



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y POSGRADO



24° VERANO DE LA CIENCIA

U A Q



UAQ | CRECER EN LA DIVERSIDAD

Créditos

Editores

Dr. Manuel Toledano Ayala

Secretario de Investigación, Innovación y Posgrado

Dra. Azucena de la Concepción Ochoa Cervantes

Directora de Investigación



DIRECTORIO

Dra. Silvia Lorena Amaya Llano

Rectora

Dra. Oliva Solís Hernández

Secretaria Académica

Dr. Manuel Toledano Ayala

Secretario de Investigación, Innovación y Posgrado

Dra. Azucena de la Concepción Ochoa Cervantes

Directora de Investigación

M. en GIC. Karina Villarauz Camargo

Coordinadora de Difusión y Enlace

Dirección de Investigación y Posgrado

Dr. Manuel Toledano Ayala

Dra. Azucena de la Concepción Ochoa Cervantes

Comité Organizador

M. en GIC. Karina Villarauz Camargo

Coordinadora de Difusión y Enlace

C. Laura Pilar Wendolyn Vázquez Jasso

Secretaria de la Coordinación

Apoyo logístico

Publicación especial

Del 24° Verano de la Ciencia UAQ

Centro Universitario, Cerro de las Campanas s/n

Código Postal 76010, Querétaro, Qro., México.



INTRODUCCIÓN

Una de las funciones sustantivas de la universidad es la investigación, tarea a través de la cual la **Universidad Autónoma de Querétaro** asume el compromiso de atender a algunas de las problemáticas sociales más apremiantes. Aunado a lo anterior, la investigación, al estar vinculada con la docencia y, en la mayoría de los casos, con la vinculación, permite proporcionar a las y los estudiantes una formación integral.

Desde la Secretaría de Investigación, Innovación y Posgrado, a través de la Dirección de Investigación se proponen acciones que contribuyan a la formación en investigación de nuestro estudiantado, es por lo anterior que año con año se organizan los **Veranos de la Ciencia**. Esta actividad, consiste en una estancia de cinco semanas en donde las y los estudiantes colaboran dentro de un proyecto de investigación tutelado por una persona investigadora de nuestra universidad, con el objetivo de acercarlos a la ciencia, formarlos en investigación y despertar el interés por cursar un posgrado.

Los Veranos de la Ciencia se realizan en dos modalidades: el **Verano de la Ciencia UAQ**, dirigido a estudiantes que cursan del quinto semestre en adelante y el **Verano de Introducción a la Investigación** dirigido a estudiantes que cursan del primero al cuarto semestre. Estos programas, en comparación con otros similares, es que en los realizados por nuestra institución pueden participar estudiantes de cualquier semestre y docentes de cualquier facultad, lo cual amplía la oportunidad de formación tanto para estudiantes como para investigadoras e investigadores.

Es así que, este año celebramos la edición número **24° del Verano de la Ciencia UAQ**, en el que participaron **23 estudiantes**. En la presente compilación presentamos el producto final de cada uno de los participantes, el cual consiste en un informe de actividades de la estancia con formato de artículo científico.

Los trabajos presentados, además de que ejercitan a las y los estudiantes en la escritura con fines de comunicación académica, muestra el trabajo realizado y los aprendizajes adquiridos. Cabe señalar que todos trabajos fueron revisados y avalados por las personas investigadoras que fungieron como anfitriones.

Agradecemos a las y los estudiantes, a las personas investigadoras por su participación e interés.

Deseamos que lo aprendido trascienda en la formación personal y científica de todas y todos.

Atentamente

“Educo en la Verdad y en el Honor”

Dr. Manuel Toledano Ayala
Secretario de Investigación, Innovación y Posgrado

Dra. Azucena de la Concepción Ochoa Cervantes
Directora de Investigación

24° VERANO DE LA CIENCIA UAQ

INDICE

Participantes	Proyecto
Abigail Isassi Sánchez; Elizabeth Mendoza Morales.	Profesionalización de docentes de derecho: Método de estudio de casos con enfoque de género
Aldo Sánchez Olivares; Rubén Abraham Dominguez Pérez.	Influencia del precalentamiento de resinas en sus propiedades mecánicas
Andrea Xiadani Cisneros Jaramillo, Enrique Leonardo Kato Vidal.	Programas sociales y alternancia política: análisis de estados mexicanos
Cruz-Salinas Catalina, Ramírez-Rosales Selene.	Estrategias y herramientas para el diseño de un entorno virtual orientado al tratamiento de la ansiedad.
Ponce Rodríguez, Cinthia, Velázquez Castillo, Rodrigo Rafael	Análisis de Nanofibras de hidroxiapatita dopadas con europio (III).
Camacho Landaverde Daniela, Pérez Reséndiz Luz Mariana, Escalona Villalpando Ricardo Antonio, Ledesma García Janet, Reséndiz Jaramillo Ariadna Yaneli.	Biosensores potenciométricos para la detección de iones Cloruro y Potasio
Olvera Hernández Fernanda Itzel, Díaz Dueñas Gabriela, Marcial Montalvo Yetsi Mariana y Ahumada Solórzano Santiago Marisela.	Estandarización de la determinación de NFkB en tejidos intestinales de ratones C57BL/6 con inflamación inducida por obesidad y tratados con suplemento de hoja de frijol.
Ig-Shan Cerón Ortiz, Enrique Kato Vidal	Expansión automotriz china y su impacto en México: Cambio en el empleo manufacturero, 2010-2024.

Ilse Arteaga-Rodríguez, Ramón Gerardo Guevara-González, Ileri Alejandra Carbajal- Valenzuela, Adrián Esteban Ortega-Torres.	Evaluación bioquímica de microorganismos promotores de crecimiento vegetal.
Jesus Fernando García-Varela, Aída Guadalupe Díaz-Martell, Ana Alicia Sánchez-Tusie	Estrés oxidativo y su impacto en la fertilidad masculina
Zetina Urrieta Ismael Jesús, Martínez Ortiz Cecilia.	Impacto de la pasteurización en el perfil nutricional y nutracéutico de una bebida fermentada de maíz (<i>Zea mays</i>)
Velázquez Sánchez Johanna Fátima, Ledesma García Janet, Arriaga Hurtado Luis Gerardo, Escalona Villalpando Ricardo Antonio.	Evaluación de captación energética a través de la humedad.
Jorge Herrera Espinosa, Alexa Mariel Muñoz Vázquez, Karen Janet Navarro García, Dra. María Carlota García Gutiérrez, Dra. Iza Fernanda Pérez Ramírez, MIM. Verónica Hernández Valle, MIM. Eustolia Pedroza Vargas, MCNH. Alejandra Torres Narváez	Evaluación clínica y herramientas educativas en neuropatía diabética.
Nieves Ramírez, Karla Jazmín, Palmerín Carreño, Dulce María.	Uso de una celda electroquímica para la biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos.
Karla Paola Vieyra Camacho, Dr. Marco Antonio Aceves Fernández.	Atención y codificación posicional en modelos secuenciales.
Laura Jenifeer Ledezma, Dulce María Palmerín Carreño.	Biocatalizadores para la degradación de hidrocarburos en un biorreactor air-lift.

Lourdes Heredia Márquez, Isela Rojas Molina, Leticia García Aguilar, Diana Jéssica Pérez Olvera, Ezequiel Hernández Becerra.	Suplementación de calcio con microesferas biopoliméricas en un modelo de osteoporosis.
Maria Guadalupe Estrada Bautista, Dra. Elizabeth Mendoza Morales.	Pedagogía jurídica y metodología de la investigación jurídica: perspectivas en la profesionalización en docentes de derecho.
Paulina Lizbeth Carmona – Vargas, Carlos Alberto Morales-Rocha, Perla Viridiana Ocampo-Anguiano y Santiago Marisela Ahumada - Sol rzano.	Extracción y purificación de DNA genómico en muestras fecales de ratón con obesidad inducida.
Rebeca Xilotl Jurado, Ileri A. Carbajal Valenzuela, Ramón G. Guevara González, Adrián E. Ortega Torres.	Incremento del fósforo disponible en composta madura.
Santiago García Huerta, Angélica Godínez Oviedo.	Estudio del comportamiento de <i>Salmonella enterica</i> en un modelo gastrointestinal <i>in vitro</i> .
Santiago Martínez García, Beatriz Rosas Rodríguez.	Discriminación por orientación sexual e identidad de género en México.
Sofia Esther Gaytán Teissier, Dr. Rafaela Monje Torres.	AMOR, ROMANCE, MATRIMONIO Y TÉ



Profesionalización de docentes de derecho: Método de estudio de casos con enfoque de género

Abigail Isassi Sánchez¹; Elizabeth Mendoza Morales²

Resumen

La presente investigación aborda la profesionalización de docentes de derecho mediante la implementación del método de estudio de casos con enfoque de género, articulando técnicas de Pedagogía jurídica y Metodología de la investigación jurídica. La técnica fue aplicada en la elaboración de un trabajo de tesis centrado en el análisis de tres sentencias paradigmáticas de la Corte Interamericana de Derechos Humanos en relación con la categoría de violencia sexual como forma de tortura. Los resultados evidencian que el uso del método propuesto favorece el pensamiento crítico, la apropiación de estándares internacionales, la capacidad argumentativa y el desarrollo de habilidades sensibles a contextos de vulnerabilidad.

Palabras clave: profesionalización de docentes de derecho, pedagogía jurídica, metodología de investigación jurídica, estudio de casos, enfoque de

género, Corte Interamericana de Derechos Humanos y violencia sexual.

