En décadas más recientes y en torno a la globalización, la ciudadanía debe sobrepasar las cuestiones normativas y universales, en la actualidad el concepto de ciudadanía se ha politizado bastante, ha sido producto de luchas colectivas que se manifiestan con el reclamo de nuevos derechos y nuevos espacios de participación. La ciudadanía es un concepto polisémico, es preciso comprender que la globalización traspasa fronteras y que, a pesar que desde los derechos humanos se exhorta a la igualdad y a la inclusión en todas las sociedades democráticas, están lejos de lograrlo, pues siguen si visibilizarse grupos segregados, vulnerados y marginados, como son los casos de mujeres, migrantes, marginados, discapacitados, comunidades LGBTQ, por mencionar algunos (Ibarra y Amador, 2021).

En un estudio que se realizó en la ciudad de Medellín, Colombia, se concluye que una opción efectiva para gestionar los procesos para participación ciudadana y la inclusión social de las comunidades, en especial las más vulnerables, sobre todo respecto a la apropiación del territorio, la toma de decisiones, la gestión y el aprovechamiento del espacio público, es la relevancia de las bibliotecas públicas. Esto se considera como estrategia integral que permita propiciar la inclusión, partiendo de la oferta equitativa de servicios tecnológicos, informáticos, culturales, sociales y en general al acceso del conocimiento (Cuadros et al., 2013).

Por su parte, el concepto de espacio se refiere a la parte que ocupa un objeto sensible y a la capacidad de terreno o lugar (Amar et al., 2017). El espacio público es un lugar donde se ejerce la ciudadanía, pueden ser bibliotecas, museos, parques, plazas públicas, plazuelas, casas de la cultura, calles, etc. La espacialidad de las ciudades en el siglo XXI obedece a la transformación del impacto del neoliberalismo y la globalización, de ahí que en la actualidad se manifiestan la pobreza y las desigualdades sociales en las realidades de las ciudades, tal fenómeno es de categoría mundial. El orden-desorden urbano se ha generado a partir de la globalización y prolifera en espacios urbanos fragmentados y jerarquizados a nivel social, y es un hecho que ocurre en las ciudades a nivel mundial (González y Pérez, 2018). Este panorama de desigualdad debe ser considerado como problemática para diseñar la planificación urbana inclusiva, sostenible y amigable.

En un análisis anterior a Hábitat III, la conferencia de las Naciones Unidas centrada en los ciudadanos celebrada en Quito en 2016, Joan Clos (2015) aseguró que el espacio público es un elemento primordial para la interacción y la inclusión sociales, mayor acceso a servicios de salud, el intercambio económico, la expresión cultural, el bienestar y el diálogo en las ciudades. Por eso es tan importante la promoción de dichos espacios de manera segura, inclusiva, accesible, ecológica y de calidad en las urbes, puesto que habrán de transformar significativamente la manera de interactuar en los entornos urbanos.

En una investigación llevada a cabo por Amar et al. (2017), se hace una interesante propuesta arquitectónica, en relación con proyecto Museo Mhuysqa; se trata de un equipamiento colectivo urbano que surge a partir del proceso de investigación, en donde se aplican los criterios de diseño

relacionados con la cultura mhuysqa. El fin es atraer usuarios locales, regionales y nacionales, ofreciendo un espacio que construya un hito dentro del municipio de Zipaquirá, que sea sinónimo de apropiación por el lugar y el territorio. Este estudio utilizó el enfoque de la fenomenología de la arquitectura, que rescata la cosmovisión de la cultura mhuysqa, también los componentes teóricos conocidos como zonas fenoménicas, ahí se manifiesta cómo generar sensaciones diversas dentro de los espacios arquitectónicos y se enfatiza que la experiencia multisensorial es componente fundamental para la vivencia de la arquitectura.

A partir de lo anterior, se propone abordar las experiencias de participación ciudadana en la integración al espacio público, identificando estrategias que compartan los trabajadores migrantes wixárika que viven en la ciudad de Colotlán, Jalisco; ya que esto aportará conocimientos desde la perspectiva de los actores; lo anterior deberá ser interpretado por urbanistas, con la firme intención de trazar, a partir de los hallazgos, nuevas rutas que avancen hacia los beneficios de trabajadores indígenas migrantes y sus familias, ante las necesidades generadas respecto a su integración a los espacios públicos, los cuales son cada vez más multiculturales. Sin duda, lo anterior contribuirá enriqueciendo al nuevo paradigma urbano sobre el desarrollo de ciudades más amigables.

En síntesis, en gran medida, las líneas de investigación sobre el fenómeno de planificación y diseño urbano no consideran el paradigma interpretacionista ni el método cualitativo, ha dejado de lado los puntos de vista de los habitantes, la propuesta es contemplar estos enfoques como sustento de estudios urbanos, para no limitar los alcances que suelen tener los estudios positivistas.

Conclusiones

En el presente capítulo no se hace una propuesta para el diseño de espacios públicos con visión monocultural, más bien se propone realizar investigaciones que aborden las experiencias sobre participación ciudadana de los trabajadores wixaritari que migraron a Colotlán, para que desde un enfoque intercultural se integren elementos representativos de la cultura wixarika;

y así, a través de su cosmovisión, se sientan integrados en los espacios públicos, por ser estos más inclusivos. Las investigaciones podrían centrarse en la fenomenología arquitectónica, contemplar un método de participación acción que permita recuperar las experiencias y asegure la inclusión del punto de vista de los trabajadores migrantes wixaritari.

La participación ciudadana es pieza clave para encontrar dentro de esas perspectivas estrategias que abonen con propuestas concretas para implementar nuevas rutas hacia el desarrollo de proyectos arquitectónicos y diseños o rediseños urbanos de bibliotecas, parques, unidades deportivas, museos, mercados, casas de la cultura, etcétera. Lo aquí propuesto consolidaría la planificación integral, inclusiva, amigable y sostenible del espacio público en la ciudad de Colotlán, como ejemplo: la biblioteca José Benítez que se encuentra en el Centro Universitario de Norte (CUNorte) tiene en su ingreso una obra de arte de los artistas wixaritari José y Fidencio Benítez, que debe considerarse como símbolo de procesos interculturales inclusivos que se han generado dentro de la comunidad universitaria de CUNorte y esta se encuentra en el municipio de Colotlán, Jalisco, México.

