Investigación Permanente. Avances de la Ciencia y la Tecnología para el Desarrollo Sostenible. Tomo V

Por María de los Ángeles; Silvia Elena; Itzel Celeste; Filiberto Camacho Ruiz; Mota Macías; Romero Soto; Briseño Aguilar (Coords.)

CANTIDAD DE PALABRAS	38591	HORA DE ENTREGA	04-AGO-2025 03:43P. M.
		NÚMERO DE IDENTIFICACIÓN DEL TRABAJO	117575937

WWW.COMUNICACION-CIENTIFICA.COM

COMUNICACIÓN CIENTÍFICA PUBLICACIONES ARBITRADAS

Plantilla para integrar el libro

TÍTULO:

Investigación Permanente.

SUBTÍTULO

Avances de la Ciencia y la Tecnología para el Desarrollo Sostenible. Tomo V.

AUTOR/COORDINADOR:

María de los Ángeles Camacho Ruiz

Silvia Elena Mota Macías

Itzel Celeste Romero Soto

Filiberto Briseño Aguilar

Instrucciones

El presente archivo es una plantilla diseñada para que el autor/coordinador integre todos los capítulos que conformarán el libro de una forma sencilla y con el formato adecuado.

1) En el apartado Portada, indique el título del libro, subtítulo y nombre completo de los coordinadores. Por favor no utilice abreviaciones.

2) En el apartado Índice anote el título de cada capítulo y el nombre de sus autores (sin abreviaturas).

3) En los apartados Presentación, Prólogo e Introducción escriba el texto correspondiente. No hay límite de extensión. NOTA: no es obligatorio que incluya los tres apartados, puede elegir solo uno o dos de ellos.

4) En cada capítulo llene los campos correspondientes: Título de capítulo, Nombre de los autores, Resumen, Palabras clave, contenido del capítulo (texto + figuras/tablas) y Referencias. NOTA: para integrar el contenido de los capítulos deberá copiar el texto junto con las figuras y tablas desde el archivo original y pegarlo en el espacio que le corresponda. Cuide que el contenido siga los lineamientos establecidos.

5) Al finalizar, integre en un carpeta la Plantilla (este archivo), todos los Currículo por autor y la carpeta con imágenes, tablas y gráficas de todo el libro. Luego comprima la carpeta en formato .zip o .rar y envíela por correo electrónico al equipo de COMUNICACIÓN CIENTÍFICA.

L ineamientos

Citas y referencias

Las citas y referencias deben seguir las Normas APA 7.

Puede consultarlas haciendo clic aquí.

Estilos

Para texto “Normal” utilice Times New Roman de 12 puntos e interlineado de 1.5. Para títulos y subtítulos emplee los estilos predefinidos en este archivo Word:

* **Título de capítulo**
* **Título de apartado**
* ***Subtítulo (nivel 3)***
* *Subtítulo (nivel 4)*
* *Título de tabla o figura*
* Notas de pie de tabla o figura

Gráficas y tablas

- Colóquelas correctamente en el texto y numérelas.

- Anexe en un documento Excel las tablas y gráficas en formato editable.

En el caso de las gráficas, además, se deben incluir los datos para su elaboración. Vea el ejemplo en la página siguiente.

Figuras, imágenes e ilustraciones

- Todas se denominarán “figuras”; colóquelas correctamente en el texto y numérelas.

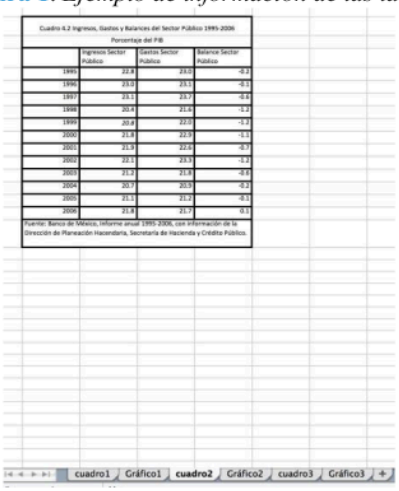
- Agrupe en una carpeta aparte, las imágenes de todos los capítulos en formato jpg de 300 dpi de resolución.

Ejemplo de tablas y gráficas con sus datos en Excel

Adicional a que las tablas y gráficas aparezcan en el cuerpo del texto, es necesario capturar su información en Excel junto con un ejemplo de cómo deben quedar. La finalidad es que el diseñador tome la información y las reelabore con una buena resolución y estilo.

Nota: no es importante que estas tablas o gráficas en Excel tengan un estilo estético, sino que la información esté capturada.

Figura 1. *Ejemplo de información de las tablas*



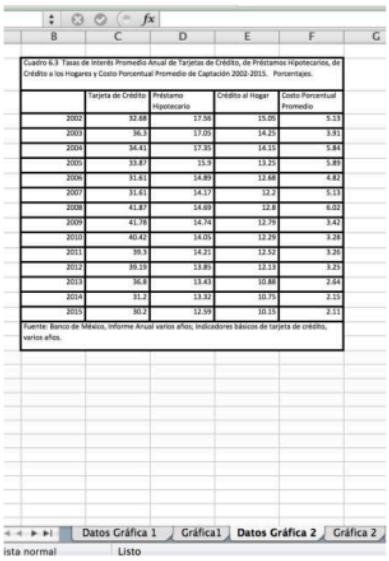
Cuadro 4.2 Ingresos, Gastos y Balances del Sector Público 1995-2006
Porcentaje del PIB

	Ingresos Sector Público	Gastos Sector Público	Balance Sector Público
1995	22.8	23.0	-0.2
1996	23.0	23.1	-0.1
1997	23.1	23.7	-0.6
1998	20.4	21.6	-1.2
1999	20.8	22.0	-1.2
2000	21.8	22.9	-1.1
2001	21.9	22.6	-0.7
2002	22.1	23.3	-1.2
2003	21.2	21.8	-0.6
2004	20.7	20.9	-0.2
2005	21.1	21.2	-0.1
2006	21.8	21.7	0.1

Fuente: Banco de México, Informe anual 1995-2006, con información de la Dirección de Planeación Hacendaria, Secretaría de Hacienda y Crédito Público.

cuadro1 | Gráfico1 | cuadro2 | Gráfico2 | cuadro3 | Gráfico3

Figura 2. *Ejemplo de información de las gráficas*



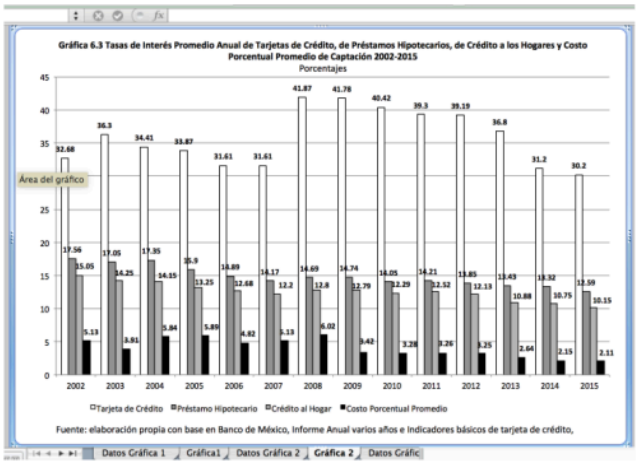
Cuadro 6.3 Tasas de Interés Promedio Anual de Tarjetas de Crédito, de Préstamos Hipotecarios, de Crédito a los Hogares y Costo Porcentual Promedio de Captación 2002-2015. Porcentajes.

	Tarjeta de Crédito	Préstamo Hipotecario	Crédito al Hogar	Costo Porcentual Promedio
2002	32.68	17.56	15.05	5.13
2003	36.3	17.05	14.25	3.91
2004	34.41	17.35	14.15	5.84
2005	33.87	15.9	13.25	5.89
2006	31.61	14.89	12.68	4.82
2007	31.61	14.17	12.2	5.13
2008	41.87	14.69	12.8	6.02
2009	41.78	14.74	12.79	3.42
2010	40.42	14.05	12.29	3.28
2011	39.3	14.21	12.52	3.26
2012	39.19	13.85	12.13	3.25
2013	36.8	13.43	10.88	2.64
2014	31.2	13.32	10.75	2.15
2015	30.2	12.59	10.15	2.11

Fuente: Banco de México, Informe Anual varios años; Indicadores básicos de tarjeta de crédito, varios años.

Datos Gráfica 1 | Gráfica1 | Datos Gráfica 2 | Gráfica 2

ista normal Listo



*Escriba a continuación el título del libro:

Investigación Permanente.

*Escriba a continuación el subtítulo del libro:

Avances de la Ciencia y la Tecnología para el Desarrollo Sostenible. Tomo V.

*Escriba a continuación los nombres de los coordinadores:

María de los Ángeles Camacho Ruiz

Silvia Elena Mota Macías

Itzel Celeste Romero Soto

Filiberto Briseño Aguilar

Haga clic o pulse aquí para escribir texto.

Índice

*Escriba los títulos de los capítulos y los nombres completos de sus autores (sin abreviaturas) en donde se indica:

Presentación

Prólogo

Introducción

Capítulo 1: Agricultura Urbana como medida de mitigación y adaptación al cambio climático., autores: Edwin Ortega Zuñiga.

Capítulo 2: Estrategias para la reducción del impacto ambiental: caso ruteo de vehículos, autores: Bryan Fernando Salcedo Moncada

Capítulo 3: Análisis del tráfico vehicular en Colotlán: estudio basado en simulaciones., autores: Ana Lucia Serrano Ochoa, Rachid Marzoug, Juan Pablo Astudillo León, Ana Rosa Carrillo Ávila, Leticia Lemus Cárdenas.

Capítulo 4: Pre-tratamiento de lodos residuales utilizando campo magnético y ultrasonicación, autores: Tania Gutierrez Macias, Edwin Aldair Reza Chavez, Alberto Esquivel Sotelo.

Capítulo 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, autores: Andreé Velázquez Maro, Raúl Balam Martínez Pérez, Lourdes Mariana Díaz Tenorio, Ana María Rentería Mexia.

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

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

Capítulo 8: Uso del bagazo de betabel como fuente de pigmentos naturales: Extracción de betalaínas y aplicación en tortillas de maíz, autores: César Alberto Roldán Cruz, Alejandro Martínez Velasco, Adriel Azuara Vicario, Abril Ramírez Higuera, Gabriela Blasco López.

Capítulo 9: Proyecto de Perforación de Pozo Profundo en el Municipio de Villa Guerrero, Jalisco, autores: Joseph Omar Gaeta González, Josefina Elizabeth Godínez Chavoya, José Manuel Núñez Olivera, Francisco Javier Ramos López, Rodolfo Cabral Parra.

Capítulo 10: Trabajadores migrantes wixaritari: participación ciudadana en la integración al espacio público en Colotlán, Jalisco, autores: Adriana Elizabeth Morales Sánchez, Víctor Vladimir Vega Morales, Fernando Manuel de la Torre Molina.

Sobre los autores

Presentación

*Redacte en el siguiente recuadro la presentación del libro:

Haga clic o pulse aquí para escribir texto.

Prólogo

*Redacte en el siguiente recuadro la presentación del libro:

Haga clic o pulse aquí para escribir texto.

Introducción

*Redacte en el siguiente recuadro la presentación del libro:

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, contribuyendo 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, configurando 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 CO_2, 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, poniendo énfasis 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 ultrasonicación" 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, identificando 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.

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.

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.

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

*Redacte a continuación el título del capítulo:

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

*Escriba a continuación los nombres completos,
sin abreviaturas, de los autores del capítulo:
Edwin Ortega Zuñiga

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, incluyendo 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 que han 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 la seguridad alimentaria en Palmira, considerando factores sociales, económicos y ambientales.

Palabras clave: agricultura, Desarrollo sostenible, seguridad alimentaria, desarrollo agrícola, Producción alimentaria

*Pegue a continuación todos los apartados de este capítulo, incluyendo las figuras y tablas. Para darle formato, apóyese de los lineamientos que se indican en la página 3 de este documento.

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, explorando las causas del desabastecimiento de alimentos en la región y proponiendo estrategias para fortalecer la producción local y garantizar la seguridad alimentaria, discutiendo los desafíos y oportunidades que enfrentan los pequeños productores, así como el potencial de la agricultura urbana como complemento a la producción tradicional.

Metodología

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

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 por qué detrás de los resultados, analizando entrevistas y observaciones para comprender las percepciones de los agricultores y las dinámicas sociales involucradas, ofreciendo así una visión integral y holística. Por otro lado, el enfoque descriptivo se manifiesta en la presentación detallada de los procesos, resultados y contexto de las investigaciones, utilizando 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, construyendo narrativas detalladas de los procesos y resultados. Finalmente, se llevó a cabo una reflexión teórica relacionando 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 obteniendo 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.

Variable	Resultado	Descripción y soporte científico
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, evidenciando 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, Villar, Puerta, & Berrocal, 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 & 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 & 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, Elena , & Solano León, 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 & Triana Ancinez, 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 & Acevedo-González, 2020)
Practicas 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.

Tabla 1 caracterización socioeconómica de pequeños agricultores de PalmiraFuente: 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, abordando 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 secretaria 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 secretaria 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 en 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. Siguiendo las recomendaciones de la FAO sobre el fomento de compras públicas locales (Bravo, Sotomayor Echenique, & Nanno , 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, contribuyendo 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, asegurando así la sostenibilidad y el impacto a largo plazo del proyecto.