Abstract:

This research addresses the professionalization of law professors through the implementation of the case study method with a gender perspective, combining techniques from legal pedagogy and legal research methodology. The method was applied in the development of a thesis focused on the analysis of three landmark rulings issued by the Inter-American Court of Human Rights concerning sexual violence as a form of torture. The findings show that the proposed method fosters critical thinking, the appropriation of international legal standards, argumentative skills, and the development of competencies sensitive to contexts of structural vulnerability.

Key words: law teacher professionalization, legal pedagogy, legal research methodology, case study method, gender perspective, Inter-American Court of Human Rights and sexual violence.

Introducción

Este trabajo deriva del proyecto “Fortalecimiento de la profesionalización y formación de docentes de derecho con base en la Pedagogía jurídica y la Metodología de investigación jurídica a través de la investigación acción”³ pero se vincula con la implementación de una estrategia didáctica efectiva, se trata del método de estudio de casos para integrar la perspectiva de género en la enseñanza universitaria.

Derivado de la constante transformación del derecho mexicano a través de reformas importantes⁴ que son

¹ Estudiante de noveno semestre de la Licenciatura en Derecho de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ) (aisassi23@alumnos.uaq.mx)

² Investigadora y docente de la Facultad de Derecho de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ) (elizabeth.mendoza@uaq.mx)

³ Proyecto registrado en la Facultad de Derecho de la Universidad Autónoma de Querétaro, con el número de registro FDE202404;

responsable técnica: Dra. Elizabeth Mendoza Morales. Estudiante colaboradora: Abigail Isassi Sánchez.

⁴ Tal como la reforma constitucional en materia de derechos humanos de 2011, la reforma al sistema penal acusatorio o recientemente la Reforma al Poder Judicial en México de 2019.

parteaguas para el nuevo ejercicio de la profesión y que álgidamente avanza a campos innovadores con un enfoque predominante en derechos humanos, cuyos estándares de aplicación no siempre son teóricos sino mas bien prácticos, ha surgido la necesidad de enfrentar la enseñanza del derecho a través de una metodología estratégica que favorezca el desarrollo del pensamiento crítico y análogo del alumnado.

El método de estudio de casos, popularmente utilizado en la universidad de Harvard desde 1924⁵, propone una metodología pedagógica efectiva que toma en cuenta factores relevantes para la toma de decisiones jurídicas y la resolución de casos. Permite exponer al alumnado el contexto en que se desarrollaron los hechos -político, histórico, cultural, social y sobretodo jurídico-, motivar al estudio independiente y previo, conocer las diversas soluciones en casos similares, discutir activamente evitando monólogos limitativos y colectivizar el conocimiento. La utilidad, sobretodo resulta del estudio de casos difíciles, es decir, aquellas sentencias hito en el ejercicio del derecho mexicano e internacional.

Actualmente, los estándares internacionales, para resolver los casos sometidos a la competencia de órganos jurisdiccionales, utilizan una metodología de citación de diversos fallos que anteceden. Así, la jurisprudencia impuesta de forma reiterativa se ha consolidado como doctrina vigente aplicada por un órgano de suma relevancia en los sistemas regionales, la Corte Interamericana de Derechos Humanos (Corte IDH en adelante)⁶.

La práctica de la Corte IDH se enfoca mayoritariamente en el uso de jurisprudencia de

diversas instancias internacionales como criterios orientadores para resolver asuntos de su jurisdicción. Particularmente en materia de género, la Corte se ha pronunciado a través de la resolución de diversos casos contenciosos relacionados con categorías aún mas específicas: la violencia sexual como forma de tortura.

Objetivo

Incidir en el fortalecimiento de la profesionalización y formación de docentes de derecho con base en la Pedagogía jurídica a través de la investigación acción.

Metodología

La presente investigación se enmarca dentro de un enfoque cualitativo, sustentado en la metodología de investigación acción. En concreto, el implemento de la estrategia didáctica basada en el método de estudio de casos difíciles con enfoque de género, fue aplicada para la realización de un trabajo de investigación con formato de tesis para la obtención del grado de licenciatura.

Se realizó un diagnóstico inicial a través de reuniones continuas para la selección de una categoría específica, en el caso concreto, el uso de violencia sexual como forma de tortura en los contextos de conflicto interno, represión política y militarización en América Latina.

Se intervino para la búsqueda y posterior asignación de casos contenciosos resueltos por la Corte IDH resaltando aspectos como contextualización, fondo y reparaciones. En el particular se determinó el estudio de tres casos difíciles: *Penal Miguel Castro Castro Vs. Perú*, *Fernández Ortega Vs. México* y *Mujeres*

⁵ TALANCÓN Gabriela y Luis F. PÉREZ. *Nuevas practicas hacia la renovación de las practicas de enseñanza de derechos humanos*, El método de estudio de casos complejos para la enseñanza del derecho con enfoque de derechos humanos, México, Consejo de la Judicatura Federal, p. 38.

⁶ BUSTAMANTE Arango, Diana M. "La violencia sexual como tortura. Estudio jurisprudencial en la Corte Interamericana de Derechos Humanos", en *Revista Facultad de Derecho y Ciencias Políticas*, Medellín, año 2014 volumen 44 julio-diciembre de 2014, pp.

Víctimas de Violencia Sexual en Atenco Vs. México. La selección atendió principalmente a un criterio de cronología y relevancia en el fondo para determinar la evolución jurisprudencial.

Finalmente, se evaluó el desarrollo de la alumna mediante revisiones periódicas del mismo trabajo de investigación con seguimientos de análisis documental de los casos seleccionados.

Resultados

La incorporación del método de estudio de casos con enfoque de género para la elaboración de un trabajo con formato de tesis contribuyó a fortalecer la profesionalización de docentes de derecho permitiendo superar los modelos tradicionales centrados en la memorización normativa. Además, la técnica aplicada tiene bases en la pedagogía jurídica y estimula la investigación jurídica pues favorece ampliamente el desarrollo de pensamiento crítico y de habilidades argumentativas sensibles a la diversidad de contextos sociales. Asimismo, permitió el amplio dominio de una categoría con estándar internacional y presencia global, cuya relevancia deviene de la imperante necesidad de erradicar las prácticas de tortura y atender los impactos diferenciados que sufren las mujeres víctimas de violencia sexual para reiterar las obligaciones del Estado mexicano contenidas en el artículo 1, párrafo tercero de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos de promover, respetar, proteger y garantizar los derechos humanos en congruencia con los principios de universalidad, interdependencia, indivisibilidad y progresividad, debiendo prevenir, investigar, sancionar y reportar las violaciones a los derechos humanos.

Máxime, el estudio de casos contenciosos de la competencia de la Corte permitió la familiarización con el estándar internacional de la aplicación de instrumentos normativos, el reconocimiento de

sujetos de derecho, la clasificación de nuevos grupos vulnerables y el tratamiento especial que exige, clarificación en la observancia de las obligaciones internacionales que vinculan a los Estados parte; análisis, búsqueda y comparación de tendencias, patrones y comportamiento en la toma de decisiones de los órganos jurisdiccionales, y finalmente el reconocimiento de áreas de oportunidad para futuras investigaciones.

Asimismo, el uso de una estrategia basada en la pedagogía jurídica y la investigación jurídica, permitió enfrentar adecuadamente la exigencia de parámetros de legalidad aplicables en los casos difíciles, confrontar información, conocer la argumentación de ambas posturas y pensar en vías de transformación social.

Los beneficios de fortalecer la profesionalización de los docentes de derecho a través del método de estudios de casos complejos también impacta en el desarrollo de habilidades blandas como empatía y sentido de responsabilidad, pues conocer el contexto del caso difícil, permitió generar consciencia sobre la magnitud del impacto de los actos de tortura y violencia sexual que atravesaron a las víctimas, evitando concebirlas como cifras de una estadística sobre la alza de violencia y en su lugar reflexionar entorno al derecho a vida y a la dignidad.

El uso de una estrategia pedagógica jurídica promovió aprendizaje significativo que se concretó en el estudio profundo de los casos seleccionados, la indagación de litis complejas que a su vez requieren la aplicación de metodologías como test de proporcionalidad, de razonabilidad o ponderación de derechos humanos.

Además, enlazó el uso de tecnología, para la sistematización de los criterios jurisprudenciales que permitieron formular nuevas preguntas de investigación:

Categorías generales	2005-2010	2011-2015	2016-2020	2021-2025
A. Masacre durante conflictos armados internos.	1F, 2C, 3A, 4B, 5B	6A, 7A, 8E, 9D, 10C, 11B, 12C	13A, 14D, 15F, 16E, 17G, 18G, 19B, 20G e I	21C, 22H, 23F, 24I, 25E, 26H, 27E, 28E, 29D
B. Violencia sexual y tortura contra mujeres (incluyendo indígenas).		1. Caso Penal Miguel Castro Castro		
C. Femicidio y desaparición de mujeres.		2. Caso González y otras ("Campo Algodonero")		
D. Esterilización forzada de mujeres y violencia obstétrica.		3. Masacre de las Dos Erres		
E. Desaparición forzada durante dictaduras o conflictos internos.		4. Fernández Ortega y otros		
F. Violencia estatal y abusos por fuerzas de seguridad.		5. Rosendo Cantú y otros		
G. Violencia sexual y explotación.		6. Masacres de Río Negro		
H. Protección a periodistas y defensores de derechos humanos.		7. Masacres de el Mozote y legares aledaños		
I. Criminalización de los derechos reproductivos		8. Gudiel Álvarez y otros ("Diario Militar")		
		9. J. Vs. Perú		
		10. Veliz Franco y otros		
		11. Espinoza González		
		12. Velásquez Paiz y otros		
		13. Miembros de la Aldea Chichupac y comunidades vecinas del municipio de Rabinal		
		14. I.V. Vs. Bolivia		
		15. Favela Nova Brailia		
		16. Gutiérrez Hernández		
		17. V.R.P., V.P.C. y otros		
		18. López Soto y otros		
		19. Mujeres Víctimas de tortura sexual en Atlenco		
		20. Guzmán Albarracín y otras		
		21. Vicky Hernández y otras		
		22. Bedoya Lima y otra		
		23. Barbosa de Souza y otros		
		24. Manuela y otros		
		25. Maidanik y Otros		
		26. Digna Ochoa y familiares		
		27. Brites Arce y otros		
		28. Angulo Losada		
		29. Rodríguez Pacheco y otra		

Tabla 1. La tabla muestra la evolución de las tendencias temáticas de los casos contenciosos competencia de la Corte IDH desde 2006 hasta 2023, únicamente de aquellas sentencias que condenaron a Estados parte por incumplimiento de la Convención Interamericana para Prevenir, Sancionar y Erradicar la Violencia contra la Mujer (Belem do Pará).