Referencias

- Amar Patiño, J. M., Luque Carrillo, V. S. y Rodríguez Sánchez, J. S. (2017). *Fenomenología y simbolismo en el proyecto arquitectónico-Museo Mhuysqa*. Universidad Piloto de Colombia. <https://repository.unipiloto.edu.co/bitstream/handle/20.500.12277/2008/Fenomenolog%c3%ada%20y%20simbolismo%20en%20el%20proyecto%20arquitect%c3%b3nico%20-%20Museo%20Mhuysqa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Arango, J. (1985). Las Leyes de las Migraciones de E. G. Ravenstein, cien años después. *Revista Española de Investigaciones Sociales*, (32), 7-26.
- Cárdenas Gómez, P. (2014). Migración interna e indígena en México: Enfoques y perspectivas. *Intersticios Sociales*, (7), 1-28. <https://doi.org/10.55555/is.7.52>
- Clos, J. (2016, 30 de diciembre). *Hábitat III: La conferencia de Naciones Unidas centrada en los ciudadanos*. Organización de las Naciones Unidas. <https://www.un.org/es/chronicle/article/habitat-iii-la-conferencia-de-las-naciones-unidas-centrada-en-los-ciudadanos>
- Colotlán, Gobierno Ciudadano. (2024). [Sitio web oficial]. <https://www.colotlan.gob.mx>
- Cuadros Rodríguez, J., Valencia, J. y Valencia Arias, A. (2013). Las bibliotecas públicas como escenarios de participación ciudadana e inclusión social. *Rastros Rostros*, 15(29), 73-81. <https://doi.org/10.16925/ra.v15i29.699>

- González Romero, D. y Pérez Bourzac, M. T. (2018). La ciudad simultánea: Introducción al sur-global. *Architecture, City and Environment*, 13(37), 269-280. <http://hdl.handle.net/2117/118774>
- Hernández Ceja, A. y Higareda Rangel, Y. E. (2018). Teorías de la migración: Historia, etnicidad y género. *Vínculos: Sociología, Análisis y Opinión*, (12), 207-219. http://www.publicaciones.cucsh.udg.mx/ppperiod/vinculos/pdfs/vinculos12/V12_9.pdf
- Ibarra Reyes, R. J. y Amador Márquez, E. (2021). *Ciudadanías en el siglo XXI: Entre embates y divergencias*. Fontamara. https://www.researchgate.net/profile/Elizabeth-Marquez-4/publication/368874734_Ciudadanias_en_el_Siglo_XXI_Entre_embates_y_divergencias/links/63fe8bc6b1704f343f8d4920/Ciudadanias-en-el-Siglo-XXI-Entre-embates-y-divergencias.pdf
- Levaggi, V. (2004, 9 de agosto). ¿Qué es el trabajo decente? OIT. https://www.ilo.org/americas/sala-de-prensa/WCMS_LIM_653_SP/lang-es/index.htm
- Miramontes, E. (2003). *Etnopedología: Una Aproximación al sistema de clasificación de suelos de la etnia wixarika* [Tesis de Maestría en Ciencias en Manejo de Áreas de Temporal]. Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara. http://repositorio.cucba.udg.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/4814/Miramontes_Lau_Ernesto_Alonso.pdf
- Monroy Carrillo, E. M., Martínez Hernández, M. y González Pérez, G. X. (2020). *Discriminación y marginación hacia los migrantes indígenas en la Ciudad de México* [Trabajo de investigación]. Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Xochimilco. <https://repositorio.xoc.uam.mx/jspui/handle/123456789/24610>
- Weiss, L., Engelman, J. y Valverde, S. (2013). Pueblos indígenas urbanos en Argentina: Un estado de la cuestión. *Revista Pilquen*, 16(1). http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1851-31232013000100004&script=sci_arttext&lng=en
- Zolla, C. y Zolla Márquez, E. (2004). *Los pueblos indígenas de México: 100 preguntas*. Universidad Nacional Autónoma de México. <https://books.google.es/books?id=0CdwrFIYURcC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>

Sobre los autores

Coordinadores

Camacho Ruiz, María de los Ángeles

Doctora en Ciencia y Tecnología con especialidad en Biotecnología Productiva por el Posgrado Interinstitucional en Ciencia y Tecnología (CIATEJ-PICYT, 2015), Maestra en Ciencias en Procesos Biotecnológicos (2011) y Licenciada en Ingeniería Química (2007), todas por la Universidad de Guadalajara. Es integrante del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNI) con Nivel II para el periodo 2023-2027. Sus líneas de investigación abarcan el descubrimiento, expresión y caracterización de lipasas, esterasas y β -eterasas microbianas; el desarrollo de métodos y ensayos espectrofotométricos de alta sensibilidad; la biocatálisis selectiva e inmovilización enzimática; y la biorrefinería de lignina (incluida la prospección de eterasas/ligninasas), líneas reflejadas en sus proyectos y publicaciones recientes. Forma parte de la Red de Estudios en Biotecnología y Recursos Naturales (REBIORN). Entre sus publicaciones más recientes destacan “Microplate spectrophotometric method for regioselective lipase screening using structured triglycerides with punicic acid as probe” (*Analytical Biochemistry*, 2025) y “Further characterization of lipase B from *Ustilago maydis* expressed in *Pichia pastoris*: A member of the *Candida antarctica* lipase B-like superfamily” (*Applied Biochemistry and Biotechnology*, 2025).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9857-9115>

Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55193566700>

Google Académico: <https://scholar.google.es/citations?user=3MGxFzwAAAAJ&hl=es>

Mota Macías, Silvia Elena

Maestra en Educación por la Universidad de Guadalajara. Obtuvo la Licenciatura en Ingeniería en Sistemas Computacionales en el Tecnológico Regional de Zacatecas. Actualmente, se desempeña como jefa del Departamento de Fundamentos del Conocimiento y es docente de Licenciatura y Posgrado en el Centro Universitario del Norte de la Universidad de Guadalajara. Su experiencia institucional también incluye su rol como delegada académica del Sindicato de Trabajadores Académicos de la Universidad de Guadalajara (STAUDEG). Es reconocida como miembro del perfil PRODEP (Programa para el Desarrollo Profesional Docente). Su área de investigación se centra en la educación y las tecnologías aplicadas a la educación. Es integrante del Cuerpo Académico Tecnologías para el Aprendizaje. Ha contribuido recientemente con publicaciones en su campo: un capítulo en el libro *Tecnología educativa, innovación y desafíos en el siglo XXI*, donde presenta un diagnóstico sobre las competencias digitales de los docentes en el Centro Universitario del Norte (2024). Participó en la coordinación del libro *Avances de la ciencia y la tecnología para el desarrollo sostenible, tomo III* (2024).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0098-4295>