Ilustración 1 Afiche ruedas de negocios regionales

Fuente: Universidad Pontificia Bolivariana

Agricultura urbana

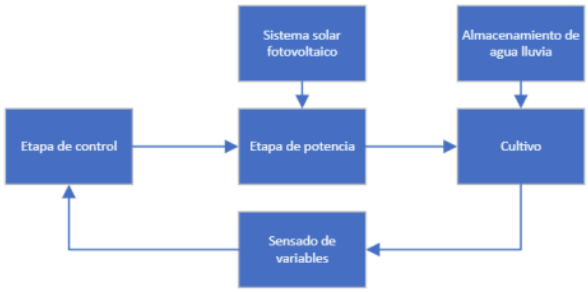
Por su parte, la variabilidad climática está generando desafíos significativos para los agricultores de la zona. El desplazamiento de los pisos térmicos en la ladera de la montaña está provocando una disminución en la productividad de los cultivos tradicionales, e incluso imposibilitando su cultivo en 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 implicaciones 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 Calahorrano, 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. Concluyendo 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. ara 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, integrando 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, asegurando 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 utilizando tecnologías de código abierto y aprendizaje automático. (Chanchí Golondrino, Manuel Alejandro , & Saba, 2022).

Ilustración 2 Diagrama de bloques del sistema



Fuente: 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, facilitando así el análisis de los datos experimentales.

Ilustración 3 piloto de producción de agricultura urbana

Fuente: propia

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 períodos de sequía. Además, el riego por goteo optimizó la distribución del agua, minimizando las pérdidas por evaporación y mejorando la eficiencia del sistema.

Ilustración 4 piloto de producción de agricultura urbana 2

Fuente: 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 2 producción en kilos de un punto en un ciclo productivo

Especie	***Peso (g)***
Tomate Cherry	*3095*
Tomate Chonto	*19560*
Acelga	*3866*
Habichuela	*74*
Pimentón	*267*
	26862

Fuente: Elaboración 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 por 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

*Coloque aquí sus referencias en formato APA 7:

Arriagada, I., & Noordam, J. (1982). Las mujeres rurales latinoamericanas y la división sexual del trabajo. Las trabajadoras del agro II. Bogota: CEPAL.

Bravo, E., Elena , O., & Solano León, E. (2023). Inequidad en la educación rural en Colombia: Revisión de literatura. Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, 7257-7274.

Bravo, H., Sotomayor Echenique, O., & Nanno , M. (2022). Programas de compras públicas a los agricultores familiares¿ Un nuevo canal de ventas para el comercio justo? Santiago: FAO.

Chanchí Golondrino, G., Manuel Alejandro , O., & Saba, M. (2022). Sistema IoT para el monitoreo de variables climatológicas en cultivos de agricultura urbana. Revista científica 44, 257-271. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0124-22532022000200257&script=sci_arttext

DANE. (2014). Censo Nacional Agropecuario. Bogota: Departamento Administrativo Nacional de Estadística.

Flórez, C., Villar, L., Puerta, N., & Berrocal, L. (2015). El proceso de envejecimiento de la población en Colombia: 1985-2050. Bogota: Fundación Saldarriaga Concha.

Guzmán, M. (2023). ANÁLISIS DEL SECTOR AGROPECUARIO EN EL PND. COLOMBIA POTENCIA MUNDIAL DE LA VIDA. Revista Nova, 47-56.

Huertas, R. d., & Triana Ancinez, B. (2024). "Reforma agraria y sistemas de tenencia de la tierra: una difícil relación. Bogota: CAPAZ.

Jara, O. (2012). La sistematización de experiencias. Práctica y teoría para otros mundos posibles. Bogota: Javegraf.

Múnera-Ramírez, R., & Acevedo-González, G. (2020). Aproximación a un sistema asociativo de comercialización para productos agrarios de pequeños y medianos productores. Revista lasallista de investigacion, 162-176.

Ocampo, O. (2011). El cambio climático y su impacto en el agro. Revista de ingeniería, 115-123.

Perry, S. (2010). La pobreza rural en Colombia." Programa Conocimiento y Cambio en Pobreza Rural y Desarrollo. Bogota: RIMISP.

Risueño Calahorrano, P. (2020). La agricultura urbana como medida de mitigación al cambio climático en San Antonio de Pichincha en el año 2020. Quito: FLACSO. Obtenido de https://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/16806/2/TFLACSO-2020PMRC.pdf

Salcedo, S., & Guzmán, L. (2014). Agricultura familiar en América Latina y el Caribe: recomendaciones de política. Santiago: FAO.

Valent , J., Oliveira, L., & Dornelles Valent, V. (2017). Agricultura urbana: o desenvolvimento de um projeto social. Desenvolvimento Regional em debate, 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, 461-477.

*Redacte a continuación el título del capítulo:

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

*Escriba a continuación los nombres completos, sin abreviaturas, de los autores del capítulo:

Bryan Fernando Salcedo Moncada

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 (NOX) 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 como 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 150 segundos en casos de prueba de tamaño considerable; 50 clientes. Confirmando así la eficiencia y eficacia del algoritmo.

Palabras clave: PRP, Flota Heterogénea, Ventanas de Tiempo, Búsqueda Tabú.

*Pegue a continuación todos los apartados de este capítulo, incluyendo las figuras y tablas. Para darle formato, apóyese de los lineamientos que se indican en la página 3 de este documento.

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 reduciendo las distancias dentro o fuera de las naciones, llevando 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, creando 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).

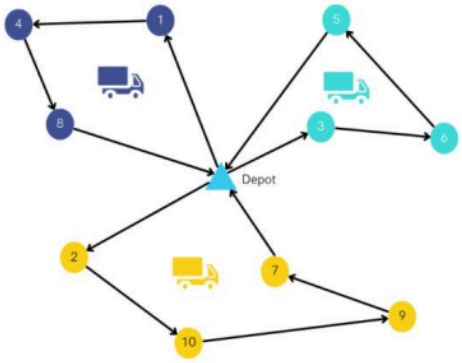
No obstante, (Fukasawa et al., 2016) señala al sector transporte como uno de los principales responsables de la contaminación atmosférica a partir del consumo de combustibles fósiles. United States Environmental Protection Agency (EPA), a través de su inventario de emisiones y disipadores de gases de 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 (United States Environmental Protection Agency (EPA), 2022). Así entonces, teniendo 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 (Vehicule Routing Problem, VRP) (Naderipour & 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 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 1. Forma gráfica del Vehicule Routing Problem (VRP).



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 Zúñiga 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 1.

Tabla 1: Siglas por tipo de VRP.

Sigla	Significado
CVRP	*Capacited Vehicule Routing Problem* (VRP con limitación básica de capacidad)
DCVRP	*Distance and capacited Vehicule Routing Problem* (VRP con distancia y capacidad limitada)

VRPTW	*VRPTW Vehicule Routing Problem with Time windows* (VRP con ventanas de tiempo)
VRPB	*Vehicule Routing Problem with backhauls* (VRP con viajes de regreso)
VRPPD	*Vehicle Routing Problem Pickup and Delivery* (VRP con recogida y entrega)
OVRP	*Open Vehicule Routing Problem* (VRP abierto)
MDVRP	*Multiple-Depot Vehicule 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)

Tabla 1: Siglas por tipo de VRP.Elaboración propia

En vista de las preocupaciones ambientales, las investigaciones buscan alternativas para el enrutamiento han propuesto el denominado (Green-Vehicule 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 & 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 mencionado, 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 metaheurística 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, NOX 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 en la planificación y gestión de la logística de distribución, convirtiéndose 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 CO2, NOX 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 Contaminación 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 atendiendo 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_X 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 *Cj* 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: (CO_2), el dióxido de nitrógeno (NO_X) 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, 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_X 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_X y CO respectivamente. Por su parte *v* indica la velocidad del vehículo *[km/h]*, *y* indica el gradiente de la carretera *[%]*, finalmente *x* indica la relación entre la carga del vehículo y su capacidad entre nodos [*0, 1*]. Finalmente el costo monetario de los tres contaminantes es calculado con base en donde un gramo de emisión equivale a 0,000027 dólares (Bektaş & Laporte, 2011).

En la Tabla 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: Emisiones calculadas para cada conjunto de instancias.

Instancia	Promedio de CO_2	Promedio de NOx	Promedio de CO	Promedio de Emisiones totales
15C	4.554,72	41,14	27,03	980.268,77
50C	15.083,34	136,38	88,25	3.289.893,62
75C	25.083,23	227,97	141,64	5.536.150,14
100C	36.551,91	334,89	197,79	8.283.892,02
150C	56.209,59	516,11	300,62	12.893.951,01

Elaboración propia

La Tabla 2 permite evidenciar la relación de kilogramos del tipo de GEI por cada kilómetro recorrido, el cual es notoriamente mayor para el CO_2, 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, Z. and Fogel, 1999). El fitness se define como la suma de los costos de usar los diferentes tipos de vehículos, costos de los conductores y de las emisiones liberadas al medio ambiente, 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 teniendo en cuenta el pago a conductores, los costos fijos de uso de los vehículos y el costo de emisión de los contaminantes medidos y el tiempo promedio para ejecutar el algoritmo. En la Tabla 3 se pueden apreciar estos resultados.

Tabla 3: Resultados de la metaheurística para cada conjunto de instancias.

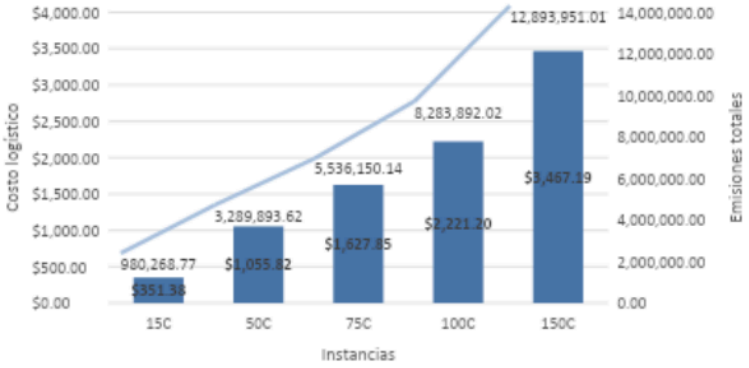
Instancia	**Promedio de Costo Total (*$USD*)**	**Promedio de Distancia (*km*)**	**Promedio de Total Vehículos (*und*)**	**Promedio de Tiempo total (*s*)**
15C	351,38	948,18	4,00	9,15
50C	1.055,82	2.656,17	12,00	150,34
75C	1.627,85	4.047,58	18,00	416,40
100C	2.221,20	5.444,53	24,00	987,33
150C	3.467,20	8.353,22	40,00	3.134,58

Elaboración propia

Como se observa en la Tabla 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 se puede comparar los costos totales según el conjunto de instancia y el total de emisiones liberadas a la atmósfera.

Figura 2. Emisiones totales y costo logístico por instancia.

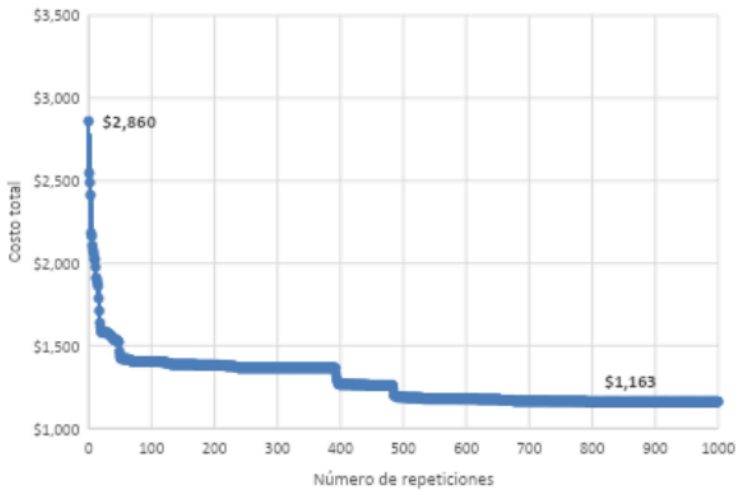


Elaboración propia

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



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_X y el CO para su respectiva medición de emisiones seleccionado considerando: 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, 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

*Coloque aquí sus referencias en formato APA 7:

Aithor. (2023). La influencia de los vehículos en el desarrollo económico de las ciudades. Recuperado de https://aithor.com/essay-examples/la-influencia-de-los-vehiculos-en-el-desarrollo-economico-de-las-ciudades

Abdi, A., Abdi, A., Akbarpour, N., Amiri, A. S., & 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

Arboleda Zúñiga, J., Gaviria-Gómez, J. A., & 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., & 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., & Van Nieuwenhuyse, I. (2016). The vehicle routing problem: State of the art classification and review. Computers and Industrial Engineering, 99(1964), 300–313. https://doi.org/10.1016/j.cie.2015.12.007

Departamento Nacional de Planeación (DNP). (2020). Encuesta Nacional Logística. In Gobierno Nacional de Colombia.

Erdoĝan, S., & 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., & 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

Gutiérrez-Padilla, M. V., Morillo-Torres, D., & 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

Hitckman. Project Report Se / 491 / 98 Methodology for Calculating Transport Emissions. (3011746), 1999

Kramer, R., Subramanian, A., Vidal, T., & 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., & 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., & 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., & 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. In The Computer Journal (Vol. 53, Issue 8). https://doi.org/10.1093/comjnl/bxp121

Michalewicz, Z. and Fogel, D. B. (1999). How to Solve It - Modern Heuristics.