Los hallazgos descritos anteriormente se traducen concretamente en el desarrollo de una investigación cuyo objetivo consistió en indagar sobre la categoría de violencia sexual como tortura en conflictos internos latinoamericanos en el marco del derecho internacional en relación con el sistema interamericano a través de tres casos paradigmáticos estudiados por la Corte IDH.

Así, derivó en el planteamiento de una hipótesis de investigación que se puede resumir en la necesidad de estudiar con tratamiento diferenciado la violencia sexual cuando ocurre en conflictos armados aún si son

internos y no internacionales como lo plantea el Estatuto de Roma de la Corte Penal Internacional (CPI), pues las características propias y particulares de la región, cuya competencia contenciosa pertenece a la Corte IDH, son determinantes para la resolución de casos difíciles, dicho tratamiento diferenciado permitirá sancionar adecuadamente los actos de violencia sexual como forma de tortura y reparar proporcionalmente en beneficio de las víctimas.

El enfoque de investigación jurídica que manejaron los docentes involucrados en el acompañamiento del trabajo de investigación con formato de tesis permitió concluir observaciones relevantes (se enuncian algunas) relacionadas con el fondo de las tres sentencias revisadas⁷:

- Las prácticas de violencia sexual han sido perpetuadas desde hace mas de tres décadas y desafortunadamente es una temática vigente.
- El tratamiento de violencia sexual como tortura es viable en los contextos de abuso de poder por parte de miembros estatales y grupos ilícitos organizados.
- La evolución jurisprudencial ha desarrollado algunos criterios para tomar en cuenta el contexto de la región latinoamericana.
- La jurisprudencia de la Corte IDH se ha consolidado fuertemente y su obligatoriedad permite un estudio integral de casos específicos posteriores, aunque aún no se cubren todos los parámetros como ocurre en otros tribunales internacionales.

Discusión y conclusiones

El acompañamiento de la docente con enfoque pedagógico y de investigación, ambos jurídicos, en la revisión de bibliografía relacionada con los casos

⁷ Corte Interamericana de Derechos Humanos. *Cuadernillo de jurisprudencia de derechos humanos de las mujeres*, cuarta edición, 2021.

seleccionados y el uso de la metodología de estudio de casos en tres etapas: estudio independiente, diálogo sistemático y evaluación del aprendizaje fue determinante para la formación de la alumna investigadora y para el desarrollo del trabajo con formato de tesis.

La metodología de estudio de casos aplicada en tres etapas, permitió articular los conocimientos normativos con el análisis de casos difíciles. Lo anterior facilitó la comprensión de la categoría de violencia sexual como forma de tortura, así como la aplicación de estándares internacionales en litigios de competencia interamericana.

El análisis de los hallazgos resultó en el cumplimiento del objetivo planteado, la herramienta pedagógica aplicada al caso particular incidió en el fortalecimiento de la profesionalización y la formación de docentes de derecho con base en la Pedagogía jurídica y la Metodología de la investigación jurídica mediante la investigación acción.

Para el trabajo de investigación con formato de tesis en el que se aplicaron las técnicas referidas, se dio cuenta de la posibilidad de emplear la jurisprudencia de la Corte IDH como un recurso didáctico de alto valor pedagógico en tanto que permite discutir temas complejos como la tortura sexual desde un enfoque práctico.

Finalmente, es la profesionalización de docentes la que enriquece la investigación cuando se conjuga desde un enfoque de metodología y pedagogía jurídica.

Agradecimientos

Se reconoce a la cátedra de investigación “Pedagogía Jurídica y Metodología de la Investigación Jurídica” por impulsar el proyecto “Fortalecimiento de la profesionalización y formación de docentes de

derecho con base en la Pedagogía jurídica y la Metodología de la investigación jurídica a través de la investigación acción” FDE202404, y sus esfuerzos activos en el acompañamiento y colaboración dentro del presente proyecto; a la Universidad Autónoma de Querétaro por la apertura de espacios de divulgación científica jurídica y los demás méritos que hicieron posible la concreción de la vigésima cuarta edición del programa Verano de la Ciencia UAQ 2025

Referencias bibliográficas

- Corte Interamericana de Derechos Humanos. *Cuadernillo de jurisprudencia de derechos humanos de las mujeres*, cuarta edición, 2021.
- Caso Fernández Ortega Vs. México. Sentencia de la Corte Interamericana de Derechos Humanos de 30 de agosto de 2010.
- Caso Mujeres Víctimas de violencia sexual en Atenco Vs. México. Sentencia de la Corte Interamericana de Derechos Humanos de 28 de noviembre de 2018.
- Caso Penal Miguel Castro Castro Vs. Perú. Sentencia de la Corte Interamericana de Derechos Humanos de 25 de noviembre de 2006.
- D. Bustamante “La violencia sexual como tortura. Estudio jurisprudencial en la Corte Interamericana de Derechos Humanos”. Revista Facultad de Derecho y Ciencias Políticas, Vol. 44, pp. 464-465. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-38862014000200003 [consultado en 2025].
- G. Talancón & L. Pérez (2021), Nuevas perspectivas hacia la renovación de las practicas de enseñanza de derechos humanos. El método de estudio de casos complejo para la enseñanza del derecho con enfoque de derechos humanos. Escuela Federal de Formación Judicial del Consejo de la Judicatura Federal México. Disponible en: <https://biblio.juridicas.unam.mx/bjv/detalle-libro/7041-nuevas-perspectivas-hacia-la-renovacion-de-las-practicas-de-ensenanza-de-derechos-humanos-coleccion-consejo-de-la-judicatura-federal> [consultado en 2025].
- Morales, E.M., & Ureta, K. E. M. (2019). El constructivismo en el ámbito jurídico al margen de la enseñanza y el aprendizaje del derecho en México. Vitam. Revista de Investigación en Humanidades, (2), 4-23. Disponible en: <https://revistavitam.mx/index.php/vitam/article/view/24/6> [consultado en 2025].

Influencia del precalentamiento de resinas en sus propiedades mecánicas

Aldo Sánchez Olivares¹;
Rubén Abraham Domínguez Pérez².

1. Licenciatura en Odontología, Facultad de Medicina, UAQ. asanchez154@alumnos.uaq.mx
2. Laboratorio de Investigación Odontológica Multidisciplinaria. Centro de Investigación Biomédica Avanzada. Facultad de Medicina, UAQ. dominguez.ra@uaq.mx

Resumen

En la odontología actual, el uso de materiales resinosos va cada vez más en aumento; estos se pueden ver ya sea en diferentes aplicaciones, presentaciones y protocolos de aplicación. El precalentamiento de resinas es una propuesta que ha comenzado a ganar popularidad entre los odontólogos por facilitar el manejo clínico; sin embargo, se ha ignorado que este protocolo pudiese alterar las propiedades mecánicas de las resinas. Materiales y métodos: Se realizaron pruebas de resistencia a la compresión y de microdureza en especímenes de resina de la marca “Forma” fabricados en forma de disco de 2 mm de grosor y 5 mm de diámetro. Se hicieron tres grupos de nueve muestras cada uno, siendo el primer grupo el “grupo control”, el segundo el grupo sometido a precalentamiento a 55°C y el tercero a precalentamiento a 68°C. Resultados: Se pudieron observar cambios en la resistencia a la compresión y en la microdureza superficial entre los dos grupos de resinas sometidas a precalentamiento a 55°C y 68°C, y el grupo control. Conclusión: El precalentar las resinas previo a su uso clínico genera cambios en sus propiedades mecánicas que se deben considerar previo a su uso en el paciente.

Palabras clave

Precalentamiento de resinas; resistencia a la compresión; microdureza superficial.

Abstract

In modern dentistry, the use of resinous materials is increasing; this can be seen in different applications, presentations, and application protocols. Preheating resins is one of the new protocols that has begun to gain popularity among dentists due to its ease of clinical management, while maintaining their mechanical properties. Materials and methods: Compressive strength and microhardness tests were performed on Forma brand resin specimens manufactured in the form of 2 mm thick and 5 mm diameter discs. Three groups of nine samples each were made: the first group was the "control group," the second the group heated to 55°C, and the third the group heated to 68°C. Results: Changes in compressive strength and surface microhardness were observed between the two groups of resins heated to 55°C and 68°C, and the control group. Conclusion: Heating resins before clinical use generates changes in their mechanical properties that must be considered before use in the patient.

Keywords

Resin preheating; compressive strength; surface microhardness.

Introducción

La odontología es una rama de la medicina que constantemente se está actualizando, y no solo en cuanto a materiales, sino también en cuanto a los protocolos y aplicaciones de estos mismos, esto sucede más notoriamente con las resinas y todo aquello que requiera un protocolo adhesivo. Enfocándonos en las resinas, éstas han tenido una larga historia desde la década pasada hasta lo que son en la actualidad, fueron introducidas al campo de la odontología conservadora para minimizar los defectos de las resinas acrílicas que desde los años 40 habían reemplazado a los cementos de silicato, hasta entonces los únicos materiales estéticos disponibles (Gómez-Díaz et al., 2017).