Academia: <https://independent.academia.edu/SilviaElenaMotaMacias>

Romero Soto, Itzel Celeste

Doctora en Ciencias con especialidad en Biotecnología por el Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON), donde también obtuvo el grado de Maestra en Ciencias en Recursos Naturales y el título de Ingeniera Biotecnóloga. Es integrante del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNI), Nivel I, para el periodo vigente (2023-2027). Sus líneas de investigación se centran en la calidad del agua y el tratamiento de aguas residuales, con especial interés en el diseño y aplicación de sistemas electroquímicos para la remoción de contaminantes, tema reflejado en sus publicaciones y proyectos recientes. En cuanto a membresías académicas, forma parte de la Red de Estudios en Biotecnología y Recursos Naturales (REBIORN) y de la Asociación Mexicana de Ingeniería, Ciencia y Gestión Ambiental (AMIDIQ). Entre sus publicaciones más recientes destacan artículos relacionados con la aplicación de sistemas electroquímicos en la remoción de contaminantes en agua, que aportan soluciones innovadoras y sostenibles a los retos ambientales actuales.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8669-3781>

Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57188840439>

Google Académico: https://scholar.google.com/citations?user=ny-9_kcAAAAJ
ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Itzel-Romero-Soto>

Briseño Aguilar, Filiberto

Doctorando en Gestión de Paz y Prevención de las Violencias en la Universidad de Guadalajara. Doctor en Ciencias de la Educación por la Universidad Santander (México), obtuvo la Maestría en Análisis de Sistemas Industriales y la Licenciatura en Ingeniería Mecánica Eléctrica en la Universidad de Guadalajara (México). En la actualidad es profesor-investigador de tiempo completo en la Universidad de Guadalajara, miembro del Cuerpo Académico UDG-CA-1041 Biotecnología, Salud y Sustentabilidad, fue secretario de División de Ciencia y Tecnología del Centro Universitario del Norte por nueve años. Coautor de los artículos “Thermographic analysis applied in preventive maintenance (a case study)” (*South Florida Journal of Development*, 2022) y “Eliminación de sólidos totales y materia orgánica en aguas residuales de la industria tequilera a través de un sistema acoplado” (2024).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7470-3046>

Google Académico: <https://scholar.google.com/citations?user=7O9GZIQA AAAJ&hl=es>

Academia: <https://independent.academia.edu/FILIBERTOBRISENOAGUILAR>

Autores

Astudillo León, Juan Pablo

Doctor en Ingeniería Telemática por la Universitat Politècnica de Catalunya, galardonado con el premio a la mejor tesis Doctoral, y Posdoctorado en la Universidad de New Brunswick, Canadá. Actualmente, es profesor en Yachay Tech, donde dirige el grupo de investigación ComNet Innova YT y coordina actividades en la Escuela de Ciencias Matemáticas y Computacionales. Sus áreas de investigación incluyen inteligencia artificial, IoT, redes vehiculares, Smart Grids y 5G, para aplicar técnicas de aprendizaje automático para optimizar el enrutamiento y rendimiento en redes. Ha sido coautor en las publicaciones *A reinforcement learning congestion control algorithm for smart grid networks* (2024) y *Enhancing QoS in urban V2V communications through AI: A machine learning approach in vehicular ad-hoc networks* (2024).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7291-3584>

Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57204736794>

Google Académico: <https://scholar.google.com/citations?hl=es&user=Y1pOikMAAAAJ>

Research: <https://www.researchgate.net/profile/Juan-Astudillo-12>

Azuara Vicario, Adriel

Licenciado en Nutrición por la Universidad Veracruzana-Región Veracruz. Ha presentado diferentes trabajos de investigación en modalidad cartel en Congresos como la Asociación Mexicana de Miembros de Facultades y Escuelas de Nutrición, A.C. (AMMFEN) y en el Congreso Internacional: Alimentación, Nutrición e Innovación, que organiza la Facultad de Nutrición-Región Veracruz.

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Adriel-Azuara-Vicario>

Blasco López, Gabriela

Doctora en Ciencias en Alimentos y Maestra en Ciencias en Ingeniería Bioquímica ambos por el Tecnológico Nacional de México Campus Instituto Tecnológico de Veracruz y la licenciatura en Nutrición en la Universidad Veracruzana, Región Xalapa. Se ha desempeñado como coordinadora regional de posgrado y profesora de tiempo completo en la Facultad de Nutrición en la Universidad Veracruzana, Región Veracruz. En la actualidad es miembro del Sistema Nacional de Investigadores e investigadoras como candidata, su línea de investigación principal es la utilización de desechos agroindustriales para la recuperación de biomoléculas de importancia alimentaria. Ha sido coautora en las publicaciones “Purification and characterization of the recombinant chitinase chiblu02 of *Bacillus licheniformis* uv01 with a choleoptericidal effect on hive beetle” (*Aethina tumida*, 2025) y “Elaboración de una tortilla de maíz enriquecida con zanahoria (*Daucus carota*) y linaza (*Linum usitatissimum*) para controlar enfermedades cardiovasculares” (2024).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5045-4164>

Cabral Parra, Rodolfo

Doctorando en Modelos Didácticos e Interculturalidad de las Instituciones Educativas por la Universidad Nacional de Educación a Distancia, con Maestrías en Sistemas de Información Contable (Universidad de Oviedo) y Administración

(Universidad de Guadalajara), y Licenciatura en Administración de Empresas (Universidad de Guadalajara). Profesor titular “B” en el Departamento de Productividad y Desarrollo Tecnológico del Centro Universitario del Norte de la Universidad de Guadalajara (CUNorte). Sus líneas de investigación abarcan ciencias sociales y administrativas, estudios multidisciplinarios agropecuarios, desarrollo organizacional, finanzas y emprendimiento. Ha publicado más de 60 artículos y actualmente desarrolla un proyecto multidisciplinario sobre sistemas productivos agropecuarios en la Región Norte de Jalisco. Miembro de la Red de Administración Integral, del Cuerpo Académico Gestión de Negocios para el Desarrollo Regional (UDG-CA-880), del Colegio Nacional de Licenciados en Administración y de la Red de Docentes de América Latina.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7352-8947>