Moryadee, C., Aunyawong, W., & 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., & Alinaghian, M. (2016). Measurement, evaluation and minimization of CO2, NOx, and CO emissions in the open time dependent vehicle routing problem. Measurement: Journal of the International Measurement Confederation, 90(x), 443–452. https://doi.org/10.1016/j.measurement.2016.04.043

Nguyen, P. K., Crainic, T. G., & 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., & 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., & Moreno Vega, J. M. (2004). Metaheurísticas: Una revisión actualizada. Universidad de La Laguna, España: Departamento de Estadística, Investigación Operativa y Computación.

United States Environmental Protection Agency (EPA). (2022). Inventory of U.S. Greenhpuse Gas Emissions and Sinks: 1990-2020.

*Redacte a continuación el título del capítulo:

Capítulo 3. Análisis del tráfico vehicular en Colotlán: estudio basado en simulaciones.

*Escriba a continuación los nombres completos, sin abreviaturas, de los autores del capítulo:

Ana Lucia Serrano Ochoa

Rachid Marzoug

Juan Pablo Astudillo León

Ana Rosa Carrillo Ávila

Leticia Lemus Cárdenas

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, trayendo 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. 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 ha planteado para desarrollarse en dos etapas: la aplicación de Encuestas Origen-Destino (EOD) para recopilar datos de los patrones de viaje 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 CO_2 están cerca de los límites permitidos, mientras que los niveles de ruido en

horas pico superan los valores aceptables, pudiendo 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 CO_2, Mejora

*Pegue a continuación todos los apartados de este capítulo, incluyendo las figuras y tablas. Para darle formato, apóyese de los lineamientos que se indican en la página 3 de este documento.

Introducción

La seguridad vial y la movilidad urbana son esenciales para el bienestar de las personas, ofreciendo 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, afectando negativamente la calidad de vida de los ciudadanos (Thomson et al., 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 afectando principalmente a motocicletas y automóviles particulares, teniendo una tasa de accidentes de 0.35% en el 2022, superando la media estatal de 0.165% (INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía, 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 (Quesada & Certificación, 2009).

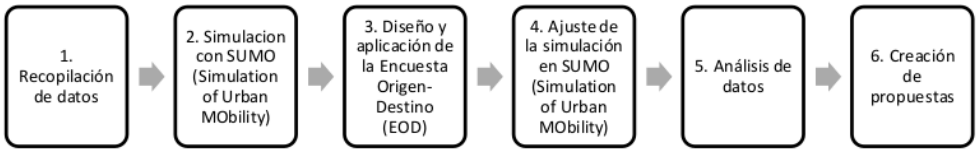
Este trabajo se alinea con los ODS 11 y 13, los cuales promueven las ciudades sostenibles y acción contra el cambio climático. Un transporte eficiente reduce accidentes, emisiones de CO_2, ruido y congestión, mejorando la calidad de vida y contribuyendo a la lucha contra el cambio climático (Naciones 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 medio ambiente 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 explicaran 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 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, permitiendo una evaluación precisa de la situación actual y la propuesta de soluciones eficientes.

Figura 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 CO_2 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 solucione para mejorar la movilidad y la seguridad vial en la ciudad.

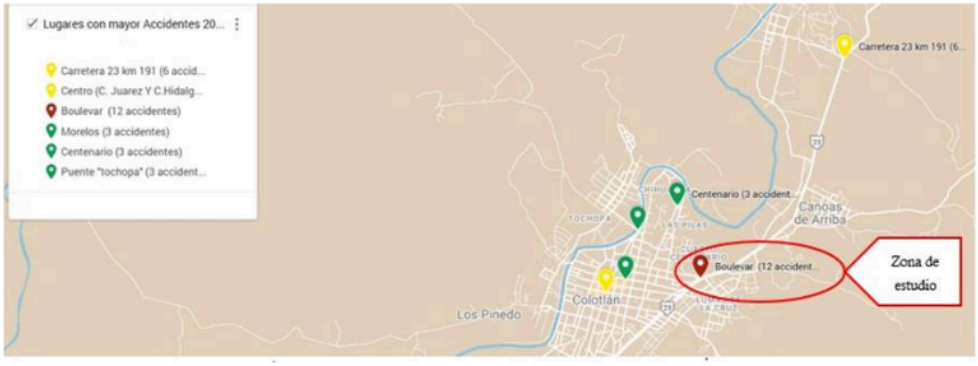
Métodos Utilizados

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.

Figura 2. Mapa de detección de accidentes viales en Colotlán Jalisco (2021-2023)



Fuente: Datos históricos del Departamento de Tránsito de Colotlán Jalisco. Elaboración Propia https://www.google.com/maps/d/edit?mid=1noapyDvMoJ6fXYzKiQsGlbjPRchKA9Q&usp=sharing

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

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 muestra la zona de estudio en el bulevar de Colotlán, resaltada con los flujos de tránsito vehicular, identificando 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. 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 1.

Tabla 1. Clasificación y conteo de tráfico vehicular en Colotlán Jalisco el día 20/Mar/2024 (Miércoles) a las 2pm

Origen	***Destino***	***Tipo de vehículo (veh/hr)***				***Total (veh/hr)***
		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**
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

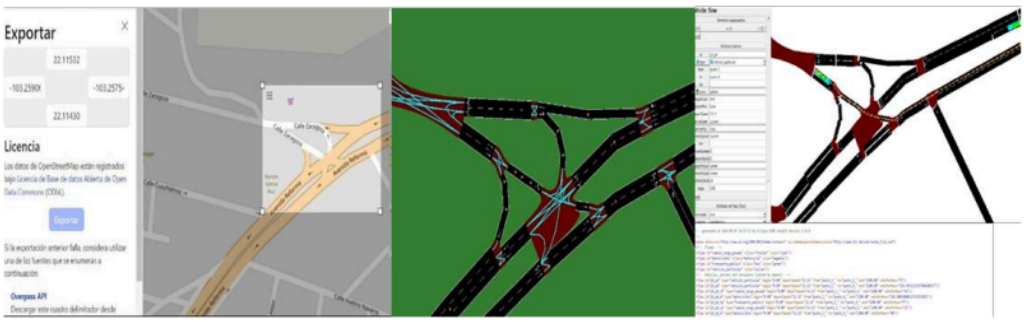
Esta información recopilada en tiempo real proporciona una visión integral del tráfico en Colotlán. Posteriormente, estos datos son utilizados como insumos para la simulación en la siguiente fase de la metodología.

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, integrando datos de OpenStreetMap. Este simulador se utiliza para analizar movilidad, emisiones y consumo de combustible, apoyando estudios de tráfico y planificación urbana (Lopez 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 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 4.a] para el mapa con la red de carreteras a simular. El mapa con su infraestructura vial una vez cargado en el simulador [Figura 4.b] con los sentidos de flujo vehicular es posible agregar el número de vehículos calculados previamente para cada una de las rutas identificadas [Figura 4.c]

Figura 4. Configuración del escenario realista en el simulador de la zona de estudio



4.a) Extracción de red de carreteras por medio de OpenStreetMap

4.b) Configuración de la zona de estudio en SUMO

4.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, asegurando 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 CO_2 generadas por los vehículos.

La Tabla 4, 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 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, generando la oportunidad de hacer modificaciones a fin de evaluar 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 CO_2, 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, abordando 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 (ver la Figura 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.

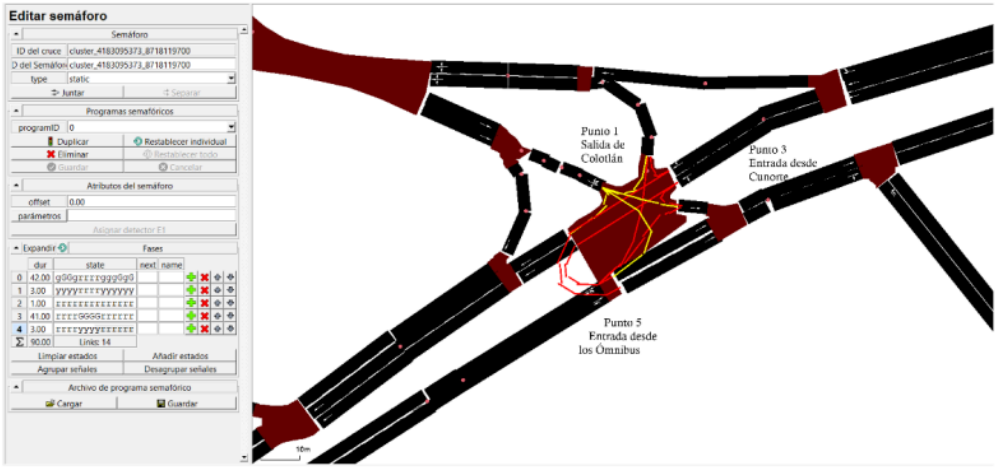
Una vez configurado el escenario realista en el simulador, ajustado con los datos obtenidos de las grabaciones y validado con la información recolectada a través de la encuesta, se establece una base sólida para simular la movilidad de la zona de estudio. A

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 Congora & Arias Palomino, 2024). La Figura 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 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 se muestra la configuración aplicada del semáforo.

Tabla 3. Configuración del ciclo de semaforización de 90 segundos

No. Fase	Tiempo (seg)	Estado	Descripción
1	41,00	g GG rrgg GG	Luz verde prolongada para las fases 2 y 3.
2	3.00	yyyrryyyy	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	rrryyyryy	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 ajustando dinámicamente los tiempos de luz verde según la demanda vehicular registrada en cada ruta. Investigaciones, como la de Jiménez (2011), han demostrado que este enfoque reduce la congestión, aumenta la velocidad promedio, mejora la experiencia de los conductores y disminuye las emisiones de CO_2. Los parámetros de esta configuración se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Configuración del ciclo de semaforización de 60 segundos bajo demanda vehicular

No. Fase	Tiempo (seg)	Estado	Descripción
1	16.00	rrrGGGrGG	Luz verde que favorece rutas secundarias en dos direcciones.
2	1.00	rrryyyryy	Transición amarilla para cesar el movimiento en una intersección específica.
3	1.00	yyyrrrryy	Luz amarilla como advertencia antes del cese total del movimiento.
4	17.00	GGGrrrrGG	Luz verde prolongada para rutas principales.
5	1.00	yyyrrrryy	Transición amarilla para rutas principales.
6	1.00	rrrrryyyy	Breve advertencia amarilla antes del cese del flujo.
7	22.00	rrrrrGGGG	Luz verde para rutas menos transitadas, evitando largos tiempos de espera.
8	1.00	rrryyGyGG	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.

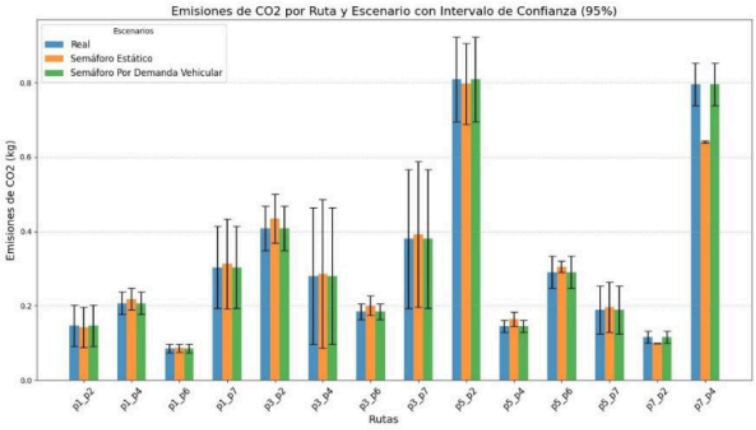
El análisis y evaluación consiste en la revisión de tres escenarios; el escenario real (Escenario 1) y dos propuestas con un sistema de semáforos (Escenario 2 y Escenario 3) midiendo el tiempo de espera acumulado de los vehículos al transitar por la zona, las emisiones CO_2 y los niveles de ruido.

A continuación, se detallan los resultados obtenidos de los escenarios:

Emisiones de CO_2

Los resultados sobre las emisiones de CO_2, en el Escenario 1, correspondiente a la situación actual, presenta un total de 301,19 kg con una concentración de 1533 ppm, superando el límite de 1000 ppm que es considerado perjudicial para la salud (Unión Europea, 2015). En comparación, el Escenario 2 registra 368,28 kg y 1873 ppm, mientras que el Escenario 3 alcanza hasta 360,7 kg y 1834 ppm. La comparación de estos tres escenarios en las diversas rutas puede observarse en la Figura 6. Aunque el Escenario 2 muestra una disminución en la ruta del punto 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 CO_2 y mejorar la calidad.

Figura 6. Comparación de los diversos escenarios en cuanto a las emisiones de CO_2



Fuente: Elaboración propia

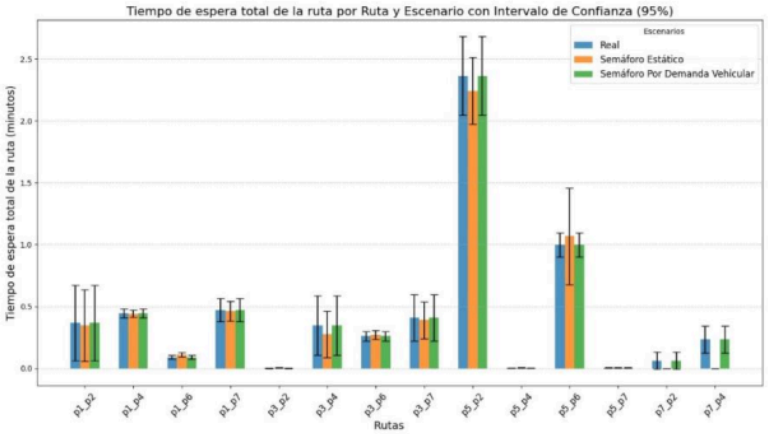
Niveles de ruido

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), 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 (Organización Mundial de la Salud, 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 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 7. Tiempo de espera por vehículo en cada ruta (min)



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 CO_2 y los niveles de ruido, superando los límites recomendados por la Organización Mundial de la Salud (OMS), lo que puede tener un impacto negativo en la salud pública y la calidad de vida de la población.