Sin embargo, la resina polimerizable que conocemos hoy en día no apareció hasta 1970, en la cual mediante radiaciones electromagnéticas se evitaba la mezcla y sus inconvenientes. Se utilizó en los primeros momentos la energía luminosa de una fuente de luz ultravioleta (365 nm), pero ante sus efectos iatrogénicos y su poca profundidad de

polimerización, fue sustituida por la luz visible de 427-491 nm (Hervás-García et al., 2006).

Mientras las resinas iban mejorando sus componentes para otorgar mejores resultados clínicos, los protocolos también lo iban haciendo a la par. Con el paso de los años han existido diferentes tipos de adhesivos, los cuales se adaptan a la resina en turno. Con el paso del tiempo, la implementación de nuevos materiales en las resinas ha ayudado a mejorar estas inquietudes relacionadas con la resistencia a la contracción. Materiales como zirconia y trifluoruro de iterbio comprenden la fórmula de la resina “Forma”, una resina compuesta universal nanohíbrida con excelentes propiedades mecánicas, que logra el equilibrio entre la estética necesaria para restauraciones directas y la resistencia y la estabilidad de color que requiere una restauración de alta durabilidad clínica, aun en capas muy delgadas (Campos-Lozano et al., 2018).

La ventaja principal en la utilización de la zirconia nanométrica en relación con la sílice coloidal es la posibilidad de agregar más zirconia que sílice en la mezcla de la resina. Esto trae dos beneficios: más carga y, consecuentemente, menos monómeros, lo que equivale a mayor resistencia mecánica (Campos-Lozano et al., 2018).

Un concepto relativamente reciente, el precalentado, introducido por Friedman en 2001, presume mejorar las características mecánicas de las resinas, tales como mejorar su longevidad y reducir el estrés por polimerización, adaptabilidad superior y mejora en el tiempo de curado. Los estudios relacionados con el precalentamiento continúan, sobre todo para identificar si con él se da la modificación de las características mecánicas de las resinas sometidas a este protocolo. Precalentar resinas ha sido propuesto como método para incrementar el grado de conversión y, como resultado, la microdureza y resistencia a la compresión también han aumentado. A pesar de dichos estudios, se ha podido determinar que el grado de conversión varía dependiendo del tipo y color de la resina utilizada, lo que explica que pudiera haber discrepancias en dichos estudios (Bhopatkar et al., 2022).

Por esto mismo, teniendo en cuenta las ventajas mecánicas que presenta la resina “Forma” frente a otras marcas comerciales y, teniendo un protocolo relativamente nuevo, del cual la bibliografía reporta una mejoría en las características mecánicas de las

resinas sometidas al mismo, se decidió trabajar con esta resina y observar los resultados de los distintos protocolos a utilizar.

Objetivos

El presente trabajo tuvo como objetivo general identificar con cuál protocolo se presenta mayor microdureza y resistencia a la compresión de la resina fotoactivada “Forma”, con el protocolo de polimerización indicado por la casa comercial, con el protocolo que incluye un precalentamiento a 55 °C o con el protocolo que incluye un precalentamiento a 68 °C.

Metodología

El trabajo se dividió en dos fases:

Fase 1: Fabricación de los especímenes.

Fase 2: Medición de la microdureza y de la resistencia a la compresión.

Fase 1: Fabricación de las muestras

1. Se preparó con “Speedex” un molde de 5 mm de espesor, al cual se perforó con un instrumento cilíndrico formando varias “cavidades” en donde se compactó la resina para formar los especímenes en forma de disco (Figura 1).

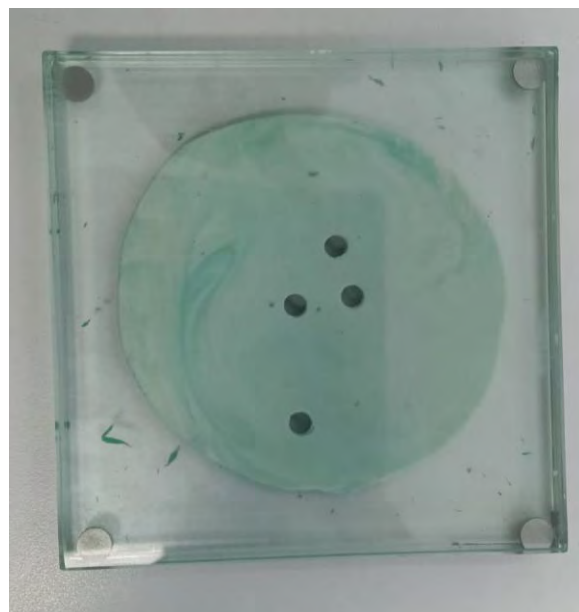


Figura 1. Elaboración de molde con Speedex.

2.- Para el protocolo indicado por el fabricante, se empacaron en las “cavidades”, de forma que no quedara ninguna burbuja ni espacio y retirando los residuos de la misma. Se presionaron con una loseta de vidrio y se fotopolimerizaron las muestras con una lámpara de fotocurado “Led VALO” de “Ultradent” por 20 segundos (cada muestra). Cabe destacar que, para el manejo del material, se utilizó una espátula de resinas genérica, con esta se empacó la resina de forma más eficaz, exacta y sin contaminar el material; esto se realizó estrictamente para cada muestra de los tres grupos.

3.- Para el protocolo de precalentamiento a 55 °C, se utilizó un baño térmico, en el cual se colocaron las jeringas de resina para ser precalentadas a 55 °C por 15 minutos (Figura 2).



Figura 2. Baño térmico

4.- Una vez precalentadas las resinas a 55°C por 15 minutos, estas fueron retiradas y colocadas en moldes de acrílico de 5 mm, teniendo un tiempo de manejo de 5 minutos.

5.- Dentro de estos 5 minutos de manejo, las muestras fueron fotocuradas 20 segundos con nuestra lámpara de fotocurado “LED VALO” de ultradent.

6.- Se prosiguió con el protocolo de precalentamiento a 68 °C, colocando las jeringas de resina Forma en el baño térmico a 68 °C por 15 minutos (Figura 3).

7.- Pasado el tiempo, a la temperatura indicada, se retiraron las jeringas de resina para colocarlas en los moldes, teniendo 5 minutos para su manejo una vez retiradas del dispositivo de precalentamiento.



Figura 3. Precalentado de la resina a 68 °C

8.- Aún con 5 minutos de manejo, se fotocuraron los discos de resina de 5 mm con la lámpara de fotocurado “LED VALO” por 20 segundos, para posteriormente retirarlos de los moldes.

9.- Teniendo las muestras de los tres grupos, se hizo una revisión minuciosa de cada espécimen, con la finalidad de detectar irregularidades en su conformación y así mantener un buen control de las mismas y obtener resultados fiables.

10.- Una vez seleccionadas las muestras, estas fueron almacenadas en agua destilada estéril, etiquetadas con el nombre del grupo al que pertenecen y mantenidas a 36°C por 24 horas (Figura 4).

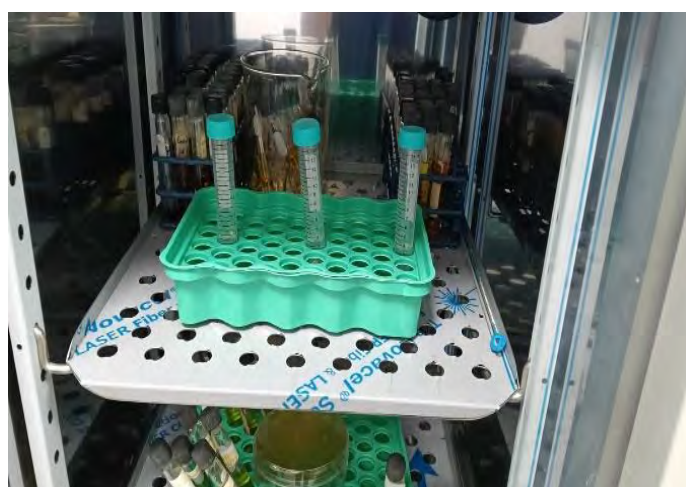


Figura 4. Almacenamiento por 24 horas en incubadora.

Fase 2: Medición de la microdureza y de la resistencia a la compresión

- 1.- Cada espécimen fue montado en un microdurómetro (CMS Metrology) y se midieron tres puntos en cada superficie aplicando una fuerza de 2.9 newtons durante 15 segundos. Los valores Vickers fueron recolectados en una base de datos (Figura 5).
- 2.- Se utilizaron los mismos especímenes para realizar la prueba de resistencia a la compresión. Se colocaron entre las platinas de la máquina universal de pruebas (CMS Metrology) y se programó a una velocidad de cruce de 1 mm por minuto. Los valores fueron recolectados en newtons en una base de datos (Figura 6).

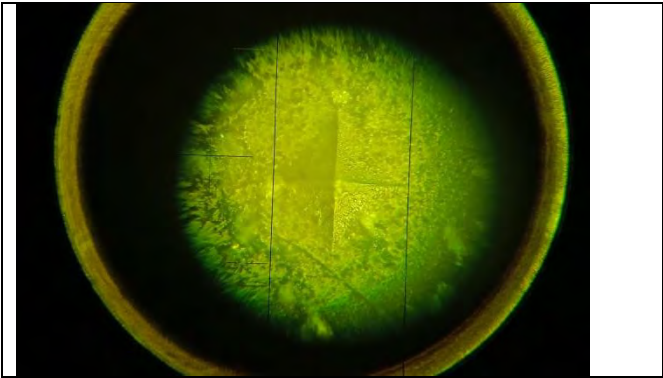


Figura 5. Vista microscópica de la superficie de un disco de resina. Se puede observar la indentación realizada en la superficie.