Carrillo Ávila, Ana Rosa

Doctora en Ciencias de la Educación, también cuenta con Maestría en Administración y formación en Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica. Se desempeña como profesora asociada “C” en el Departamento de Fundamentos del Conocimiento del Centro Universitario del Norte, Universidad de Guadalajara. Imparte clases en los programas de Ingeniería en Electrónica y Computación e Ingeniería en Mecánica Eléctrica. Es candidata a investigadora nacional en el SNI y cuenta con el perfil deseable PRODEP. Su investigación se centra en sustentabilidad, energías renovables y tecnología ambiental. Ha publicado artículos científicos y capítulos de libros sobre eficiencia energética, aprovechamiento de recursos y desarrollo tecnológico sostenible. Dentro de sus publicaciones se encuentra *La permitividad en electrostática a partir del análisis dimensional* (2025) y *Ánodos galvánicos de zinc libres de cadmio para la industria pesquera* (2024) donde es coautora.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7334-0378>

Google académico: <https://scholar.google.com/citations?hl=es&user=ERjTp7wAAAAJ>

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Ana-Rosa-Carrillo-Avila>

Academia: <https://guadalajara.academia.edu/RosyCarrillo>

De la Torre Molina, Fernando Manuel

Doctorando en el programa de Innovación para el Hábitat Sostenible, Maestro en Procesos y Expresión Gráfica en la Proyección Arquitectónica Urbana y Arqui-

tecto, es profesor adscrito al Departamento de Proyectos Arquitectónicos en el Centro Universitario de Arte Arquitectura y Diseño de la Universidad de Guadalajara.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-4856-9305>

Depraect Payán, Yuvitza Guadalupe

Estudiante de Ingeniería en Biotecnología en el Instituto Tecnológico de Sonora, donde ha trabajado en el Laboratorio de Biotecnología de Especies Acuáticas en proyectos de investigación donde se han utilizado proteínas de camarón, medusa y otros organismos marinos. Ha realizado diversos ensayos sobre cuantificación de proteínas, aminoácidos, perfiles proteicos, zimogramas, cinéticas de actividad lipasa e inmovilización de proteínas. Ha sido miembro activo de la sociedad de alumnos de su carrera y recibió la distinción de Alumno Distinguido 2023-2024. Además, realizó una estancia de investigación en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo donde desarrolló el proyecto de investigación titulado *Proteína S2bp de la medusa bola de cañón: Composición de aminoácidos y efecto del pH en la estabilidad del color*.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5039-3366>

Díaz-Tenorio, Lourdes Mariana

Doctora en el Uso Manejo y Preservación de los Recursos Naturales por el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, con Maestría en Ciencias en el mismo ámbito. Sus líneas de investigación están relacionadas al uso de biomoléculas de origen acuático, así como el desarrollo de nuevos productos alimentarios. Actualmente pertenece al Departamento de Biotecnología y Ciencias Alimentarias del Instituto Tecnológico de Sonora. Actualmente forma parte del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores en el nivel I. Ha participado en proyectos de investigación de la industria privada y obtenido financiamiento de organismos públicos. Ha sido coautora en las publicaciones *Advanced municipal wastewater treatment and bioproduct generation via optimized autotrophic and mixotrophic microalgal cultivation* (2025) y *Evaluation of different operational conditions in a microbial electrolysis cell inoculated with a pure culture of Shewanella oneidensis for hydrogen production* (2024).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8941-3965>

Google Académico: <https://scholar.google.com/citations?hl=es&user=fRF9MuCW9EcC>

Escárrega Sánchez, Carolina

Ingeniera en Biotecnología en el Instituto Tecnológico de Sonora. Presentó gran interés en la investigación y técnicas aplicadas en el ámbito de la salud con el uso de herramientas biotecnológicas. Su interés también se enfoca en la química verde y síntesis sostenible para aprovechar los recursos marinos, y como eje principal el uso de biocatalizadores de organismos acuáticos para la producción de compuestos bioactivos de origen lipídico. Posee conocimientos en análisis de compuestos bioactivos, metodologías de investigación científica para la visualización y purificación de moléculas de interés biotecnológico.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-7682-5665>

Esquivel Sotelo, Alberto

Doctorando en Ciencias y Tecnología del Agua por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). Obtuvo su Maestría en Ingeniería Ambiental en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) Campus IMTA y su Licenciatura en Ingeniería Química en el Instituto Tecnológico de Zacatepec. Su área de investigación son el tratamiento de aguas residuales mediante procesos biológicos avanzados y físico-químicos para la remoción de compuestos xenobióticos; y producción de energía eléctrica mediante celdas de combustible microbiana. Ha sido profesor en la Universidad Politécnica del Estado de Morelos. Actualmente es Tecnólogo del Agua "A" titular en el IMTA. Sus publicaciones más recientes son *Energía limpia del agua sucia: Aprovechamiento de lodos residuales* (2017) y el artículo científico *Removal of naphthalene and phenanthrene using aerobic membrane biorreactor* (2016), del cual es coautor.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5322-0750>

Gaeta González, Joseph Omar

Maestra en Administración de Negocios por la Universidad de Guadalajara y la Universidad de Silesia en Katowice (Polonia), con una Especialidad en Cadena de Suministro y Logística por la Universidad Autónoma de Guadalajara. Es un profesional especializado en la gestión de cadenas de suministro y logística, con una sólida formación académica y experiencia en el análisis de riesgos y la planificación de la continuidad del negocio. Actualmente, se desempeña como *senior supply chain business continuity planning (BCP) analyst* en AstraZeneca, donde lidera

estrategias para garantizar la resiliencia de la cadena de suministro frente a interrupciones.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3302-7638>

García Sánchez, Guillermina

Maestra en Ciencias en Nutrición y Alimentos por el CIAD y Licenciada en Químico Biólogo Clínico por la UNISON. Ha dirigido tesis, evaluado proyectos académicos y colaborado con diversas instituciones como la UAS, UNISON, CIBNOR e ITSON. Actualmente, es profesora-investigadora asociada en el CIAD. Sus líneas de investigación abarca áreas como la bioquímica posmortem, la calidad y tecnología de organismos acuáticos. Ha sido reconocida con premios como el segundo lugar en el Pitch Mexican Startups Competition 2022, organizado por la Embajada de Suiza en México, y un reconocimiento de la Escuela de Salud Pública de Harvard T. H. Chan, por completar el International Program in Innovation and Sustainability in Sonora. Ha sido coautora en las publicaciones *Cryoprotective effect of low molecular-mass nitrogen compounds on the myofibrillar protein of the jumbo squid (*Dosidicus gigas*) muscle* (2024) y *Metmyoglobin cryostability by low molecular weight compounds and their effect on sulfmyoglobin formation by thermal treatment* (2025).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3748-0530>