E n 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 estar contribuyendo 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 de cómo intervenir en la infraestructura vial de manera efectiva y sostenible, ajustando las soluciones a las necesidades específicas de cada ruta.

Referencias

*Coloque aquí sus referencias en formato APA 7:

Akhter, S., Ahsan, Md. N., Quaderi, S. J. S., Forhad, Md. A. Al, Sumit, S. H., & 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

Centro Aeroespacial Alemán. (2024). SUMO de un vistazo. Https://Sumo.Dlr.de/Docs/SUMO_at_a_Glance.Html.

INEGI (Instituto Nacional de Estadistica y Geografia. (2020). Accidentes de tránsito terrestre en zonas urbanas y suburbanas 2021. Https://Www.Inegi.Org.Mx/App/Buscador/Default.Html?Q=accidentes+viales.

Jiménez, M. (2011). SISTEMA ADAPTATIVO DE CONTROL Y OPTIMIZACIÓN DEL TRÁFICO DE UN CORREDOR VIAL SEMAFORIZADO. APLICACIÓN A LA CIUDAD DE MEDELLÍN ADAPTIVE CONTROL SYSTEM AND OPTIMIZATION OF ROAD TRAFFIC IN A SIGNALIZEDCORRIDOR APPLICATION TO THE CITY OF MEDELLIN IVÁN SARMIENTO. 78, 71–78.

Lopez, P. A., Wiessner, E., Behrisch, M., Bieker-Walz, L., Erdmann, J., Flotterod, Y.-P., Hilbrich, R., Lucken, L., Rummel, J., & Wagner, P. (2018). Microscopic Traffic Simulation using SUMO. 2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), 2575–2582. https://doi.org/10.1109/ITSC.2018.8569938

PIMUS. (2017). Encuesta origen-destino, Plan Integral de la Movilidad Urbana Sostenible. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.implantepic.gob.mx/descarga/PIMUS/Encuesta%20origen-destino.pdf

Valentin Congora, N. A., & Arias Palomino, J. F. (2024). Propuesta de semaforización adaptativa en la intersección de la Av. Tomas Valle con la Carretera Panamericana Norte para mitigar la demora vehicular y peatonal mediante Micro simulación. Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC). http://hdl.handle.net/10757/674459

Organizacion Mundial de la Salud. (2022, March 2). La OMS publica una nueva norma para hacer frente a la creciente amenaza de la pérdida de audición.

Https://Www.Who.Int/Es/News/Item/02-03-2022-Who-ReleasesNewStandard-to-Tackle-Rising-Threat-of-Hearing-Loss.

Quesada, J. L. D., & y Certificación, A. E. de N. (2009). Huella ecológica y desarrollo sostenible. Aenor.

Thomson, I., Bull, Alberto., & United Nations. Economic Commission for Latin America and the Caribbean. Transport and Communications Division. (2001). La congestión del tránsito urbano : causas y consecuencias económicas y sociales. Naciones Unidas, Comisión Económica para América Latina y el Caribe, División de Recursos Naturales e Infraestructura, Unidad de Transporte.

Unión Europea. (2015). Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA). Https://European-Union.Europa.Eu/Institutions-Law-Budget/Institutions-and-Bodies/Search-All-Eu-Institutions-and-Bodies/European-Environment-Agency-Eea_es#:~:Text=La%20Agencia%20Europea%20de%20Medio,Medioambientales%20y%20clim%C3%A1ticos%20de%20Europa.

*Redacte a continuación el título del capítulo:

Capítulo 4. Pre-tratamiento de lodos residuales utilizando campo magnético y ultrasonicación

*Escriba a continuación los nombres completos, sin abreviaturas, de los autores del capítulo:

Tania Gutierrez Macias

Edwin Aldair Reza Chavez

Alberto Esquivel Sotelo

Haga clic o pulse aquí para escribir texto.

Resumen

Los pre-tratamientos 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 pre-tratamiento. 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 pre-tratamiento con campo magnético se utilizaron imanes permanentes de neodimio (2 y 6) con una densidad magnética de 5000 G y una velocidad de paso de 13.2 mL·s-1. Posteriormente, para el pre-tratamiento con ultrasonicación se utilizó un ultrasonicador 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 pruebas de pre-tratamiento y se obtuvieron remociones de hasta un 26% de ST y hasta un 50% de DQO. En conclusión, el uso de los pre-tratamientos permite el rompimiento celular de la materia orgánica y fomenta su remoción.

Palabras clave: Neodimio, campo magnético, ultrasonicación.

*Pegue a continuación todos los apartados de este capítulo, incluyendo las figuras y tablas. Para darle formato, apóyese de los lineamientos que se indican en la página 3 de este documento.

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 (UNHABITAT 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 en algunas plantas de tratamiento de aguas residuales municipales (PTAR), no se les da el tratamiento y/o disposición final de los lodos residuales (Mantilla, 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 utilizado 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 (CH4) y dióxido de carbono, así como reducir el peso y volumen de lodos, lo cual a su vez fomenta los costos de disposición (Mantilla, 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 pre-tratamiento 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 pre-tratamiento 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 pre-tratamientos 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 (Zieliński et al., 2018; Zhang et al., 2021). 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; Sarvenoei et al., 2018; Qu et al., 2020; Zhao et al., 2020; Zhang et al., 2021) sustentable y amigable con

el ambiente, por lo cual cada vez son más las investigaciones relacionadas (Guan et al., 2017; Sarvenoei et al., 2018; Qu et al., 2020; Zhao et al., 2020; Zhang et al., 2021). 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 ultrasonicación (UL) como pre-tratamiento.

Metodología

Los lodos residuales utilizados en el presente estudio fueron proporcionados por una PTAR ubicada en Cuernavaca, Morelos con una capacidad de 750 L·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 cuarto frío en temperatura 4°C en la planta piloto del IMTA para posteriormente llevar a cabo su caracterización

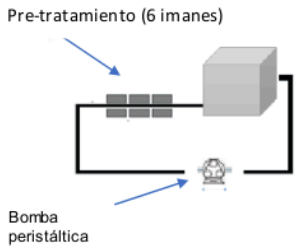
Pre-tratamiento del lodo

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

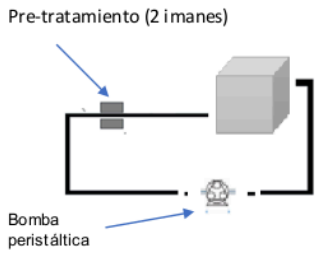
Sistema experimental de CM

Para el pre-tratamiento 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 mL·s-1 (Figura 1). La intensidad de campo magnético se midió con un gausimetro marca LakeShore, modelo 410.

Figura 1. Sistema experimental de pre-tratamiento con CM.



a) Sistema de 6 imanes



b) sistema de 2 imanes

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 pre-tratamiento 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

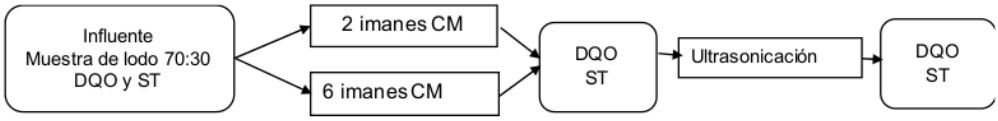
Con el objetivo de determinar las mejores remociones tanto de DQO como de ST se realizó un diseño de experimentos Diseño factorial $2^{\wedge 3}$, utilizando como variables, tiempo de contacto del CM, el número de imanes y el tiempo de UL, evaluando 2 niveles alto y bajo, usando el programa estadístico Statgraphics. En la Tabla 1 se presentan las variables descritas.

Tabla 1. Diseño de experimentos Diseño factorial $2^{\wedge 3}$.

Variables	**Tiempo de contacto CM**		**N° de imanes**		**Ultrasonicacion**	
Niveles	15 min	30 min	2 imanes	6 imanes	20 min	30 min

Para el análisis de los resultados de las pruebas de pre-tratamiento 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 2 se presenta de manera esquemática lo anterior a fin de determinar la remoción en cada uno de las etapas de operación.

Figura 2. Esquema del tren de pre-tratamiento



Resultados y discusión

En la Tabla 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}.

Parámetro	Valor
DQO_t (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 (grCaCO·mL^{-1})	4.3
pH	6.4
Conductividad (mS·cm^{-1})	3.34

Los resultados del diseño factorial 2^3 realizado con el software Statgraphics, se presentan en la Tabla 3 y se puede observar que en total se determinaron 8 pruebas de pre-tratamiento 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 N° de imanes fue de 2 imanes y en tiempo de ultrasonicación fue de 30 min. una vez obtenido el análisis estadístico, se procedió a realizar cada una de las pruebas, realizando DQO y ST

Tabla 3. Diseño de experimentos.

Variables	**TC CM**		**N° 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

En la Tabla 4 se presentan los resultados ST y DQO de las diferentes pruebas realizadas. Partiendo de una concentración inicial del lodo sin pre-tratamiento de ST de 59,518 $mg \cdot L^{-1}$, en la prueba 1 donde el lodo fue sometido a CM por 15 min se observó una remoción de un 13 % de ST, lo cual corresponde a una concentración de 51,881 $mg \cdot L^{-1}$ de los mismos. Posteriormente el lodo efluente del CM fue pre-tratado con UL durante 20 min y como resultado se obtuvo una concentración de 43,958 $mg \cdot L^{-1}$de ST, dando 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 pre-tratamientos 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 pre-tratamiento 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 $mg \cdot L^{-1}$ y de UL de 37,809 $mg \cdot L^{-1}$ 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 ultrasonicación 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 pre-tratamiento.

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 remocion 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 pre-tratamiento de CM y UL para el tratamiento de lodo residual es una tecnología que presenta remociones de hasta 48% DQO y ST utilizando 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.

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

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

Tabla 4. Resultados de DQO, ST y sus remociones en el tren de pre-tratamiento

Parámetro	**Combinación**	**ST ($mg \cdot L^{-1}$)**	**Remoción (%)**	**DQO ($mg \cdot L^{-1}$)**	**Remoción (%)**
	Influente (Mezcla)	59,518		58,200	
Pruebas		**2 imanes + UL**			
1	15 CM	51,881	13	56,145	4
	15CM + 20 UL	43,958	15	32,267	42
	Total		28		46
2	15CM	49,353	17	56,824	2
	15CM+30UL	39,106	21	26,600	53
	Total		38		55

3	30 CM	46,648	22	35,923	38
	30CM + 20UL	45,850	2	24,978	30
	Total		24		68
4	30CM	34,883	41	30,614	47
	30CM + 30UL	37,809	0	30,536	0.2
	Total		41		47
			6 imanes + UL		
5	30CM	50,963	14	32,306	44
	30CM + 30UL	52,130	0	30,469	6
	Total		14		50
6	30 CM	51,784	13	32,232	44
	30 CM + 20UL	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

Referencias

*Coloque aquí sus referencias en formato APA 7:

Guan, S., Deng, F., Huang, S., Liu, S., Ai, L., 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 Yoval, 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.

NOM-004-SEMARNAT-2002 (NORMA Oficial Mexicana): Protección ambiental - Lodos y biosólidos- Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. SEMARNAT, México.

Pilli, S., Bhunia, P., Yan, S., LeBlanc, R. J., Tyagi, R. D., Surampalli, R. Y. (2011). Ultrasonic pretreatment of sludge: a review. Ultrasonics sonochemistry, 18(1), 1-18.

Pilli, S., Yan, S., Tyagi, R. D., Surampalli, R. Y. (2016). Anaerobic digestion of ultrasonicated sludge at different solids concentrations-Computation of mass-energy balance and greenhouse gas emissions. J. of environmental management, 166, 374-386.

Qu, G., Lv, P., Cai, Y., Tu, C., Ma, X., 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 combinated magnetic field and CO2 injection as a pretreatement prior anaerobic digestion. Journal of Cleaner Production. 172: 2182-2194.

Zhang, Z., Zhang, Y., Ming, W., Zhang, Y., Cao, C., 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., 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., Hajduk, A. (2018) Influence of static magnetic field on sludge properties. Science of the Total Environment. 625: 738–742.

*Redacte a continuación el título del capítulo:

Capítulo 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

*Escriba a continuación los nombres completos, sin abreviaturas, de los autores del capítulo:

Andreé Velázquez Maro

Raúl Balam Martínez Pérez

Lourdes Mariana Díaz Tenorio

Ana María Rentería Mexia

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 anti-obesidad, a partir de inhibidores de lipasas digestivas obtenidos principalmente de fuentes naturales, esto debido a que algunos metabolitos secundarios de plantas, tales como los compuestos fenólicos tienen la capacidad de inhibir la actividad de la lipasa pancreática. En este trabajo se busca evaluar la producción de enzimas y las propiedades bioactivas del fruto de la pingüica (*Ehretia tinifolia*) para verificar su capacidad inhibitoria enzimas lipasas. Para esto, se cuantificó la concentración de proteínas solubles y azúcares reductores en los extractos del fruto, se cuantifico 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 ± 3.06 % y 26.6 ± 2.1 % en los estadios de madurez y senescencia respectivamente.

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

*Pegue a continuación todos los apartados de este capítulo, incluyendo las figuras y tablas. Para darle formato, apóyese de los lineamientos que se indican en la página 3 de este documento.