- 3.- Los datos obtenidos con cada una de las pruebas fueron analizados. Se calcularon promedios y desviaciones estándar y se aplicaron las pruebas estadísticas pertinentes. Se consideró estadísticamente significativo un valor de $p < 0.05$



Figura 6. Detalle de las prensas de la maquina universal de pruebas

Resultados

Se logró observar un cambio en las características mecánicas de las resinas al ser sometidas a los protocolos de precalentamiento, más específicamente, en su microdureza superficial. Los resultados se muestran en el cuadro 1, en el cual se observa que existe una diferencia estadísticamente significativa en cuanto a la microdureza superficial al comparar los tres grupos (Control, a 55 °C y a 68 °C). Por otra parte, esto no se observa con respecto a la resistencia a la compresión. La microdureza superficial de las resinas precalentadas a 68 °C resultó mayor que la del grupo control y a las precalentadas a 55 °C, además de que la desviación estándar fue menor. Esto no solo demuestra que precalentar la resina a 68°C da una microdureza superficial superior, sino también es más predecible, lo cual se convierte en certeza en los tratamientos realizados con esta resina.

Cuadro 1. Comparación de los valores de resistencia a la compresión (N) y de la microdureza superficial (HV) de los 3 grupos.				
	Grupo control n=9	Precalentamiento a 55°C n=9	Precalentamiento a 68°C n=9	Valor de p
X ± DE (Rango)				
Microdureza superficial	43.37±11.7	61.00 ±10.6	61.65±3.7	0.0004*
Resistencia a la compresión	461.10±82.5	450.45±129.4	485.65±129.4	0.5800
HV: Vickers; N: Newtons. Prueba de Anova.				

Discusión

El empleo de nuevos protocolos, como lo es el precalentado, con fines de obtener una mejor manejabilidad y un ajuste marginal mayor, ha ido en aumento conforme los estudios avanzan; sin embargo, el número de marcas va en aumento también, dificultando la elección del protocolo adecuado para cada marca en el mercado.

Simplificando a dos protocolos para la resina “Forma” se obtuvieron resultados que responden a la pregunta con claridad, teniendo cambios significativos en las propiedades mecánicas entre ambos protocolos con el grupo de control, pero no de la misma manera cuando se comparan ambos protocolos de precalentado.

No hay una relación directa entre el aumento de la temperatura de precalentado y el aumento o disminución de las características mecánicas de la resina. Cuando la temperatura aumenta, los resultados tienden a ser más parecidos entre sí, mientras que cuando más baja la temperatura, los resultados se dispersan. Esto se puede traducir a una mejor predictibilidad en nuestras restauraciones cuando la temperatura de precalentado es de 68 °C comparada con 55 °C.

Conclusión

Ambos protocolos de precalentamiento mostraron un cambio en la microdureza superficial y en la resistencia a la compresión comparados con el grupo control; dichos cambios deben ser tomados en consideración por el operador a la hora de hacer uso de esta resina para otorgar tratamientos mejor controlados y más predecibles.

Agradecimientos

Agradecemos al Programa de Verano de la Ciencia UAQ 2025 por permitirnos participar.

Agradezco al Dr. Rubén por su apoyo, asesoramiento y enseñanza continua durante este proyecto.

Referencias bibliográficas

- Acurio-Benavente, P., Falcón-Cabrera, G., Casas-Apayco, L., Montoya Caferatta, P. (2017). Comparación de la resistencia compresiva de resinas convencionales vs resinas tipo Bulk fill. *Odontología Vital*, 27, 69–77.
- Bhopatkar, J., Ikhar, A., Chandak, M., Mankar, N., & Sedani, S. (2022). Composite Pre-heating: A Novel Approach in Restorative Dentistry. *Cureus*, 14(7).
- Bredgette, K., Gahona, C., Roberto, B., Bravo, M., Efraín, S., Coronel, V., Fernando, P., & Criollo, S. (2023). Evolución y efectividad de los sistemas adhesivos de séptima y octava generación en restauraciones directas. una revisión. *Revista Científica Odontológica*, 11(4), e178.
- Flury, S. (2012). Principios de la adhesión y de la técnica adhesiva. *Quintessence*, 25(10), 604–609.
- Gómez-Díaz, Vargas-Quiroga, E., & Brenda-Pattigno Forero Dra Lesbia Tirado Amador, D. (2017). Some considerations on absolute isolation. *Medisan*, 21(10), 3066.
- Leal-Fonseca, A. P., & Hernández-Molinar, Y. (2018). Evolución de la odontología. *Oral*, 17(55), 1418–1426.
- Ramos-Sánchez, Ramírez, N. C., & Medina, R. F. (2015). Adhesión convencional en dentina, dificultades y avances en la técnica. *Revista Facultad de Odontología Universidad de Antioquia*, 26(2), 468–486.
- Rodríguez G, D. R., & Pereira S, N. A. (2008). Evolución y tendencias actuales en resinas compuestas. *Acta Odontológica Venezolana*, 46(3), 381–392.
- Choudhary, N., Kamat, S., Mangala, T. M., & Thomas, M. (2011). Effect of pre-heating composite resin on gap formation at three different temperatures. *Journal of Conservative Dentistry*, 14(2), 191–195.
- Hervás García, A., Angel, M., Lozano, M., Cabanes Vila, J., Escribano, A. B., Galve, P. F., Adela, D., & García, H. (2006). Resinas compuestas. Revisión de los materiales e indicaciones clínicas.
- Martins, G. C. (2008). Microdureza de resinas compuestas fotoactivadas con lámpara halógena y LEDs. *Rev. Fed. Odontol. Colomb*, 30–37.

Presupuesto y beneficiarios de los programas sociales: Diferencias entre gobiernos estatales con y sin alternancia partidista

Andrea Xiadani Cisneros Jaramillo
Enrique Leonardo Kato Vidal
Universidad Autónoma de Querétaro

Abstract.

La elaboración de este trabajo surge de varias incógnitas y dificultades. Primero, existe incertidumbre sobre el desempeño de los programas sociales en las diferentes entidades federativas. Esta incertidumbre se acentúa por el partido político que gobierna en cada estado. Segundo, el acceso a la información es complicado respecto a los datos relacionados a los programas sociales y al número de personas beneficiadas. Por ello, el objetivo de este trabajo es analizar la influencia de los partidos políticos en el diseño de la política social y en la implementación de los programas sociales en los estados de México. Para lograrlo, se realizó una comparación de tres variables clave: el presupuesto social, los programas, y el número de beneficiarios. Se utilizaron datos de dos años: 2021, que corresponde al último año de la gubernatura saliente, y 2023, que marca el segundo año de la gubernatura entrante, lo que permitió observar los posibles cambios de la política social debido al relevo de los gobiernos estatales.

Las hipótesis postuladas se lograron verificar ya que se identificó un patrón entre la cobertura social y la ideología partidista del gobierno en el poder. Estos resultados son relevantes para la sociedad, ya que evidencian que el cambio de ideología partidista no es sinónimo de una mejora en la política social. Esto a su vez, subraya la necesidad de la evaluación a programas sociales, con el objetivo de garantizar la transparencia y rendición de cuentas que permitan asegurar la eficiencia de los programas.

Introducción

Los programas sociales funcionan como estrategia por parte de los gobiernos para disminuir las desigualdades dentro de la sociedad y mejorar las condiciones de vida de los sectores más vulnerables. Sin embargo, los partidos políticos y sus respectivas ideologías en las distintas entidades federativas pueden influir en su diseño e implementación. Además, la falta de información accesible acerca del presupuesto, el número de beneficiarios y la cantidad de programas dificulta una correcta evaluación y limita la rendición de cuentas.

La Encuesta Nacional de Victimización y Percepción sobre Seguridad Pública (ENVIPE) del INEGI, aplicada en los años 2021 y 2023 expone los principales problemas sociales que afectan a las entidades federativas analizadas en este trabajo, fenómenos como la inseguridad, corrupción, salud, desempleo, entre otros. Esta información permite establecer criterios para evaluar si los programas responden directamente a las necesidades expresadas por la población.

Como señala Said (2021), los partidos políticos cargan con ellos ideologías, objetivos prioritarios y estrategias determinadas para solucionar los mismos problemas sociales. Así, este trabajo se constituye por las siguientes preguntas: ¿Cómo varían los programas sociales, el número de beneficiarios en las entidades federativas donde hubo cambio de partido en el poder después de 2021? y ¿Existe una relación entre el aumento o disminución del presupuesto y el número de personas beneficiadas?

Diversas investigaciones han analizado la influencia de la ideología y la política social, Borges (2014) encontró que los gobiernos con orientación ideológica a la izquierda tienden a destinar un mayor gasto social, mientras que Ramírez (2024) analizó el tipo de beneficiarios que los partidos orientados hacia la izquierda tienen más probabilidades de beneficiar a niños, estudiantes o adultos mayores mientras que los que tienen una mayor inclinación a la derecha, buscan apoyar a los productores primarios o empresarios.

Con base en lo anterior, el objetivo de este análisis fue medir los cambios en la cobertura y presupuesto de los programas sociales al inicio y final de los gobiernos estatales, con y sin alternancia partidista, para documentar la relación entre ideología política y el diseño de la política social. Además, este trabajo busca contribuir a la

discusión sobre el papel de los partidos políticos en la ejecución de la política social por medio de una comparación práctica entre siete entidades federativas (Ciudad de México, Chihuahua, Guanajuato, Morelos, Nuevo León, Querétaro y Veracruz) clasificadas en dos grupos: tratamiento (estados en los que hubo alternancia política) y grupo de control (donde no hubo alternancia).