Google Académico: <https://scholar.google.com/citations?hl=es&user=l9S5XVoAAAAJ>

Godínez Chavoya, Josefina Elizabeth

Doctora en Inclusión, Políticas Públicas e Investigación por la Universidad Mexicana de Estudios y Posgrados, y Maestra en Administración de Negocios por la Universidad de Guadalajara. Actualmente, es profesora e investigadora en el Centro Universitario del Norte (CUNorte) de la Universidad de Guadalajara, donde se desempeña como docente en la Licenciatura en Agronegocios y en la Maestría en Administración de Negocios. Sus líneas de investigación se centran en la gestión de negocios, el desarrollo regional y la sustentabilidad en el sector agropecuario. Ha participado en proyectos de investigación relacionados con la globalización, la seguridad alimentaria y la productividad de los productores agropecuarios en la Región Norte de Jalisco. Además, ha publicado varios artículos en revistas indexadas y ha participado en congresos nacionales e internacionales, destacando su trabajo en temas como la globalización y su impacto en el desarrollo economi-

co y la implementación de prácticas sustentables en el sector agropecuario. Dentro de sus publicaciones se encuentran *Use of strategic management techniques in cost-per-order systems for mexican SMES* (2025) y *Uso de técnicas de gestión estratégica en los sistemas de costos por pedidos para pymes mexicanas* (2025).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6874-2487>

Google Académico: <https://scholar.google.com/citations?hl=es&user=Qw7cBC4AAAAJ>

Gutiérrez Macías, Tania

Doctora y Maestra en Ingeniería Ambiental por la Universidad Autónoma de México (UNAM). Obtuvo la Licenciatura en Ingeniería Química por el Instituto Tecnológico de Zacatepec. Se ha desempeñado como profesora-investigadora del posgrado del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). En la actualidad es Investigador por México, donde realiza investigaciones sobre el tratamiento de las aguas residuales municipales e industriales, producción de energía, pretratamiento de lodos residuales, contaminantes emergentes, sistemas de oxidación avanzada y nanomateriales. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores de México desde el 2020. Sus publicaciones más recientes son *Performance of a pilot-scale microbial electrolysis cell coupled with biofilm-based reactor for household wastewater treatment: simultaneous pollutant removal and hydrogen production* (2024) y *Decentralized pilot-scale biofilm-based system integrated with microbial electrolysis cell for household wastewater treatment: Enhanced pollutant removal and hydrogen production* (2023).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6760-4800>

Google Académico: <https://scholar.google.com/citations?user=ot5uqtUAAAAJ&hl=es>

ResearchGate: https://www.researchgate.net/profile/Tania-Gutierrez-Macias?ev=hdr_xprf

Lemus Cárdenas, Leticia

Doctora en Ingeniería Telemática por la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), España. Se desempeña como profesora de tiempo completo de posgrado y pregrado en el Departamento de Fundamentos del Conocimiento en el CUNORTE de la Universidad de Guadalajara, México. Sus áreas de interés incluyen redes de datos, redes inalámbricas, redes vehiculares, vehículo eléctrico, ciudades inte-

ligentes, big-data e inteligencia artificial. Su trabajo de investigación se enfoca en la exploración de la inteligencia artificial para mejorar el enrutamiento y rendimiento de redes de datos inteligentes en entornos urbanos, y el uso eficiente de recursos. Ha sido coautora en las publicaciones *Evaluation of 5G vehicle to everything (V2X) communications in urban scenarios* (2024) e *Impact of data augmentation using SMOTE and GAN on machine learning predictions for vehicular routing data-sets* (2024).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9139-5666>

Academia: <https://independent.academia.edu/LETICIALEMUSCARDENAS>

Google Académico: <https://scholar.google.com/citations?hl=es&user=qbAN6HQAAAAJ>

Lugo Sánchez, María Elena

Maestra en Ciencias por el CIAD, y obtuvo su Licenciatura en Ingeniería Bioquímica con especialidad en Tecnología de Alimentos por el Instituto Tecnológico de Culiacán. Actualmente, se desempeña como profesora-investigadora asociada en el CIAD. Sus áreas de interés incluyen la bioquímica poscaptura, la calidad y tecnología de productos pesqueros. Ha participado en investigaciones como “Identificación por inmunotransferencia de isoformas de LOX de calamar gigante (*Dosidicus gigas*) y ensayo de reticulación in vitro sobre materiales de colágeno seleccionados” y ha sido coautora de capítulos sobre el manejo y calidad de productos pesqueros en *Nuevas tendencias en ciencia y tecnología de alimentos*.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1472-5438>

Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=6506767428>

Academia: <https://independent.academia.edu/MariaElenaLugoSanchez>

Google Académico: <https://scholar.google.com/citations?hl=es&user=S0-hR1QAAAAJ>

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Maria-Lugo-Sanchez>

Martínez Pérez, Raúl Balam

Doctor en Ciencias con especialidad en Biotecnología. Es investigador posdoctoral y profesor en el Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON). Su línea de investigación abarca fisiología digestiva, tecnología de alimentos, biocatálisis, bioinformática y microbiología. Actualmente ocupa el cargo de profesor auxiliar-investigador en el Instituto Tecnológico de Sonora. Ha colaborado con instituciones nacionales

e internacionales. Ha sido coautor en las publicaciones *Development of a rapid assay for β -etherase activity using a novel chromogenic substrate* (2024) y *Producción de enzimas proteolíticas a partir de microorganismos halófilos aislados de suelos salinos del sur de Sonora* (2025).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5152-7695>

Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57210646749>

Google Académico: <https://scholar.google.com/citations?hl=es&user=GMh6VG4AAAAJ>

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Raul-Martinez-Perez>

Martínez Velasco, Alejandro

Doctor en Biotecnología por la Universidad Autónoma Metropolitana, maestro en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria e Ingeniero Agroindustrial por la Universidad Autónoma Chapingo. Asimismo, en la actualidad es docente por asignatura de la Facultad de Nutrición de la Universidad Veracruzana Región Veracruz y también es investigador del Programa de Estancias Posdoctorales del Conahcyt. Entre las líneas de investigación que trabaja se encuentran biopolímeros extraídos de fuentes nativas, alimentos funcionales, fortificación de alimentos, alimentos funcionales y tecnologías emergentes aplicadas en alimentos. Es arbitro invitado de revistas como *LWT-Journal of Food Science and Technology* y *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. Ha sido coautor en las publicaciones “Cuajinicuil (*Inga jinicuil*) seeds as a novel source of starch: Morphological, structural, and thermogravimetric characteristics of isolated fractions” (2025) y “The use of candelilla wax/canola oil oleogel in the formulation of sponge cake bread improves morphostructural and sensory properties” (2024).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0955-554X>