Introducción

La obesidad es uno de los principales problemas de salud a nivel mundial, un trastorno metabólico, el cual es caracterizado por el exceso de grasa corporal, se considera uno de los principales factores de riesgo para el desarrollo de enfermedades cardiovasculares, 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; Winkler et al, 1990, Lowe, 1997).

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 (Heck et al., 2000; Carrière et al., 2001; Zhang et al., 2008). Por lo tanto, una de las crecientes estrategias para el descubrimiento de medicamentos anti-obesidad es la búsqueda de potentes inhibidores de lipasas en diferentes extractos de plantas, debido a que existen una variedad de compuestos bioactivos presentes 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

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:

$$Unidades\ de\ absorbancia = Am - Ab\ (1)$$

Donde, Am representa la absorbancia de la muestra y Ab, representa la absorbancia del blanco.

$$Actividad\ proteasa\ (U/mL) = \frac{Abs/min}{mL}\ (2)$$

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 zimogrmas de actividad

Para la cuantificación de actividad lipasa se utilizó 4-nitrofenil laurato en terbutanol (10 mM) como sustrato, y registro 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). Para 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 incubo en 50 mL de buffer Na_2HPO_4/NaH_2PO_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 Na_2HPO_4/NaH_2PO_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 almaceno 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 liquida, 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 incubo 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 pancreática porcina y moléculas inhibitorias se incubaron durante 1 h a temperatura ambiente (25 °C), posteriormente se cuantifico la actividad lipasa de acuerdo a la metodología de cuantificación de actividad lipasa con el método descrito por Mateos-Díaz (2012). El porcentaje de inhibición fue determinada por la siguiente ecuación:

$$\%\ de\ inhbición = \frac{(Alc)-(Alm-Alc)}{Alc} * 100 \quad (3)$$

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

Resultados y discusión

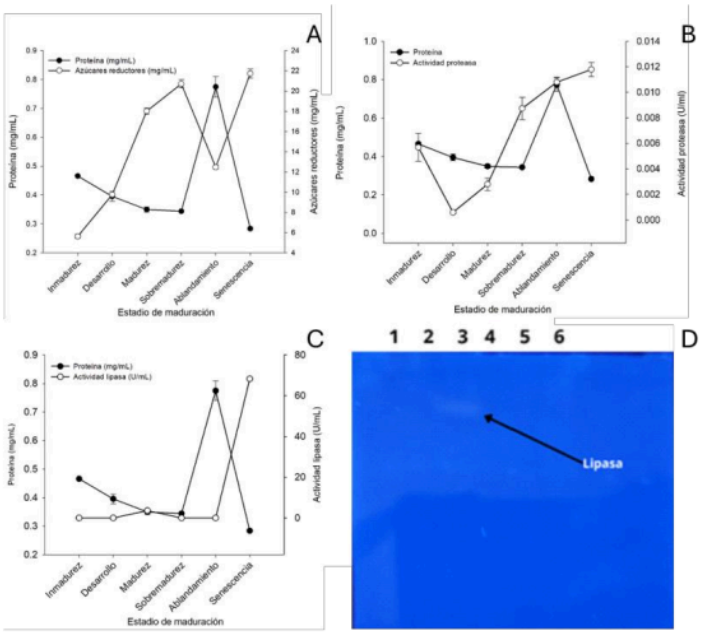
Cuantificación de proteína y azúcares reductores

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), donde señala que los frutos de *E. tinifolia* tienen un contenido de proteína del 16.5% y un 65% de carbohidratos en base seca Figura 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, alcanzando su máximo en la senescencia del fruto y disminuyendo 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 1B se muestra la actividad proteolítica en los extractos analizados, destacándose que el estado de senescencia presentó la mayor actividad 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 1. Análisis de extractos enzimáticos de Ehretia tinifolia. 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 µg). (2) Desarrollo (3.95 µg). (3) Madurez (3.49 µg). (4) Sobremadurez (3.44 µg). (5) Ablandamiento (7.74 µg). (6) Senescencia (2.83).



Fuente: elaboración propia.

Actividad lipasa y zimogramas

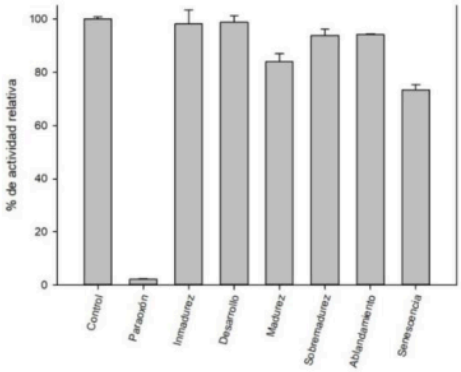
En la Figura 1C se muestra la relación entre concentración de proteínas y actividad lipasa durante los estadios de madurez del fruto. Los resultados se comparan con el estudio de Henderson y Osborne (1991), quienes analizaron la actividad lipasa en *Elaeis guineensis* utilizando como sustrato glicerol 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 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, en el carril 6 que corresponde al estadio de senescencia no presenta ningún resultado visible en el zimograma, siendo el estadio que mayor actividad lipasa tuvo en los ensayos *in vitro*.

Inhibición de enzimas lipasas

La figura 2 muestra que únicamente el estadio de madurez y el de senescencia del fruto *E. tinifolia* presentaron una inhibición significante sobre la lipasa pancreática porcina. Este efecto pudiera atribuirse a la presencia ácido rosmarínico (IC_{50}: 347.5 µM) (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 ± 1.8%, 35 ± 0.8%, 12 ± 0.4% para los extractos fenólicos extraídos con etanol (0.25 mg/mL) de hojas, tallos y raíces respectivamente.

Figura 2. Efecto de inhibición de los diferentes estadios del fruto de *Ehretia tinifolia* y del dietil 4-nitrofenil fosfato sobre la lipasa pancreática porcina. Se utilizó 4-nitrofenil laurato como sustrato.



Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

Durante la senescencia de los frutos se presenta una disminución en proteínas solubles, aumento la cantidad de azúcares reductores y de igual manera, existe 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 ± 3.06 % y 26.6 ± 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

*Coloque aquí sus referencias en formato APA 7:

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 Vol, 23(1), 49. 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

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., … 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, A.C. 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

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., Alia-Tejacal, I., Cortes-Cruz, M. A., Palomino-Hermosillo, Y. A., y López-Gúzman, G. G. (2017). Poscosecha de frutos: maduración y cambios bioquímicos. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 8(SPE19), 4075-4087. https://doi.org/10.29312/remexca.v0i19.674

Mateos-Díaz, E., Rodríguez, J.A., de los Ángeles Camacho-Ruiz, M., Mateos-Díaz, J.C. (2012). High-Throughput Screening Method for Lipases/Esterases. In: Sandoval, G.

(eds) Lipases and Phospholipases. Methods in Molecular Biology, vol 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-Avila, 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., & Kim, J.-I. (2008). Pancreatic lipase inhibitory activity of taraxacum officinale in vitro and in vivo. Nutrition Research and Practice, 2(4), 200. https://doi.org/10.4162/nrp.2008.2.4.200.

*Redacte a continuación el título del capítulo:

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

*Escriba a continuación los nombres completos, sin abreviaturas, de los autores del capítulo:

Carolina Escarrega Sánchez

Cecilia Abigail Valenzuela Bañuelos

Diana Sosa Ruiz

Raúl Balam Martínez Pérez

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, utilizando 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 883.49 ± 6.41 U/mL, utilizando 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.

*Pegue a continuación todos los apartados de este capítulo, incluyendo las figuras y tablas. Para darle formato, apóyese de los lineamientos que se indican en la página 3 de este documento.

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, posicionando a este grupo de especies como potenciales candidatos al desarrollo tecnológico, además de la aportación monetaria (CONAPESCA, 2022). Además, 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 se 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 de 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, Scollar, & Klibanov, 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 & Cortez-Suárez, 2015).

La determinación de actividad proteolítica se basa en que cada enlace peptídico hidroliza peptidasas, evaluando 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 revisando su manera de actuar con cada una de ellas, comparando la cantidad de sustrato consumido y el tiempo empleado para que la liberación de productos ocurra (Camacho, Mateos, González-Reynoso, Prado, & Córdova, 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 sínteticos (*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-trimethilpentan-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, organizando los sustratos en solución acuosa (Dandavate, Jinjala, Keharia, & Madamwar, 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, generando 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 que fueron interpretadas 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 llevo a cabo un proceso 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, a continuación 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), empleando 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. Posteriormente se agregaron 250 µL a de TCA 20% para parar 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 µL (4.45 mg/ml de proteína) de callo y 20 µL (10.38 mg/ml de proteína) de glándulas digestivas y se adicionaron 180 µL 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 seg durante 15 min a 410 nm y 40 °C. Una unidad lipasa corresponde a la cantidad de enzima que libera 1 µmol 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 standars, 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 temporadas de pesca por la SEMARNAT. Los organismos se adormecieron a 0 °C, posteriormente se llevó a cabo la disección.

Limitaciones del Estudio

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 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 1), la cual puede reconocer y digerir proteolíticamente las proteínas plasmáticas, y llevar la inhibición de las serino proteasa (L., D., Faisal-Mohamed, & L., 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, García-Carreño, Romero, & Díaz-Dominguez, 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 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, que 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 1. Determinación de actividad proteolítica de extractos enzimáticos de la ostra del Pacífico.

Extracto enzimático (*M. gigas*)	**Proteína (mg/mL)**	**Actividad ácida (U/mL)**	**Actividad alcalina (U/mL)**
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, Julien, Bois, Verger, & Sarda, 1983) hace 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, demostrando que la superficie lipídica es controlada por las propiedades de la superficie de triglicéridos modificados por detergente a la que se une la enzima, a esto se le 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 hidrolisis es un mecanismo de distinción entre lipasas y esterasas, 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 menciona (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 especificas hacia esteres cuyos ácidos grasos presentan al menos 8 átomos de carbono. Por el contrario (Chahiniana, 2009) señaló que las esterasas son selectivas para interactuar con sustratos de cadena corta.

Tabla 2. Cuantificación de actividad lipasa/esterasa de extractos de M. Gigas.

Extracto enzimático (*M. gigas*)	**Actividad enzimática (U/mL)**					
	***p*-NPB**			***p*-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

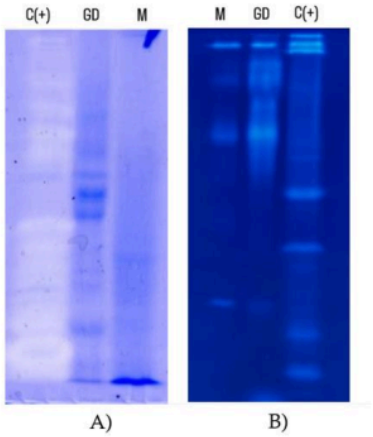
Fuente: elaboración propia

Perfil de lipasas

El perfil de lipasas (zimograma) para la detección de actividad lipasa/esterasa del extracto enzimático está representado en la Figura 1B. En el primer carril representado por M, se observó una serie de bandas no tan marcadas, pero si 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, el carril de la derecha representado por C (+) se aprecia una gran intensidad de bandas.

.

Figura 1. Zimograma del perfil de enzimas lipolíticas y proteolíticas. A) zimograma para proteasas utilizando caseína como sustrato y B) zimograma para enzimas lipolíticas utilizando MUF-B como sustrato. M: músculo, GD: glándulas digestivas de M. gigas y C(+): hepatopáncreas del camarón azul (Penaus 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, siendo 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 el determinar el tipo de carboxilasas a las que pertenecen, pero sería de gran de interés identificarlas para futuros análisis experimentales.

Referencias

*Coloque aquí sus referencias en formato APA 7:

Camacho, R. M., Mateos, J. C., González-Reynoso, O., Prado, L. A., & Córdova, J. (2009). Production and characterization of esterase and lipase from Haloarcula marismortui. J Ind Microbiol Biotechnol, 36(7), 901-909. doi:10.1007/s10295-009-0568-1

Casillas-Hernández, R., Magallón, F., Portillo, G., Farnés, O., Nolasco, H., & 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.

Chahiniana, H. S., L. (2009). Distinction Between Esterases and Lipases: Comparative Biochemical Properties of Sequence-Related Carboxylesterases. Bentham Science Publishers, 16.

Chavez-Villalba, J. (2014). Cultivo de ostión Crassostrea gigas. Análisis de 40 años de actividades en México. SciELO, 24(3).

Chong-Carrillo, O., Aréchiga-Palomera, M., Peña-Almaraz, O. A., Nieves-Rodríguez, K. N., Palma-Cancino, D. J., Kelly-Gutiérrez, L. D., . . . Vega-Villasante, F., J Agro Productividad. (2024). Scientific research on exotic and native mollusk farming in Mexico ac-cording to SCOPUS.

CONAPESCA. (2022). Anuario Estadístico de Acuacultura y Pesca 2022. Retrieved from https://www.gob.mx/conapesca/documentos/anuario-estadistico-de-acuacultura-y-pesca2022

Cross, J. (1998). Anionic surfactants: analytical chemistry (Vol. 73): CRC Press.

Dandavate, V., Jinjala, J., Keharia, H., & Madamwar, D. (2009). Production, partial purification and characterization of organic solvent tolerant lipase from Burkholderia multivorans V2 and its application for ester synthesis. Bioresour Technol, 100(13), 3374-3381. doi:10.1016/j.biortech.2009.02.011

Del Monte, A., Forrellat, A., Nolasco, H., Estévez, T., Boburg, B., Díaz, J., & Carrillo, O. J. U. h. w. c. o. (2003). Aislamiento y caracterización de lipasas en el hepatopáncreas de Litopenaues vannamei. 755-767.