Una de las principales dificultades para este trabajo fue el amplio universo de la política social, ideología partidista y programas sociales. Así como el limitado acceso a información sobre beneficiarios y programas a nivel subnacional de diferentes años. No obstante, usando bases de datos provenientes del INEGI se busca identificar patrones de variación entre ambos grupos y explorar si existe una relación entre el presupuesto y las personas beneficiadas.

Metodología

En este trabajo se estudió la variación en el presupuesto social, el número de programas y el número de beneficiarios en siete diferentes estados de México: Ciudad de México, Chihuahua, Guanajuato, Morelos, Nuevo León, Querétaro y Veracruz, se eligieron las entidades federativas con base en su variación o permanencia del partido político en el poder y se clasificaron en grupos de tratamiento (con alternancia) y control (sin alternancia) [Ver figura 1].

Figura 1 México: La muestra de estados analizados

Partido político	Tipo	Entidad	Hipótesis
PAN=>PAN	Control	Chihuahua	S/C
MORENA=> MORENA	Control	Ciudad de México	S/C
PAN=> PAN	Control	Guanajuato	S/C
PAN=>PAN	Control	Querétaro	S/C
PRD => PES	Tratamiento	Morelos	Cambio
Independiente=> MC	Tratamiento	Nuevo León	Cambio
PAN/PRD=> MORENA	Tratamiento	Veracruz	Cambio

Nota. PAN: Partido Acción Nacional, MORENA: Partido Movimiento de Regeneración Nacional, PRD: Partido de la Revolución Democrática, PES: Partido Encuentro Social, MC: Partido Movimiento Ciudadano. 's/c' indica sin cambio y 'cambio' indica una modificación sustancial a la política social. Fuente: Elaboración propia con base en los resultados electorales de 2021.

Las variables elegidas para analizar los alcances de los programas sociales fueron: 1) presupuesto estatal ejercido dirigido a programas sociales, 2) número total de programas sociales y 3) número total de personas beneficiadas (ver figura 2), estas variables permiten una adecuada comparación entre los estados en los diferentes periodos de tiempo. Además con objetivo de facilitar la comparación se calcularon las variables por cada mil habitantes respecto a la población de cada entidad en 2020 lo que permite vislumbrar el alcance real de los programas.

Figura 2. Definición de variables.

Variable	Definición
Presupuesto a programas sociales	Monto anual en millones de pesos (2023=100)
Beneficiarios	Número de hombres y mujeres que recibieron apoyos
Programas sociales	Número de programas de los gobiernos estatales
Monto de beneficio	Pesos recibido por cada beneficiario (=Presupuesto / beneficiarios)

Fuente: Elaboración propia. Nota. 2023=100 significa que las cifras están expresadas a precios constantes de 2023.

La información presenta elevada variabilidad. Por ejemplo, hay programas que se reportan aunque no hayan recibido presupuesto. En el otro extremo hay programas que reportan que el total de la población estatal es beneficiaria. Para lograr comparabilidad se utilizó como criterio que los programas sociales simultáneamente tuvieran como mínimo un millón de pesos anuales de presupuesto y como máximo 500 mil beneficiarios. Esto implicó excluir los programas tanto los programas con muy baja cobertura, como aquellos cuyo alcance era prácticamente el total de la población. De esta forma, los resultados que se presentan describen el 72% de los programas sociales y entre el 50% y 80% del presupuesto; el primer dato incluye CDMX y Veracruz con programas de alta cobertura, y el segundo los excluye.

En los anexos se ofrecen las estadísticas sin aplicar criterios de comparabilidad y también aplicando un criterio menos restrictivo (ver anexos).

Se postularon las siguientes hipótesis:

- H1: La continuidad de un partido en la gubernatura estatal implica ligeros -o nulos- cambios en la estrategia de política social.

- H2: La ideología del partido ganador orienta la política social; los partidos alineados a la izquierda dan mayor cobertura social y los de derecha minimizan la protección social.
- H2-bis: Los estados que tienen alternancia a la izquierda incrementan su protección social; y los que transitan a la derecha reducen su protección social.
- H3: En años electorales los gobiernos de todas las ideologías aumentan la cobertura social esperando rentabilidad política.

Se utilizó información del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI), especialmente se hizo uso de los datos abiertos del Censo Nacional de Gobiernos Estatales (CNGE) de los años 2022, 2023 y 2024 teniendo en cuenta que los censos exponen información del año previo. Esta temporalidad permite contrastar las características de la política social en el último año de gobierno (2021) y los primeros dos años de los gobiernos entrantes (2022 y 2023). Proporcionando información relevante sobre las preferencias de distintos gobiernos. Se optó por un enfoque cuantitativo basado en estadística descriptiva, mediante la comparación entre los años de 2021, 2022 y 2023, se elaboraron tablas que permitieran una comparación e interpretación de los datos.

Resultados

En la cercanía a tiempos electorales la política social sufre importantes variaciones independientemente de la ideología partidista.

En la figura 3 se puede observar que los estados correspondientes al grupo de control -sin alternancia partidista- (CDMX, Chihuahua, Guanajuato y Querétaro) reflejan una tendencia estable respecto al presupuesto por beneficiario durante el primer periodo del gobierno, es decir existió una continuidad en el presupuesto en la mayoría de los casos. Sin embargo, Chihuahua refleja un fuerte crecimiento en esta variable durante el 2022 (un año después de las elecciones) bajo el mandato de María Eugenia Campos (2021-2027), a pesar de que no hubo alternancia política sí ocurrió una redefinición importante en la administración de la política social.

La Ciudad de México (con un partido con ideología de izquierda en el poder) después de los primeros tres años descendió significativamente, sin embargo, es importante señalar que la CDMX pasó del primer al segundo puesto en el monto otorgado por beneficiario a nivel nacional, sólo después de Chihuahua.

Los estados con alternancia política (Morelos, Nuevo León y Veracruz) muestran un crecimiento constante en el presupuesto correspondiente a beneficiario [Ver Figura 3] a excepción de Nuevo León que experimentó un descenso en el segundo año del nuevo gobierno.

En el caso de Morelos, Cuauhtémoc Blanco fue gobernador del estado durante el periodo 2018-2024 sin embargo, se ausentó dos veces del cargo, la primera ocasión fue entre el 17 de diciembre de 2021 y el 2 de enero de 2022.

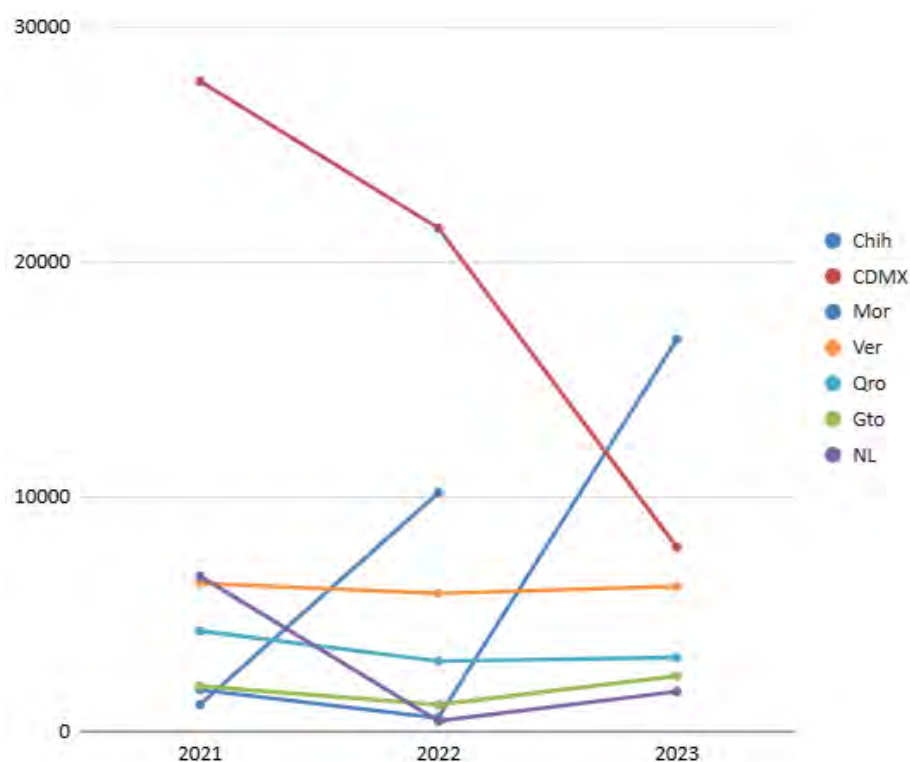
La segunda ausencia ocurrió debido a que solicitó una licencia para postularse como diputado federal por lo que se ausentó del 4 de abril al 2 de junio, tras las elecciones retomó el cargo del 3 al 31 de agosto, finalmente el gobernador sustituto, Samuel Sotelo Salgado concluyó la titularidad del gobierno del 1 al 30 de septiembre de 2024. A pesar de la limitada información se logra observar que durante el 2021 y 2022 la entidad experimentó un rápido crecimiento lo que se puede interpretar como una expansión del gasto social durante la segunda mitad del periodo.

Tres de las cuatro entidades con mayor monto por beneficiario son estados con un partido de ideología partidista orientada hacia la izquierda, esta observación permite comprobar la Hipótesis H2.

Por otro lado, en cuanto al número de beneficiarios, se observa una tendencia creciente en los estados sin alternancia durante la segunda mitad del periodo como en el caso de Querétaro que pasó de 54 mil beneficiarios en 2021 a 105 mil en 2023 o Chihuahua en donde en 2021 se beneficiaron a 888 mil personas y en 2023 a un millón de personas.