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Alejandro-Martinez-Velasco>

Marzoug, Rachid

Doctor en Física Computacional por la Universidad Mohammed V, en Rabat, Marruecos. Cuenta con una Maestría en Instrumentación y Telecomunicaciones. Realizó una estancia posdoctoral como investigador en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Actualmente, es profesor investigador de tiempo completo en el Centro Universitario del Norte de la Universidad de Guadalajara. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores. Su línea de investigación se

enfoca en sistemas de transporte, autómatas celulares, y el modelado y simulación de sistemas complejos. Ha sido coautor en las publicaciones *Cellular automata for optimization of traffic emission and flow dynamics in two-route systems using feedback information* (2025) y *Modelado y simulación para ciudades más seguras y sostenibles* (2024).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6578-696X>

Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56142173900>

Academia: <https://guadalajara.academia.edu/rachidmarzoug>

Google Académico: <https://scholar.google.com/citations?hl=es&user=j0GDzEcAAAAJ>

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Rachid-Marzoug>

Morales Sánchez, Adriana Elizabeth

Doctora en Ciencias de la Salud en el Trabajo, Maestra en Ciencias de la Salud Pública y Licenciada en Psicología por la Universidad de Guadalajara (UdeG). Se desempeña como Coordinadora de Investigación y es profesora titular adscrita al departamento de Bienestar y Desarrollo Sustentable en el Centro Universitario del Norte de la UdeG. Ha publicado diversos artículos en revistas indexadas y varios capítulos de libros, además ha editado y coordinado libros. Actualmente, funge como directora de la revista científica indexada *Punto CUNorte* y como miembro del comité científico internacional de la misma. Ha formado parte del Sistema Nacional de Investigadores en nivel candidato y en Nivel I. Sus líneas de investigación se relacionan con temas de salud, trabajo y educación en psicología evolutiva. Entre sus publicaciones más recientes, se encuentran dos artículos publicados en el año 2024, uno en el número 19 de la revista *Punto CUNorte*, titulado: “Apuntes y reflexiones sobre la interculturalización del currículo y el racismo epistémico” y otro, en el número 11 de la revista *Investigación Permanente del Norte de Jalisco* “Perspectiva sobre bienestar psicológico de trabajadoras y trabajadores de una empresa manufacturera trasnacional en Guadalajara, Jalisco, México”.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0000-7555>

Google Académico: https://scholar.google.es/citations?hl=es&user=PZQa_bQAAAAJ

Núñez Olivera, José Manuel

Doctor en Estudios Sociales. Es profesor-investigador titular “C” de tiempo completo adscrito al Centro Universitario de la Ciénega (CUCiénega) de la Universidad de Guadalajara desde 2008. Cuenta con el reconocimiento de Perfil Deseable (PRO-DEP) y es responsable del Cuerpo Académico “Gestión de Negocios para el Desarrollo Regional” (UDG-CA-880). Cuenta con una amplia trayectoria académica, ha impartido clases en instituciones como el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) y el Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Occidente (ITESO). Sus áreas de *expertise* incluyen la gestión de negocios, el desarrollo regional y la estadística aplicada.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6644-8375>

Ortega Zúñiga, Edwin Javier

Maestro en Gestión y Auditorías Ambientales y en Energías Renovables, es Tecnólogo en Electrónica por la Universidad del Valle e Ingeniero en Sistemas por la Fundación Universitaria San Martín. Tiene más de una década de experiencia docente y actualmente lidera la estrategia de sostenibilidad en la Universidad Pontificia Bolivariana, seccional Palmira. Ha participado en investigaciones sobre TIC en la docencia y desarrollo sostenible, colaborando con entidades como la OEA y universidades nacionales. Desde 2012, ha trabajado como asesor empresarial, inicialmente en el programa “Plan Semilla” de Coomeva. En 2017 fundó CETI, una consultora para PYMES, que en 2022 evolucionó a “Conciencia”, donde dirige un equipo multidisciplinario enfocado en sostenibilidad, desarrollo tecnológico y estrategia empresarial. Ha sido coautor en las publicaciones *Usos docentes de dispositivos móviles en América Latina* (2020) y *Caracterización del modelo de transferencia de tecnología a pequeños y medianos productores agrícolas* (2023).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6935-3486>

Google Académico: <https://scholar.google.es/citations?user=aspaDuQAAAAJ&hl=es&oi=ao>

Ramírez Higuera, Abril

Doctora en Biotecnología, Maestra en Ciencias en Bioprocesos e Ingeniera en Alimentos, por el Instituto Politécnico Nacional. Actualmente se desempeña como docente de asignatura de la Facultad de Nutrición-Región Veracruz y al mismo tiempo funge como secretaria académica de la misma facultad. Es miembro del

Núcleo Académico Básico de la Maestría en Nutrición y Calidad de Vida. Tiene el nombramiento de Nivel 1 del Sistema Nacional de Investigadores. La línea de investigación que trabaja contempla el estudio de los trastornos metabólicos, compuestos bioactivos y enfermedades crónicas no transmisibles en modelos *in vivo* e *in vitro*, así como en grupos de población humana.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1430-2689>

Ramírez Suárez, Juan Carlos

Doctor en Filosofía en Ciencias por la Universidad de Kentucky. Investigador posdoctoral por la Universidad Estatal de Oregón. Además, posee una Maestría en Ciencias y Nutrición por el CIAD y una Licenciatura como Químico-Biólogo por la UNISON. Actualmente, se desempeña como profesor-investigador, con líneas de investigación enfocadas en ciencia y tecnología de alimentos de origen animal. Ha recibido diversos premios y distinciones, entre ellos, la presidencia del Pacific Fisheries Technologists (PFT) en 2012-2013. Además, es titular de la propiedad intelectual AQUAZUL y Diseño, registrada en México con el número 1716583 en 2016.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8512-1271>

Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=7801487433>

Ramos López, Francisco Javier

Maestro en Administración de Negocios por el Centro Universitario del Norte e Ingeniero Agrónomo Fitotecnista por la Universidad de Guadalajara. Actualmente, se desempeña como docente e investigador en el Centro Universitario del Norte de la Universidad de Guadalajara (CUNorte), donde ha sido responsable del Laboratorio de Agronegocios y miembro del Comité Consultivo de la Licenciatura en Agronegocios. Sus áreas de *expertise* incluyen la apicultura, la transferencia de tecnología, el desarrollo de proyectos agropecuarios y la gestión de agronegocios. Ha participado en congresos nacionales e internacionales, destacando su trabajo en temas como la producción apícola, la sustentabilidad y la seguridad alimentaria. Además, ha sido ponente en eventos académicos y ha publicado artículos sobre globalización, sustentabilidad y desarrollo económico en la región de Jalisco. Con más de 30 años de experiencia como apicultor independiente, ha combinado su labor académica con la asesoría técnica en proyectos productivos y la promoción de prácticas sostenibles en el sector agropecuario.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-8042-8093>

Rentería Mexía, Ana María

Doctora en Physical Activity, Nutrition, and Wellness por la Arizona State University. Actualmente se adscrita al Departamento de Biotecnología y Ciencias Alimentarias del Instituto Tecnológico de Sonora. Forma parte del cuerpo académico de Bioprocesos y Bioproductos. Ha recibido distinciones como Becaria PRODEP Doctorado en el extranjero, Arizona State University (2014-2017) y Maestra distinguida ITSON (2010-2014). Las líneas de investigación que desarrolla están enfocadas en nutrición y alimentación humana, así como los procesos biotecnológicos: ambiente, alimentos y salud. Ha sido coautora en las publicaciones *Treatment of tequila distillation volatile residues by electrochemical oxidation using titanium electrodes* (2024) y *Low prevalence of ideal levels in cardiovascular behavior metrics among Mexican adolescents* (2023).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9760-1213>

Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57204177744>

Academia: <https://itson.academia.edu/AnaMariaRenteriaMexia>

Reza Chávez, Edwin Adahir

Maestrante en Ciencias y Tecnología del Agua dentro del programa de Posgrado del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, desarrolla su investigación en torno al tratamiento de los lodos residuales utilizando digestión anaerobia y pretratamientos, próximo a titularse. Ingeniero en Biotecnología por la Universidad Politécnica del Estado de Morelos. Se ha desempeñado en la industria como ingeniero de calidad en Baxter de México, al analizar materia prima y llevar a cabo el cumplimiento de buenas prácticas de manufactura, y en Bachoco auditando los sistemas de calidad en el área de alimentos; en Sanit-Gobain Sekurit fue encargado de la inspección de equipos en el área de procesos. Ha impartido materias de cálculo y probabilidad a nivel medio superior., además de laborar en DEGASA como ingeniero de calidad. Ha participado en 3 congresos con ponencias orales y un artículo de divulgación.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9826-9760>

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Edwin-Reza-2>

Roldán Cruz, César Alberto

Doctor en Biotecnología por la Universidad Autónoma Metropolitana, obtuvo la Maestría en Ciencias de los Alimentos por la Universidad Autónoma del Estado

de Hidalgo. Cuenta con estudios de Licenciatura en Ingeniería en Industrias Alimentarias por el Instituto Tecnológico Superior del Occidente del Estado de Hidalgo. Su área de investigación y trabajo es la evaluación del uso de biopolímeros en matrices alimentarias y desarrollo de nuevos productos. En la actualidad es coordinador de la Maestría en Nutrición y Calidad de Vida en la Facultad de Nutrición Región Veracruz, perteneciente a la Universidad Veracruzana, donde también se desempeña como docente de tiempo completo. Ha sido coautor en las publicaciones *Fractional- order kinetics modeling of starch thermal degradation* (2024) y *Stale bread waste recycling as ingredient for fresh oven- baked white bread: effects on dough viscoelasticity, bread molecular organization, texture, and starch digestibility* (2024).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8992-8176>

Scopus: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57118083700>

ResearchGate: <https://www.researchgate.net/profile/Cesar-Alberto-Roldan-Cruz>

Salcedo Moncada, Bryan Fernando

Es Magíster en Ingeniería con énfasis en Industrial de la Pontificia Universidad Javeriana Cali (Colombia). Obtuvo su Licenciatura de Ingeniero Industrial en la Universidad Pontificia Bolivariana (Colombia). Se ha desempeñado como profesor-investigador de la Facultad de Ingeniería Industrial de la Universidad Pontificia Bolivariana Palmira, adscrito al Grupo de Investigación Estudios sobre Organizaciones de MinCiencias. Ha sido coautor en las publicaciones *Tabu search with multiple decision levels for solving heterogeneous fleet pollution routing problem* (2023) y *Metodología para mejorar el procedimiento de mantenimiento preventivo en redes de distribución de energía eléctrica en el Valle del Cauca* (2023).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4240-8971>

Google Académico: <https://scholar.google.es/citations?user=UtnJP-YAAAAJ&hl=es>

Serrano Ochoa, Ana Lucía

Maestrante en Estudios Transdisciplinarios de Ciencia y Tecnología en el Centro Universitario del Norte de la Universidad de Guadalajara. Es Ingeniera Industrial con especialidad en Six Sigma por el Tecnológico Nacional de México. Su formación combina herramientas avanzadas de ingeniería y enfoques transdisciplinarios para la resolución de problemas complejos. Su interés principal radica en el desa-

rrollo de soluciones innovadoras y sostenibles que impactan positivamente en la sociedad y el medioambiente. Su enfoque de investigación busca vincular conocimientos de diversas disciplinas para abordar retos actuales.

Sosa Ruiz, Diana

Estudiante de último semestre de Ingeniería Bioquímica en el Instituto Tecnológico de Colima, con especialidad en Alimentos y Biotecnología. Interés en la investigación y el desarrollo de tecnologías aplicadas a la industria alimentaria y biotecnológica. Ha participado en proyectos relacionados con la biotecnología, enfocándose en el uso de la química verde y síntesis sostenible, así como en el análisis de proteínas de organismos marinos con función catalítica, orientado a la evaluación in vitro de la digestión de lípidos. Posee conocimientos en análisis de alimentos, control de calidad y metodologías de investigación científica y biotecnología.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-2338-5593>

Valenzuela Bañuelos, Cecilia Abigail

Estudiante de sexto semestre de la Licenciatura en Ingeniería Biomédica en la Universidad de Sonora, con una formación técnica como laboratorista clínico. Posee interés en la unión de la ingeniería y la medicina, lo que la ha llevado a adquirir conocimientos especializados en áreas como biomateriales, biosensores, biología molecular, programación, entre otras. Ha participado en proyectos de investigación enfocados en la aplicación de la química verde y computacional para el desarrollo de fármacos innovadores dirigidos a combatir la diabetes y la obesidad.

ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0252-5887>

Vega Morales, Víctor Vladimir

Licenciatura en Urbanística y Medio Ambiente del Centro Universitario de Arte Arquitectura y Diseño (CUAAD) de la Universidad de Guadalajara (UdeG), realizó su prácticas profesionales en la coordinación de investigación en el centro Universitario del Norte de la UdeG, ha colaborado en un par de proyectos de investigación que abordan fenómenos sobre migración indígena, participación ciudadana, espacio público y bienestar; además, ha presentado ponencia en evento académico, también ha colaborado en la publicación del artículo titulado “Perspectiva sobre bienestar psicológico de trabajadoras y trabajadores de una empresa manufactu-

rera trasnacional en Guadalajara, Jalisco, México”, en el año 2024 en el número 11 de la *Revista de Investigación Permanente del Norte de Jalisco* y el capítulo “Experiencia profesional: El caso de un centro holístico de bienestar” en el libro *Avances de la ciencia y la tecnología en el desarrollo sostenible, tomo III* en el año 2024.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7195-2584>

Velázquez Maro, Andreé

Ingeniero en Biotecnología por el Instituto Tecnológico de Sonora. Ha participado activamente en proyectos de investigación relacionados al estudio de biocatalizadores de origen vegetal y compuestos bioactivos para el tratamiento del síndrome metabólico. Miembro de la Asociación de Alumnos de Ingeniero Biotecnólogo (ASAIB) de ITSON (2022-2023). Colaborador en la organización de la 10ª Semana de la Biotecnología (2022) y Primera Jornada Biotecnológica (2023). Colaborador del comité de logística y ponencias orales, en la organización del II Congreso Internacional de Biotecnología y Ciencias Alimentarias (2023).

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3208-5016>

*Avances de la ciencia y la tecnología para
el desarrollo sostenible, tomo V*, de María de los
Ángeles Camacho Ruiz, Silvia Elena Mota Macías, Itzel
Celeste Romero Soto y Filiberto Briseño Aguilar (coords.), fue
publicado por el Centro Universitario del Norte de la Universidad de
Guadalajara y Ediciones Comunicación Científica, S. A. de C. V. en versión
digital para acceso abierto en los formatos PDF, EPUB y HTML.

En un escenario global, marcado por tensiones ecológicas, desigualdades estructurales y urgencias sociales, las investigaciones reunidas en este tomo ofrecen respuestas innovadoras desde una perspectiva multidisciplinaria, contribuyendo a los diversos Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS). La obra se construye desde un enfoque que prioriza la integración del conocimiento, el rigor metodológico y la aplicabilidad de los resultados en contextos reales, con potencial de incidir tanto en la formulación de políticas públicas como en prácticas comunitarias y productivas. La selección de trabajos incluidos responde a criterios de originalidad, pertinencia y solidez científica, y se enfoca en áreas prioritarias como la seguridad alimentaria, la eficiencia energética, la gestión de residuos, la movilidad urbana, la biotecnología y el acceso a recursos vitales como el agua. Cada estudio parte de contextos específicos, pero converge en una orientación común: proponer soluciones viables, escalables y fundamentadas en evidencia empírica, con miras a promover el bienestar humano y la conservación ambiental. Los trabajos recopilados en este tomo demuestran que la investigación científica no puede permanecer en la abstracción: debe constituirse como una herramienta efectiva para la transformación social y ambiental.



Dimensions



2000922



DOI.ORG/10.52501/CC.348

María de los Ángeles Camacho Ruiz es Doctora en Ciencia y Tecnología con especialidad en Biotecnología Productiva por la Universidad de Guadalajara. Es integrante del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNI), nivel II, y de la Red de Estudios en Biotecnología y Recursos Naturales (REBIORN). Sus líneas de investigación abarcan el descubrimiento, expresión y caracterización de lipasas, esterasas y β -eterasas microbianas; el desarrollo de métodos y ensayos espectrofotométricos de alta sensibilidad; la biocatálisis selectiva e inmovilización enzimática; y la biorrefinería de lignina (incluida la prospección de eterasas/ligninasas).

Silvia Elena Mota Macías es Maestra en Educación por la Universidad de Guadalajara. Actualmente, se desempeña como jefa del Departamento de Fundamentos del Conocimiento y es docente de licenciatura y posgrado en el Centro Universitario del Norte de la UDG. Además, es integrante del cuerpo académico Tecnologías para el Aprendizaje y delegada académica del Sindicato de Trabajadores Académicos de la Universidad de Guadalajara. Es reconocida como miembro del perfil PRODEP. Su área de investigación se centra en la educación y las tecnologías aplicadas a la educación.

Itzel Celeste Romero Soto es Doctora en Ciencias con especialidad en Biotecnología por el Instituto Tecnológico de Sonora (ITSON). Es integrante del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores (SNI), nivel I, y forma parte de la Red de Estudios en Biotecnología y Recursos Naturales (REBIORN) y de la Asociación Mexicana de Ingeniería, Ciencia y Gestión Ambiental (AMIDIQ). Sus líneas de investigación se centran en la calidad del agua y el tratamiento de aguas residuales, con especial interés en el diseño y aplicación de sistemas electroquímicos para la remoción de contaminantes.

Filiberto Briseño Aguilar es Doctor en Ciencias de la Educación por la Universidad Santander (México) y estudia el Doctorado en Gestión de Paz y Prevención de las Violencias en la Universidad de Guadalajara. Actualmente es profesor-investigador de tiempo completo en la UDG, donde es miembro del cuerpo académico Biotecnología, Salud y Sustentabilidad (UDG-CA-1041), y fue secretario de la División de Ciencia y Tecnología del Centro Universitario del Norte por nueve años.



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA
Red Universitaria e Institución Benemérita de Jalisco



CUNORTE
CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE



COMUNICACIÓN
CIENTÍFICA
PUBLICACIONES
ARBITRADAS
HUMANIDADES, SOCIALES Y CIENCIAS
www.comunicacion-cientifica.com