FAO. (2024). Magallana gigas. Cultured Aquatic Species Information Programme. Retrieved from https://www.fao.org/fishery/es/culturedspecies/crassostrea_gigas_es/es

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.

Gargouri, Y., Julien, R., Bois, A. G., Verger, R., & Sarda, L. (1983). Studies on the detergent inhibition of pancreatic lipase activity. Journal of Lipid Research, 24(10), 1336-1342. doi:https://doi.org/10.1016/S0022-2275(20)37884-6

Kirchner, G., Scollar, M. P., & Klibanov, A. M. (1985). Resolution of racemic mixtures via lipase catalysis in organic solvents. Journal of the American Chemical Society, 107(24), 7072-7076. doi:10.1021/ja00310a052

L., O.-J., D., L.-T., Faisal-Mohamed, & L., K.-S. (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. doi:https://doi.org/10.1006/jipa.1999.4879

Lemus-Venezolana, M. J., & Cortez-Suárez, L. A. (2015). Bioquímica general: fundamentos y análisis de laboratorio.

Rojo-Arreola, L., García-Carreño, F., Romero, R., & Díaz-Dominguez, L. (2020). Proteolytic profile of larval developmental stages of Penaeus vannamei: An activity and mRNA expression approach. PLOS ONE, 15(9), e0239413. doi:10.1371/journal.pone.0239413

*Redacte a continuación el título del capítulo:

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

*Escriba a continuación los nombres completos, sin abreviaturas, de los autores del capítulo:

Yuvitza Guadalupe Depraect Payan

Raúl Balam Martínez Pérez

Guillermina García Sánchez

María Elena Lugo Sánchez

Juan Carlos Ramírez Suárez

Resumen

La medusa bola de cañón (Stomolophus sp. 2) es considerado un recurso pesquero abundante y de relevancia económica en el estado de Sonora; su captura 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 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.

*Pegue a continuación todos los apartados de este capítulo, incluyendo las figuras y tablas. Para darle formato, apóyese de los lineamientos que se indican en la página 3 de este documento.

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 (Garibay 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. (Barrón & Cisneros, 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 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 liquida 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. (1995) con modificaciones explicadas a continuación.

Hidrólisis acida 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 resuspendío 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 acida 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-Pthaldehido con la nuestra 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 µg/mL.

Determinación de la variación del color de la proteína S2bp

Se utilizó una concentración 1 mg/mL de proteína, evaluando 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.

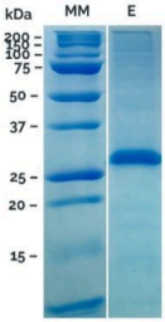
Medición de ángulo y matiz de la proteína S2bp

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 formulas. Angulo de matiz $= \text{arcotang}\left(\frac{b*}{a*}\right)$ (1), Croma $=(a^{*2}+b^{*2})$ (2)

Resultados y discusión

Pureza de la proteína s2bp

Figura 1. Gel de electroforesis de la proteína azul de medusa.



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 1 se detalla el contenido de aminoácidos, se detectaron 14 aminoácidos primarios y 2 iminoácidos, donde 8 de estos son clasificados como esenciales, siendo la treonina y valina 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

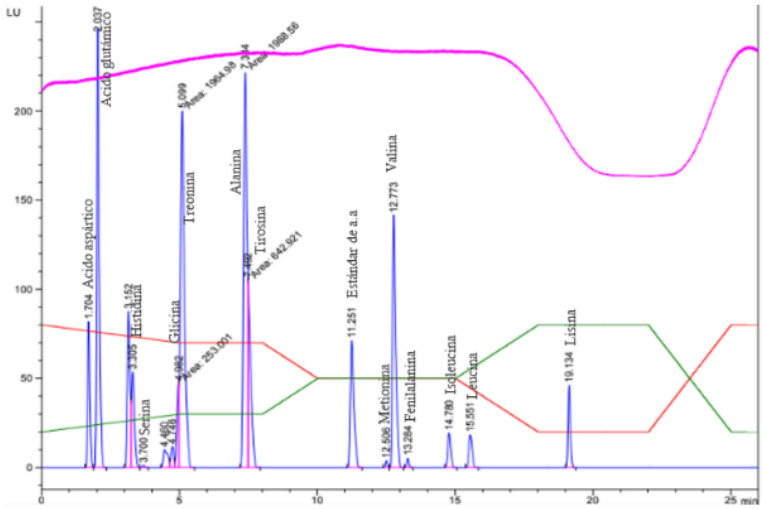
S2bp tiene un potencial relevante en aplicaciones nutricionales y alimentarias. Por otro lado, el perfil cromatográfico mostró una alta señal de ácido glutámico, aproximadamente en el minuto 2 como se muestra en la figura 2, seguido de la tirosina en el minuto 7.

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

Tabla 1**.** Contenido de aminoácidos de S2bp y otros pigmentos.

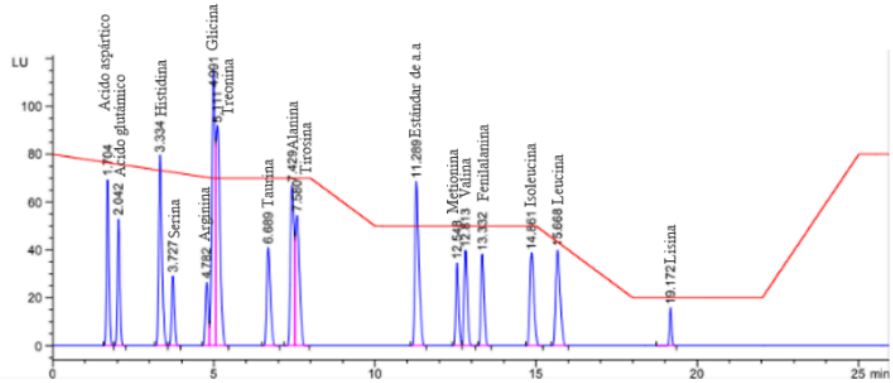
***** Aminoácidos esenciales, **-** no detectado. Fuente: elaboración propia

Figura 2. Cromatograma representativo de la muestra de la proteína azul.



Línea verde = metanol, línea roja= buffer de acetatos. Fuente: elaboración propia.

Figura 3. Cromatograma representativo del estándar de 16 aminoácidos.



Línea roja= buffer de acetatos. Fuente: elaboración propia

La C- ficocianina, pigmento obtenido a partir de la Spirulina (*Arthrospira platensis*) mostró un mayor contenido de aminoácidos. El porcentaje se estimó utilizando 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 1), donde la sub unidad α mostró un mayor contenido de alanina

segundo 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 spirulina 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 Spirulina de 20 a 35 ppm (Pérez-Romero & Arredondo Vega, 2023). Otra proteína pigmentaria es la producida por la medusa *Aequorea victoria*, cuya función es transducir la quimioluminiscencia azul de la proteína aequorina en luz fluorescente verde mediante un proceso de transferencia de energía (Franco & 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 1, mostrando diferencias en las cantidades de aminoácidos que la conforman, principalmente con los aminoácidos lisina y glicina.

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 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, indicando 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 3 se presentan los valores de estabilidad del pH de las ficocianinas de diferentes organismos, señalando 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 2. Análisis de color a distintos rangos de pH.

pH	L*	Angulo 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

Organismo	**T (°C)**	**pH**	**Referencia**
G. phlegrea.	80	5-7	Ferraro *et al* (2020)

Geitlerinema sp.	4-37	4-7	Patel *et al* (2018)
C. clavulatum.	4	7.4	Nair *et al* (2028)
Spirulina.	37	4	Minic *et al* (2016)
Sthomolopus sp 2.	50	1-13	Martínez *et al* (2020)

Tabla 3. Estabilidad de ficocianinas.

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 – 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

*Coloque aquí sus referencias en formato APA 7:

Barrón, R. M., & Cisneros, E. C. (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

Carocho, M., Barreiro, M. F., Morales, P., & 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

Franco, A. Y., & Longart, M. (2009). Aplicaciones de la proteína verde fluorescente (GFP) en la biología celular y en la visualización del sistema nervioso. Redalyc.org. https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179214945007

Garibay, E. H., Mata, C., MA, B., & A, A. R. A. (2024). Composición nutrimental de la medusa bola de cañón (Stomolophus sp. 1) Nutritional composition of the cannonball jellyfish (Stomolophus sp. 1). ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/379566521_Composicion_nutrimental_de_la_medusa_bola_de_canon_Stomolophus_sp_1_Nutritional_composition_of_the_cannonball_jellyfish_Stomolophus_sp_1

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., & Mittal, S. (2022). Ensembling Deep Learning And CIELAB Color Space Model for Fire Detection from UAV images. https://doi.org/10.1145/3564121.3564130

Karazhyan, R., Ameri, M., Noshahri, N., Ehtiati, A., & Abdollahi, N. (2024). Effects of Copigmentation on the Stability of Phycocyanin Pigments Extracted from Spirulina platensis Using Spray Dryer. https://doi.org/10.22037/afb.v9i3.37752

Martínez-Pérez, R. B., Díaz-Tenorio, L. M., Alonso, L., Gortáres-Moroyoqui, P., García-Rico, L., & 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

Olas, B., Białecki, J., Urbańska, K., & 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

Pérez-Romero, C., & Arredondo Vega, B. (2023). Del tecuitlatl azteca a la Spirulina: un recurso biotecnológico. Recursos Naturales y Sociedad, 9. https://doi.org/10.18846/renaysoc.2023.09.09.02.0008

Ruiz-Hernández, Y., Garza-Valverde, E., Márquez-Reyes, J., & García-Gómez, C. (2023). Extracción de ficocianina para uso como colorante natural: optimización por metodología de superficie de respuesta. https://www.semanticscholar.org/paper/Extracci%C3%B3n-de-ficocianina-para-uso-como-colorante-Ruiz-Hern%C3%A1ndez-Garza-Valverde/1d5e65a68ab2616a8cb71a7e22a0b29416cc5d01

Rúa, A. L. (2004). Roles alimenticios y metabólicos de la taurina y la L-carnitina. Dialnet. https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5167548

Vazquez-Ortiz, F. A., Caire, G., Higuera-Ciapara, I., & Hernandez-Watanabe, G. (1997). High performance liquid chromatographic determination of free amino acids in shrimp. Journal of Liquid Chromatography, 18(10), 2059–2068.

Xavier. (2017). Obtención de un hidrolizado de Spirulina (Arthrospira platensis) en polvo, mediante secado por aspersión, como ingrediente funcional. Uta.edu.ec. http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/25303

*Redacte a continuación el título del capítulo:

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

*Escriba a continuación los nombres completos, sin abreviaturas, de los autores del capítulo:

César Alberto Roldán Cruz

Alejandro Martínez Velasco

Adriel Azuara Vicario

Abril Ramírez Higuera

Gabriela Blasco López[•••••]

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. El estudio se enfocó en el aprovechamiento del bagazo de betabel, el residuo resultante de la extracción 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 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% potencia, 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 formulación de

••••• Doctora en Alimentos, Profesora e investigadora de tiempo completo. Facultad de Nutrición, Universidad Veracruzana, Región Veracruz, Veracruz, México.. https://orcid.org/0000-0001-5045-4164, gblasco@uv.mx.

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 medio ambiente, 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, betalaínas.

*Pegue a continuación todos los apartados de este capítulo, incluyendo las figuras y tablas. Para darle formato, apóyese de los lineamientos que se indican en la página 3 de este documento.

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 medio ambiente (Raza-Carrillo y Acosta, 2022). Entre estas tecnologías, se encuentra el ultrasonido de alta intensidad, microondas, campos eléctricos pulsantes, altas presiones hidrostáticas y fluidos supercríticos, las cuales han reportado menor tiempo de extracción, alto rendimiento y calidad en la extracción de compuestos bioactivos a partir de residuos alimentarios (p.e. cáscara de uva, pitaya, tuna, vainas de leguminosas y tallos de remolacha), en comparación a los métodos convencionales (Cazón and Sanches, 2024). Lo anterior, busca la generación de 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, disminución en el desarrollo de determinados tipos de cáncer, diabetes y otras (Fiedor & Burda, 2014). Entre estos pigmentos se encuentran las antocianinas, carotenoides, betalaínas,

clorofilas, los cuales pueden ser obtenidos 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 generación de jugos, mermeladas y bebidas, y como subproductos genera gran cantidad de pulpa, cáscaras y tallos. Existen pocos estudios enfocados en el aprovechamiento de los residuos obtenidos 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 lo que 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 extracción óptimas, utilizando un diseño completamente al azar, 3 factores con 3 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 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 1. Los extractos se filtraron con un papel filtro Whatman n.º 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:

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

Donde:

BC es el contenido de betalaínas y bataxantinas (mg/g, respectivamente); V es el volumen en mL 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 x cm para betanina y 48 000 L/mol x 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 formulación de tortillas.

Aplicación en la formulación de tortillas de maíz

Se formularon 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 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° representando 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:

$$Hue = tan^{-1}\left(\frac{b}{a}\right) \qquad croma = \sqrt{(a^2 + b^2)}$$

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 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 previamente.

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 1 y se ven ilustrados en la Figura 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 1. De acuerdo a 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.