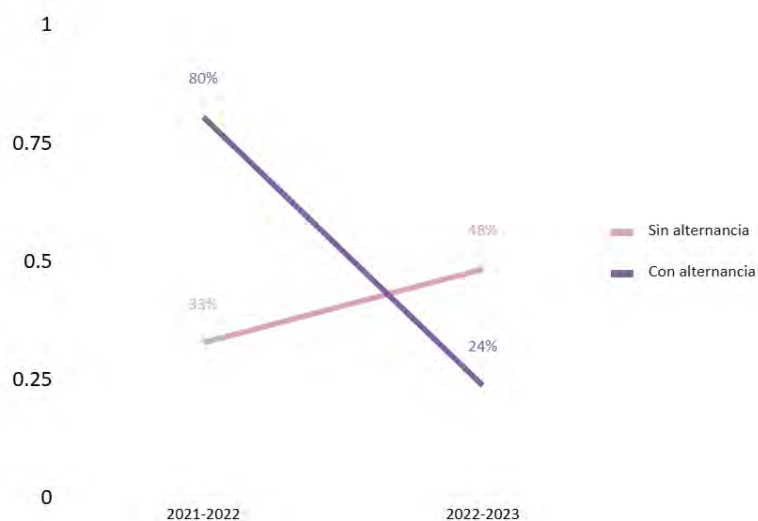
Mientras que en los estados con alternancia tiende a disminuir de forma drástica, incluso a pesar del aumento en el presupuesto ejercido [Ver Figura 3]. Morelos descendió de 8 755 pesos en 2021 a 1 475 pesos por beneficiario en 2022. Hubo limitada información sobre los beneficiarios durante 2023 en Morelos.

Figura 3 Presupuesto por beneficiario (pesos 2023=100)



Fuente: Elaboración propia con datos de CNGE.

Figura 4 Beneficiarios: Durante y después de la elección 2021



Fuente: Elaboración propia con datos de CNGE.

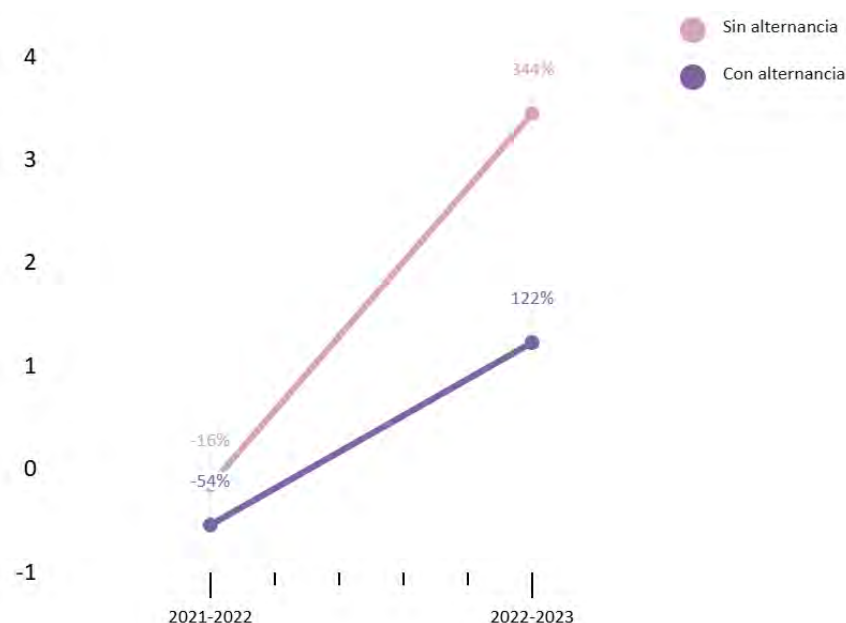
Respecto al presupuesto total destinado a los programas sociales, en ambos grupos se observa un aumento constante en esta variable, en los estados sin alternancia aumentó 344%, mientras que en los sí hubo un 122% de 2022 a 2023. Esta información apoya la Hipótesis H3 la cual plantea una relación entre el tiempo

electoral y el aumento en el gasto social con el objetivo de obtener beneficios políticos, lo que a su vez contradice la Hipótesis H1 ya que en aquellos estados donde no hubo alternancia se distinguen fuertes alcances en programas sociales.

Como se mencionó anteriormente, [Ver Figura 3] los estados en la parte superior (CDMX, Morelos y Veracruz) tienen a un partido con ideología partidista orientada a la izquierda, mientras que los estados que se encuentran en la parte baja (Querétaro y Guanajuato), es decir que destinan menor cantidad de presupuesto por beneficiario, son entidades gobernadas por partidos alineados a la derecha.

Existen dos excepciones, el estado de Chihuahua que igualmente es gobernado por un partido de centro-derecha.

Figura 5 Presupuesto: Durante y después de la elección 2021



Fuente: Elaboración propia con datos de CNGE.

Discusión y conclusiones

Uno de los principales problemas a nivel nacional es la pobreza, ésta afectó a más de 55 millones de personas en 2020. Por esta razón, gran parte del presupuesto de los programas es destinado a reducir este fenómeno, así como a reducir la brecha de desigualdad existente en las diferentes entidades federativas.

La pandemia de COVID-19 provocó un aumento generalizado en los niveles de pobreza a nivel mundial. En respuesta, los gobiernos subnacionales reforzaron y ampliaron la política social con el objetivo de disminuir la pobreza.

En la Figura 6 se observa que el porcentaje de población en situación de pobreza disminuyó en todos los estados analizados. Sin embargo, destaca que en los estados en los que hubo una alternancia política (Morelos, Nuevo León y Veracruz) el porcentaje demuestra una menor reducción de pobreza en comparación a los estados donde el partido político no cambió. Esto puede sugerir que al haber un cambio ideológico en el gobierno se afecta la continuidad y eficiencia a corto plazo de los programas sociales.

A su vez, es importante considerar y señalar otros factores que podrían alterar esta comparación como el desempleo, el rezago educativo y la migración existente dentro de cada entidad.

Figura 6. Población en pobreza, 2020 - 2022

Entidad	Población (millones)	Porcentaje de población en pobreza 2020	Porcentaje de población en pobreza 2022	Variación
Chihuahua	3,741,869	25.44%	17.88%	-7.56pp
Ciudad de México	9,209,944	32.67%	24.21%	-8.46pp
Guanajuato	6,166,934	42.95%	33.63%	-9.33pp
Morelos	1,971,520	51.03%	41.85%	-9.18pp
Nuevo León	5,784,442	24.64%	16.80%	-7.84pp
Querétaro	2,368,467	31.67%	22.66%	-9pp
Veracruz	8,062,579	58.90%	52.65%	-6.25pp

Fuente: Elaboración propia con datos de los Ingresos y Gastos de los Hogares- INEGI (2020-2022). Nota: La población es con base al Censo de Población y Vivienda 2020- INEGI. Nota: “pp” significa puntos porcentuales.

Aunque el fenómeno de la pobreza es uno de los principales problemas a resolver, la población también reconoce otros problemas sociales. La Encuesta Nacional de Victimización y Percepción sobre Seguridad Pública (ENVIPE) aporta información relevante sobre los principales problemas sociales percibidos por la población de cada entidad federativa, la cual puede ser una herramienta de evaluación a los programas sociales con el objetivo de analizar si los resultados de los mismos se concilian con el ranking de problemas brindados por el censo.

Figura 7. Percepción de problemas sociales, 2021-2023

Estados	Principales problemas
Chihuahua	Inseguridad, Salud y Aumento de precios
CDMX	Inseguridad, Corrupción y Desempleo
Guanajuato	Inseguridad, Aumento de precios y Escasez de agua
Morelos	Inseguridad, Desempleo y Salud
Nuevo León	Inseguridad, Escasez de agua y Aumento de precios
Querétaro	Inseguridad, Aumento de precios y Salud
Veracruz	Inseguridad, Desempleo y Aumento de precios

Fuente: Elaboración propia con datos de ENVIPE-INEGI (2021-2023).Nota: Los problemas sociales incluidos en la tabla fueron seleccionados siguiendo dos criterios: 1) Su repetición en ambos años dentro de cada entidad, y 2) que un porcentaje mayoritario de la población lo considerara como uno de los principales problemas.

La información antes presentada delata un patrón entre las entidades analizadas: la inseguridad ha persistido durante el plazo de tiempo estipulado como el principal problema que aqueja a la población, independientemente de si hubo o no alternancia política.

Resultados que autores como Borges (2014) y Ramirez (2024) en los que postulan que gobiernos con orientación ideológica a la izquierda tienen más posibilidades de ampliar las políticas y programas sociales, las cuales apoyan las conclusiones a las que se llega en este análisis. Ya que, se pudo identificar que aquellas entidades en las que se cuenta con un partido alineado a la izquierda, ejercen una mayor cobertura social en comparación a aquellos estados que tienen un gobierno de centro-derecha. Se calcula que los gobiernos de centro-izquierda invierten entre 10 y 20 veces más que el otro grupo.

Además, se pudo identificar como los estados en los que hubo permanencia partidista cuentan con mayor capacidad de expandir la cobertura social conforme el tiempo de las elecciones se acercan, esto se sugiere que es debido a la búsqueda de rentabilidad política. Mientras que aquellos en los que hubo alternancia se pueden enfrentar a la reestructuración de la política social lo que frena o impacta de manera negativa durante los primeros años.

La principal limitación al realizar este trabajo fue la dificultad de obtener datos en los censos y bases de datos ya que existe una amplia consideración de lo que consiste un programa social. Además, existen programas en los que se reportaron beneficiarios aún sin haber recibido presupuesto o programas que reportan haber beneficiado a la totalidad de la población.