Tabla 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

BC=Betalaínas; BX=Betaxantinas;

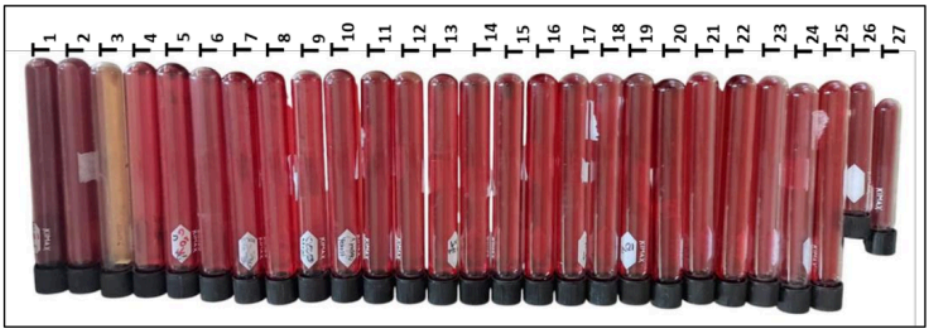


Figura 1. Extractos obtenidos con betalaínas y betaxantinas de bagazo de betabel a partir de las diferentes corridas experimentales.

Con base en el análisis de regresión múltiple aplicado a los datos, se desarrollaron modelos predictivos para el contenido de BC y BX (Tabla 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 Gutiérrez-Pulido & 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 2. Modelos de regresión para betacianinas y betaxantinas

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

A=potencia, B=Relación etanol:agua; C) tiempo;

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 betalaínas sólo 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 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 mejor extracción presentó 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 mejor extracción de BX presentó 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 más efecto tiene 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 a 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/100g 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.

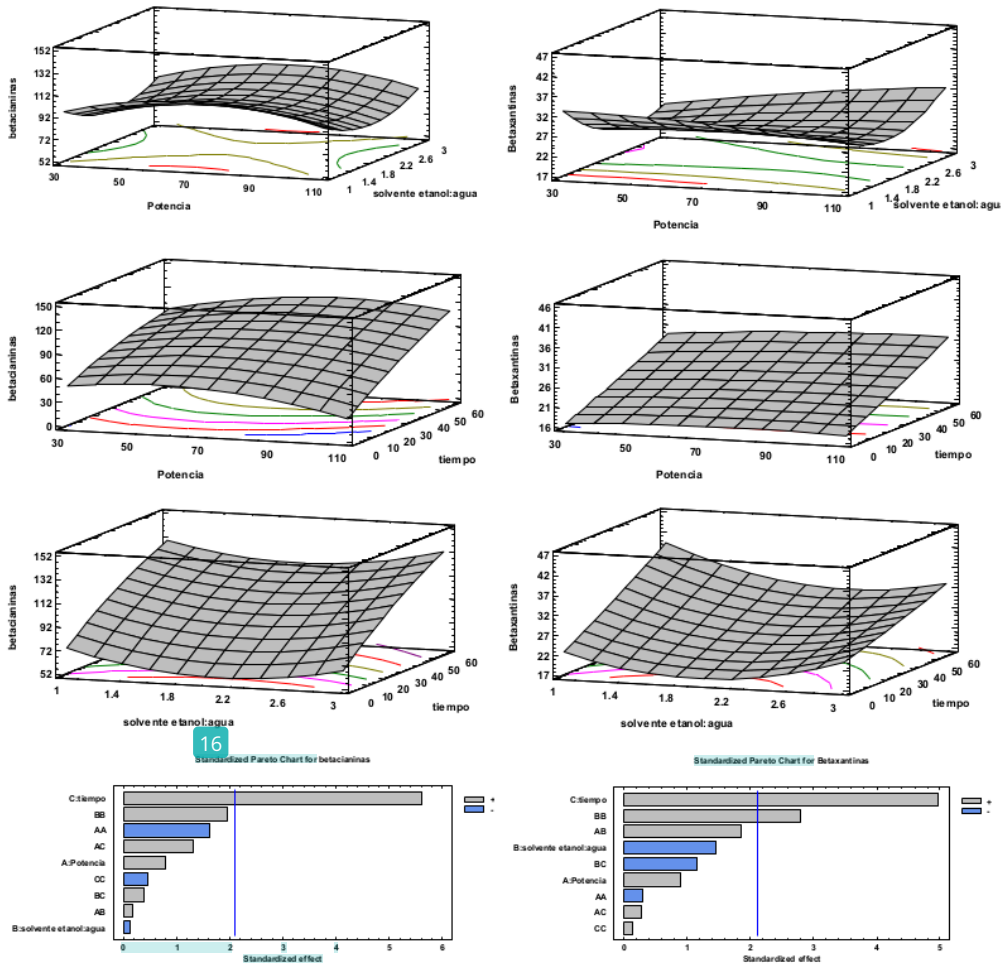


Figura 2. Graficas en 3D y diagrama de Pareto de las interacciones de potencia, relación solvente etanol:agua y tiempo para la obtención de BC y BX de bagazo de betabel.

Aplicación de betalaínas en tortillas de maíz

Los pigmentos naturales obtenidos con las condiciones óptimas en la extracción de BC, permitieron la obtención de tortillas de maíz con una coloración rojo intenso (Figura 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 3b). A pesar de las condiciones de cocción de las tortillas (aprox 100°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).

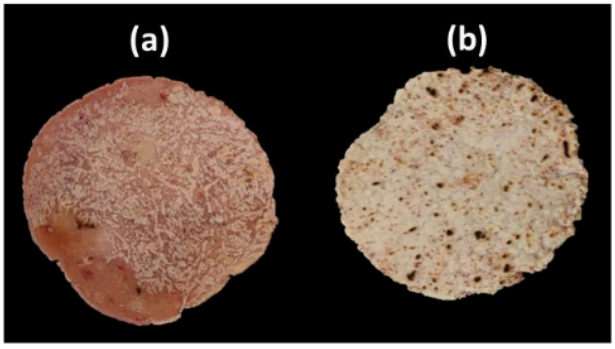


Figura 3. Tortillas de maíz adicionadas con pigmentos de bagazo de betabel con las condiciones que permiten la mayor extracción de betacianinas (T_{BC}) y betaxantinas (T_{BX}).

Conclusiones

El bagazo del betabel (*Beta vulgaris*) puede utilizarse como una fuente económica, novedosa y alternativa para la obtención 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/100g de muestra seca. Es posible la extracción e incorporación de estos pigmentos naturales (BC y

BX) en una matriz alimentaria para la obtención de 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

*Coloque aquí sus referencias en formato APA 7:

Azeredo, H. M. (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., & 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., Sanches S. 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., & 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. and Burda, K. (2014) Potential Role of Carotenoids as Antioxidants in Human Health and Disease. Nutrients, 6, 466-488.

Gutiérrez-Pulido H. & de la Vara-Salazar R (2012) Análisis y diseño de experimentos. Editorial McGraw-Hill Interamericana.

Kaba, B., Zannou, O., Redha, A. A., & 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., Da Silva Martins, L. H., Chisté, R. C., Picone, C. S. F., & 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, Diego, & Acosta, Jhoselyn. (2022). Planificación ambiental y el reciclaje de desechos sólidos urbanos. Economía, sociedad y territorio, 22 (69), 519-544. Epub. https://doi.org/10.22136/est20221696.

Salazar-López, N. J., Enríquez-Valencia, S. A., Zúñiga-Martínez, B. S., & González-Aguilar, G. A. (2023). Residuos agroindustriales como fuente de nutrientes y compuestos fenólicos. Epistemus, 17 (34).
https://doi.org/10.36790/epistemus.v17i34.265.

Seo, J., Lee, S., Elam, M. L., Johnson, S. A., Kang, J., & 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.

*Redacte a continuación el título del capítulo:

Capítulo 9. Proyecto de Perforación de Pozo Profundo en el Municipio de Villa Guerrero, Jalisco

*Escriba a continuación los nombres completos,
sin abreviaturas, de los autores del capítulo:

Joseph Omar Gaeta González

Josefina Elizabeth Godínez Chavoya

José Manuel Núñez Olivera

Francisco Javier Ramos López

Rodolfo Cabral Parra

Resumen

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 la generación 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, se realizó este estudio. 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, estableciendo condiciones para arraigar a la gente a sus comunidades, disminuyendo así los porcentajes de migración de los pobladores no sólo de Villa Guerrero, sino asimismo de la Región Norte de Jalisco (RNJ) y que provocan diversos problemas, entre otros: separación familiar, mayor presencia de enfermedades emocionales y mayor inseguridad. Es fundamental, además, el 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 pozo profundo, agua, sustentabilidad, Villa Guerrero, Jalisco

*Pegue a continuación todos los apartados de este capítulo, incluyendo las figuras y tablas. Para darle formato, apóyese de los lineamientos que se indican en la página 3 de este documento.

Introducción

El presente estudio, aborda la problemática de la falta de agua existente en la región norte de Jalisco (RNJ) y específicamente en el municipio de Villa Guerrero, Jalisco (VGJ), que forma parte de ésta y que condiciona severamente la productividad agropecuaria y dificulta la sustentabilidad del municipio. Éste 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 la extracción de 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, y en estas situaciones el agua subterránea suele ser su única fuente de abastecimiento (Salazar, 2018), siendo éste 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 consumo 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, históricamente la región norte del estado de Jalisco (RNJ) ha sido una de las zonas

que más problemas por falta de agua ha tenido, pues la región es altamente vulnerable a sequías (IBID, 2013).

Así pues, el problema en términos llanos puede definirse como la falta de agua en algunas localidades del municipio de VG, 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 de VG, 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 como consecuencia hay disminución de 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 afecta 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 VG. Estas actividades son las más importantes en este municipio ya que generan empleo, ingresos y contribuyen a la seguridad alimentaria de VG 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 VG 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, presentando 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, 2019). De acuerdo con los datos de uso de suelo y vegetación contenidos en la serie VII (INEGI, 2022), el

municipio de VGJ, presenta una diversidad de tipos de uso de suelo y vegetación que caracterizan su paisaje y entorno natural. Estos usos de suelo se aglutinan en 6 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 pues, 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 rastreo 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. (Sanabria Rodríguez, 2018). Para saber que textura de suelo tiene el área de estudio, se utilizó la capa denominada "Conjunto de Datos Vectorial Edafológico escala 1:250 000 Serie III"; ésta proporciona información detallada sobre la textura, composición y características de los suelos en el área de estudio (INEGI, 2014).

De acuerdo a 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; Fina (3). Suelos arcillosos con más de 35% de arcilla, que tienen mal drenaje, escasa porosidad, son por lo general duros al secarse, se inundan fácilmente y son menos favorables al laboreo; 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

Tabla 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". El programa empata en lo referente a los objetivos, en la población objetivo y la inversión para la realización de este es del 1.56% en proporción al presupuesto autorizado total, cifra que pudiera no ser considerada gravosa. Estos factores pudieran 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.

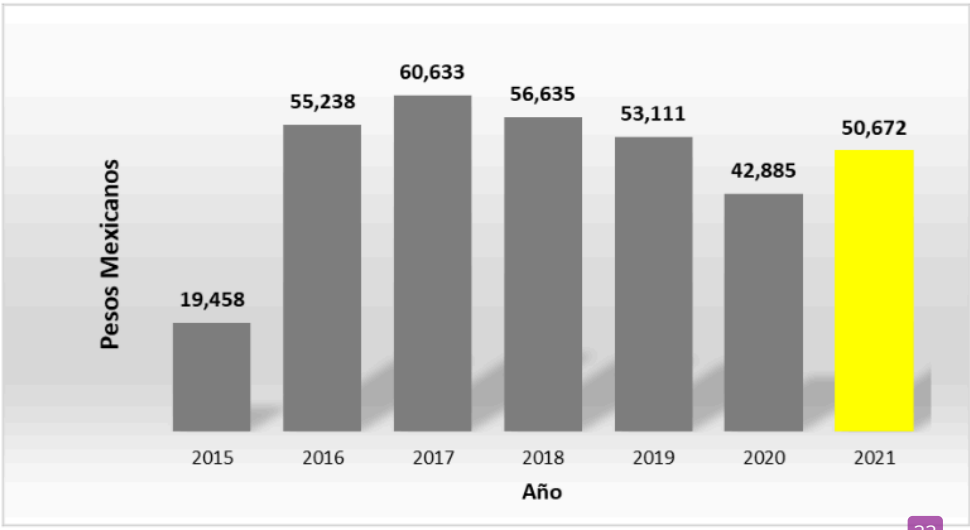
b) Estrategia reconstrucción del tejido social. Al ser el programa que más recurso posee se podría pensar que esta estrategia del gobierno del estado de Jalisco es el más viable benefactor del proyecto de perforación de pozo profundo, pues la inversión del proyecto equivale solamente al 0.38% del presupuesto 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 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 3 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 (IIEG) 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 miles de pesos para ese año (IIEG, 2022).

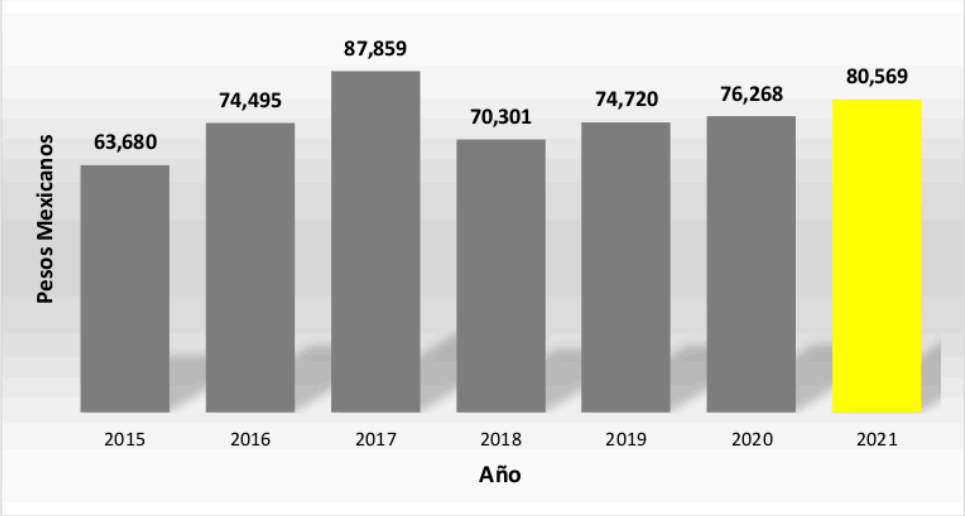
Figura 1. Valor de la producción agrícola en Villa Guerrero 2015-2021



Fuente: Instituto de Información Estadística y Geográfica (IIEG), con base en información del SIAP (Servicio de información agroalimentaria y pesquera) / SAGARPA (Secretaria de Agricultura, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación).

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 miles de pesos para ese año (IDEM, 2022).

Figura 2. Valor de la producción ganadera en Villa Guerrero 2015-2021



Fuente: IIEG, con base en información del SIAP / 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 millón de pesos 00/100 M.N.) El programa tiene 3 modalidades de apoyo; apoyo a proyectos estratégicos; apoyo a proyectos del sector lechero y apoyo a proyectos pesqueros y acuícolas. La tabla 9 contiene la información general del programa en la modalidad de proyecto estratégico, mismo que es el que aplica para el proyecto de perforación de pozo profundo en el municipio de VGJ.

Conclusiones

El proyecto de perforación de pozo profundo en VG 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

*Coloque aquí sus referencias en formato APA 7:

Comisión Nacional del Agua (Conagua). (2016). Estadísticas del Agua en México. Recuperado de 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. Editorial desconocida.

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.

Honorable Congreso de la Unión. (1992). Ley de Aguas Nacionales. Diario Oficial de la Federación.

Instituto de Información Estadística y Geográfica del Estado de Jalisco. (2023). Diagnóstico del municipio de Villa Guerrero. IIEG Jalisco.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2014). Guía para la interpretación de cartografía: edafología: escala 1:250 000: serie III. INEGI.

Martínez, E. A. R. (2020). La construcción social de la sobreexplotación de acuíferos en el estado de Chihuahua. Editorial desconocida.

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. Editorial desconocida.

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. Editorial desconocida.

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. SADER Jalisco.

Secretaría de Gobernación del Estado de Jalisco. (2022). Plan Estatal de Gobernanza y Desarrollo 2018-2024. Secretaría de Gobernación Jalisco.

Secretaría del Sistema de Asistencia Social de Jalisco. (2023). Dictamen que determina los polos de desarrollo comunitario para el ejercicio 2023. Recuperado de https://portalesmuli.s3.amazonaws.com/ssas/documents/Dictamen_Polos_2023.pdf.

Silva, M., & Mendoza, N. (2019). Uso de la clasificación climática de Köppen en la evaluación de los efectos del cambio climático. Geominas, 47(80), 153.

UDG TV. (2021). Persiste la carencia de agua potable en Villa Guerrero. Recuperado de https://udgtv.com/noticias/persiste-la-carencia-de-agua-potable-en-villa-guerrero/39074.

*Redacte a continuación el título del capítulo:

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

*Escriba a continuación los nombres completos,
sin abreviaturas, de los autores del capítulo:

Adriana Elizabeth Morales Sánchez

Víctor Vladimir Vega Morales

Fernando Manuel de la Torre Molina

Resumen

El acápite aquí presentado, se hace una reflexión respecto a 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 wixarika 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.

*Pegue a continuación todos los apartados de este capítulo, incluyendo las figuras y tablas. Para darle formato, apóyese de los lineamientos que se indican en la página 3 de este documento.

Introducción.

En el presente ensayo se aborda un fenómeno de estudio desde la perspectiva del urbanismo, se plantea, como 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; lo anterior, tiene la intención de que logren sentirse 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 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) tiene una variante de la lengua del pueblo, esta surge de la que identifican como su idioma común, d) sus sistema define lo político, cultural, social, civil, económico y religioso e) también un sistema comunitario de administración y procuración de justicia (Zolla, 2004).

La etnia Wixarika es autonombra 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 18500 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, éstos 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 esta 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 al 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 (OIT, 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, 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 retorno 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 estás 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 103°18′O, a 1,720 metros sobre el nivel del mar, 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, además 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 lograrlo, pues siguen si visibilizarse grupos segregados, vulnerados y marginados, como son los casos de mujeres, migrantes, marginados, discapacitados, comunidades lgbtq, por mencionar algunos (Reyes, 2021).

En un estudio que se realizó en la ciudad de Medellín, Colombia, en éste concluyen que una opción efectiva para la gestión de 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, lo anterior 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 (Rodríguez, 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, 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 espacios urbanos fragmentados y jerarquizados a nivel social, es un hecho que ocurre en las ciudades a nivel mundial (González, 2018). Esto panorama de desigualdad debe ser considerado como problemática para diseñar la planificación urbana inclusiva, sostenible y amigable.

En un análisis anticipado a Hábitat III: La conferencia de Naciones Unidas centrada en los ciudadanos a realizarse en Quito en 2016, Joan Clos (2015) aseguró que el espacio público, es un elemento primordial para la interacción y la inclusión social, 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 éstos habrán de transformar significativamente la manera de interactuar en los entornos urbanos.

En una investigación llevada a cabo por Amar y colaboradores (2017), se hace una interesante propuesta arquitectónica, en relación al 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 ensayo, 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 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, la investigación podrían centrarse en la fenomenología arquitectónica, contemplar un método de participación acción que permitan recuperar las experiencias y se 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 ésta se encuentra en el municipio de Colotlán, Jalisco, México.

Referencias

*Coloque aquí sus referencias en formato APA 7:

Amar Patiño, J. M., Luque Carrillo, V. S., & Rodríguez Sánchez, J. S. (2017). Fenomenología y simbolismo en el proyecto arquitectónico-Museo Mhuysqa. Recuperado 30 de mayo de 2024 de: 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 (REIS), No. 32. Pp. 7-26.

Cárdenas, P. (2014). Migración interna e indígena en México: enfoques y perspectivas. *Intersticios sociales*, (7), 1-28. Recuperado en 08 de noviembre de 2018, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-49642014000100003&lng=es&tlng=es.

Colotlán, Gobierno Ciudadano (2024). Recuperado 4 de junio de 2024 de: https://www.colotlan.gob.mx/#

Clos, J. (2015). Hábitat III La conferencia de Naciones Unidas Centrada en los ciudadanos. Organización de las Naciones Unidas. Recuperado el 19 de junio de 2024 de: https://www.un.org/es/chronicle/article/habitat-iii-la-conferencia-de-las-naciones-unidas-centrada-en-los-ciudadanos

González Romero, D., & Pérez Bourzac, M. T. (2018). La ciudad simultánea: introducción al sur-global. *ACE: Architecture, City and Environment*, *13*(37), 269-280. Recuperado el 4 de junio de 2024 de: http://hdl.handle.net/2117/118774

Hernández, A. & Higareda, Y. (2018) Teorías de la migración: historia, etnicidad y género. Vínculos. Sociología, análisis y opinión, núm.12, pp. 213- 215 , Recuperado el 31 de octubre de 2023, de http://www.publicaciones.cucsh.udg.mx/pperiod/vinculos/pdfs/vinculos12/V12_9.pf

Miramontes, E. (2003). Etnopedología. Una Aproximación al sistema de clasificación de suelos de la etnia wixarika. Tesis. Maestría en Ciencias en manejo de áreas de temporal.Centro Universitario de Ciencias biológicas y agropecuarias. Universidad de Guadalajara. Recuperado 11 de septiembre de 2024 en: http://repositorio.cucba.udg.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/4814/Miramontes_Lau_Ernesto_Alonso.pdf?isAllowed=y&sequence=1

Monroy, E. Martínez, M. González, M., González, G & Benitez, R. (2020). Discriminación y marginación hacia los migrantes indígenas en la Ciudad de México. Recuperado el 13 de mayo de 2014 en: https://repositorio.xoc.uam.mx/jspui/handle/123456789/24610

Organización Internacional del Trabajo (2004). OIT, O. d. (9 de Agosto de 2004). *Organización Internacional del Trabajo.*Obtenido de: https://www.ilo.org/americas/sala-de-prensa/WCMS_LIM_653_SP/lang--es/index.htm

Reyes, R. D. J. I., & Márquez, E. A. (2021). *Ciudadanías en el siglo XXI. Entre embates y divergencias*. Editorial 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

Rodríguez, J. A. C., Valencia, J., & Arias, A. V. (2013). Las bibliotecas públicas como escenarios de participación ciudadana e inclusión social. *Rastros Rostros*, *15*(29), 73-81. Recuperado el 15 de agosto de 2024 en:

file:///C:/Users/Administrativo/Downloads/Dialnet-LasBibliotecasPublicasComoEscenariosDeParticipacio-6515629.pdf

Weiss, L., Engelman, J., & Valverde, S. (2013). Pueblos indígenas urbanos en Argentina: un estado de la cuestión. *revista Pilquen*, *16*(1), 00-00. Recuperado 19 de junio de 2024 de: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S1851-31232013000100004&script=sci_arttext&tlng=en

Zolla, C & Zolla, E. (2004). Los pueblos indígenas de México. 100 preguntas. Universidad Nacional Autónoma de México. Recuperado 21 de mayo de 2024 de:https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=0CdwrFlYURcC&oi=fnd&pg=PA9&dq=comunidades+ind%C3%ADgenas+en+m%C3%A9xico&ots=HZLGjfX-eN&sig=JsXvEFVGarG4QUC_6sRwUfLXFyw#v=onepage&q=comunidades%20ind%C3%ADgenas%20en%20m%C3%A9xico&f=false

Sobre todos los autores

Investigación Permanente. Avances de la Ciencia y la Tecnología para el Desarrollo Sostenible. Tomo V

INFORME DE ORIGINALIDAD

6%
ÍNDICE DE SIMILITUD

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.imta.mx Internet	824 palabras — 2%
2	iieg.gob.mx Internet	172 palabras — < 1%
3	vitela.javerianacali.edu.co Internet	164 palabras — < 1%
4	misprogramas.jalisco.gob.mx Internet	134 palabras — < 1%
5	www.scielo.unal.edu.co Internet	74 palabras — < 1%
6	cicy.repositorioinstitucional.mx Internet	68 palabras — < 1%
7	repositorio.uach.mx Internet	67 palabras — < 1%
8	"Memorias de la V Edición del Seminario Diáspora Hídrica, Jóvenes Mexicanos Explorando las Fronteras del Conocimiento del Agua", Instituto Mexicano de Tecnologia del Agua, 2024 Crossref	61 palabras — < 1%
9	es.wikipedia.org Internet	54 palabras — < 1%

10	bitacora-ambiental.juanacatlan.gob.mx Internet	52 palabras — < 1%
11	www.scielo.org.mx Internet	51 palabras — < 1%
12	www.colotlan.gob.mx Internet	44 palabras — < 1%
13	www.coursehero.com Internet	39 palabras — < 1%
14	repository.javeriana.edu.co Internet	37 palabras — < 1%
15	dialnet.unirioja.es Internet	36 palabras — < 1%
16	hdl.handle.net Internet	35 palabras — < 1%
17	www.tlaquepaque.gob.mx Internet	32 palabras — < 1%
18	revistas.ucc.edu.co Internet	31 palabras — < 1%
19	www.recimundo.com Internet	29 palabras — < 1%
20	docplayer.es Internet	25 palabras — < 1%
21	netsoftsmfdt.web.app Internet	24 palabras — < 1%
22	rein.umcc.cu Internet	24 palabras — < 1%

23	Schultz, Júnia. "Influência da temperatura e do tempo de detenção hidráulica no tratamento de lodo biológico têxtil e na produção de biogás em reator UASB", Universidade Regional de Blumenau (Brazil), 2025 ProQuest	23 palabras — < 1%
24	cibnor.repositorioinstitucional.mx Internet	23 palabras — < 1%
25	cedhj.org.mx Internet	21 palabras — < 1%
26	burjcdigital.urjc.es Internet	19 palabras — < 1%
27	seplan.app.jalisco.gob.mx Internet	19 palabras — < 1%
28	C. Antonio-Estrada, L. A. Bello-Pérez, C. E. Martínez-Sánchez, J. L. Montañez-Soto et al. " Producción enzimática de maltodextrinas a partir de almidón de malanga ( ) Enzymatic production of maltodextrins from taro ( ) starch ", CyTA - Journal of Food, 2009 Crossref	18 palabras — < 1%
29	repositorio.unc.edu.pe Internet	18 palabras — < 1%
30	www.repositoriodigital.ipn.mx Internet	18 palabras — < 1%
31	1library.co Internet	16 palabras — < 1%
32	Dulce Soriano Cortés. "Las cooperativas de trabajo asociado: una alternativa de trabajo digno, sostenible e inclusivo", CIRIEC-España, revista jurídica de economía social y cooperativa, 2021	16 palabras — < 1%

Crossref

33 nopaltepec.gob.mx
Internet

16 palabras — < 1%

EXCLUIR CITAS	ACTIVADO	EXCLUIR FUENTES	DESACTIVADO
EXCLUIR BIBLIOGRAFÍA	ACTIVADO	EXCLUIR COINCIDENCIAS	< 15 PALABRAS