Es así como este trabajo contribuye a la discusión sobre la influencia de la ideología partidista sobre el diseño de la política social al sugerir que una alternancia política no es sinónimo determinante de una ampliación de la cobertura social, sino que factores como la reestructuración administrativa y el momento del periodo electoral juegan un papel fundamental. A pesar de que en el presente trabajo se analizaron específicamente siete entidades federativas de México durante un corto periodo de tiempo, estos resultados sientan las bases para que en futuros trabajos se exploren otras variables como la inversión privada, el tipo de beneficiarios, escolaridad o pobreza multidimensional, así como también desde un enfoque cualitativo que permitan comprender la perspectiva y experiencia de la población después (o no) de la alternancia política.

Referencias

- Borges, F. A. (2014). *Social policy and Presidential ideology in Latin America: The political economy of social spending and anti-poverty programs* - [Tesis de Doctorado, University of Southern California].
<https://www.proquest.com/docview/2156198343?%20Theses&fromopenview=true&parentSessionId=pWG09V2Lo7xDM9gtKrGiCDs2RbBrEX06FBHpwF0uYNk%3D&pq-origsite=gscholar&sourcetype=Dissertations%20>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (s. f.-a). *Censo de Población y Vivienda 2020*. Recuperado 1 de julio de 2021, de <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (s. f.-b). Censo Nacional de Gobiernos Estatales (CNGE) [Conjunto de datos]. En *INEGI* (Versión 2022-2023-2024). <https://www.inegi.org.mx/programas/cnge/2024/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (s. f.-c). Encuesta Nacional de Victimización y Percepción sobre Seguridad Pública [Conjunto de datos]. En *INEGI* (Versión 2021-2023). <https://www.inegi.org.mx/programas/envipe/2024/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (s. f.-d). *Población en situación de pobreza por entidad federativa según grado, 2018, 2020 y 2022*. INEGI. Recuperado 1 de julio de 2025, de https://www.inegi.org.mx/app/tabulados/interactivos/?pxq=Hogares_Hogares_15_9954f9c6-9512-40c5-9cbf-1b2ce96283e4&idrt=54&opc=t
- Ramírez, G. M. C. (2024). *De derecha a izquierda: los partidos políticos y su efecto en los programas de política social en México*. <https://repositorio-digital.cide.edu//handle/11651/6100>

Said, S. M. J. (2021). *Ideología partidista y gasto público en Jalisco*. SCIELO. Recuperado
24 de junio de 2025, de
[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-
05652021000200079#B10](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-05652021000200079#B10)

Anexos online:

[https://www.academia.edu/143500201/Anexos_Presupuesto_y_beneficiarios_de_los_prog
ramas_sociales_Diferencias_entre_gobiernos_estatales_con_y_sin_alternancia_partidista](https://www.academia.edu/143500201/Anexos_Presupuesto_y_beneficiarios_de_los_programas_sociales_Diferencias_entre_gobiernos_estatales_con_y_sin_alternancia_partidista)

Programas sociales y alternancia política: análisis de estados mexicanos

Andrea Xiadani Cisneros Jaramillo

Enrique Leonardo Kato Vidal

Universidad Autónoma de Querétaro

acisneros@alumnos.uaq.mx

enriquekato@uaq.mx

Resumen

Existe una incertidumbre relacionada al desempeño de los programas sociales, personas beneficiadas y de su respectivo presupuesto en diferentes entidades federativas. Además, el partido político en el poder acentúa esta incertidumbre al existir la interrogante si la ideología política influye en el desempeño de dichos programas.

Así, el objetivo de este trabajo fue analizar la influencia de los partidos políticos en el diseño de la política social e implementación de programas sociales en diferentes estados de México.

En este trabajo se compararon las tres variables antes mencionadas: el presupuesto social, los programas y el número de beneficiados. Se utilizaron los años de 2021 (fin de sexenio) y 2023 (segundo año de la gubernatura). Esto permite analizar los cambios que se pudieron dar por el relevo de los gobiernos estatales.

Se logró comprobar que la ideología política del gobierno en el poder sí influye en la cobertura social. Estos resultados son claves para visibilizar que un cambio de ideología no es sinónimo de una mejora en la cobertura social. Además, subraya la necesidad de evaluar los programas sociales, con el objetivo de garantizar transparencia y rendición de cuentas que permitan asegurar la eficiencia de los programas.

Abstract

There is a prevailing uncertainty regarding the performance of social programs, the number of beneficiaries, and their respective budgets across different federal entities in Mexico. Additionally, the political party in power intensifies this uncertainty, raising the question of whether political ideology influences the effectiveness of such programs.

Therefore, the goal of this study was to analyze the influence of political parties on the design of social policy and the implementation of welfare programs in selected Mexican states.

This research compared the three aforementioned variables: social spending, the number of programs, and the number of beneficiaries. The analysis focused on the years 2021 (end of the six-year term) and 2023 (second year of the outgoing governorship). This timeframe allowed for the examination of changes potentially resulting from shifts in state government leadership.

The study confirmed that the political ideology of the ruling party does have an impact on social coverage. These findings are key to Highlight that a change in political ideology does not necessarily lead to an improvement in social program coverage. Furthermore, the results underscore the need to evaluate social programs to ensure transparency and accountability, which are essential for guaranteeing their efficiency.

Palabras clave

Alternancia política, Ideología política, Programa social, Presupuesto, Beneficiarios.

Key words

Beneficiaries, Budget, Political alternation, Political ideology, Social program.

Introducción

Los programas sociales son fundamentales para el bienestar de la población más vulnerable, la equidad y reducir las desigualdades. El partido político en el poder, sin embargo, puede tener influencia en el

diseño e implementación de la política social. Las evaluaciones a dichos programas son una pieza clave para asegurar que realmente satisfagan las principales necesidades de la población, además de analizar si el presupuesto otorgado es correctamente utilizado.

La Encuesta Nacional de Victimización y Percepción sobre Seguridad Pública (ENVIPE) realizada por el INEGI y aplicada en los años 2021 y 2023 expone los principales problemas sociales identificados por la población, en este trabajo se utilizó esta información con el objetivo de evaluar si los programas responden a estas necesidades.

Existen investigaciones que abordan este fenómeno, Borges (2014) identificó un patrón entre los gobiernos con orientación ideológica a la izquierda tienen más probabilidades de aumentar el gasto social. Por su parte, Ramírez (2024), analizó que partidos orientados a la izquierda tienden a beneficiar a estudiantes, niños o adultos mayores, mientras que los que tienen una orientación a la derecha buscan apoyar a los productores primarios o empresarios.

Con base en lo anterior se refuerza lo que Sánchez (2021) señaló, los partidos políticos cargan consigo ideologías, objetivos prioritarios y estrategias para cumplir dichas metas. Es así que, este trabajo se formula alrededor de las siguientes preguntas: ¿Cómo varían los programas sociales, el número de beneficiarios en las entidades federativas donde hubo cambio de partido en el poder después de 2021? Y ¿Existe una relación entre el aumento o disminución del presupuesto y el número de personas beneficiadas?

El objetivo de este análisis fue medir los cambios en la cobertura y presupuesto de los programas sociales al inicio y final de los gobiernos estatales, con y sin alternancia partidista, para documentar la relación entre ideología política y el diseño de la política social. Este análisis busca contribuir al debate sobre el papel de los partidos políticos en la implementación de la política social por medio de una comparación entre siete estados de México (Ciudad de México, Chihuahua, Guanajuato, Morelos, Nuevo León, Querétaro y Veracruz).

Metodología

Siete entidades federativas fueron seleccionadas: Ciudad de México, Chihuahua, Guanajuato, Morelos, Nuevo León, Querétaro y Veracruz, esta decisión fue con base en su variación o permanencia del partido político en el poder y se clasificaron en grupos de tratamiento (con alternancia) y control (sin alternancia) [Ver figura 1].

Figura 1 México: La muestra de estados analizados

Partido político	Tipo	Entidad	Hipótesis
PAN=>PAN	Control	Chihuahua	S/C
MORENA=> MORENA	Control	Ciudad de México	S/C
PAN=> PAN	Control	Guanajuato	S/C
PAN=>PAN	Control	Querétaro	S/C
PRD => PES	Tratamiento	Morelos	Cambio
Independiente=> MC	Tratamiento	Nuevo León	Cambio
PAN/PRD=> MORENA	Tratamiento	Veracruz	Cambio

Nota. PAN: Partido Acción Nacional, MORENA: Partido Movimiento de Regeneración Nacional, PRD: Partido de la Revolución Democrática, PES: Partido Encuentro Social, MC: Partido Movimiento Ciudadano. ‘s/c’ indica sin cambio y ‘cambio’ indica una modificación sustancial a la política social. Fuente: Elaboración propia con base en los resultados electorales de 2021.

Se determinaron tres variables a estudiar: 1) el número de programas, 2) el presupuesto social y 3) el número de beneficiarios, estas variables permiten una adecuada comparación entre los diferentes estados (ver figura 2).

Figura 2. Definición de variables.

Variable	Definición
Presupuesto a programas sociales	Monto anual en millones de pesos (2023=100)
Beneficiarios	Número de hombres y mujeres que recibieron apoyos
Programas sociale	Número de programas de los gobiernos estatales
Monto de beneficio	Pesos recibido por cada beneficiario (=Presupuesto / beneficiarios)

Fuente: Elaboración propia. Nota. 2023=100 significa que las cifras están expresadas a precios constantes de 2023.

Para garantizar una correcta comparabilidad, se estableció como criterio de selección que los programas sociales contarán con un presupuesto anual mínimo de un millón de pesos y un máximo de 500 mil beneficiarios. Esto permitió excluir tanto los programas con cobertura muy limitada como aquellos cuyo alcance abarcaba prácticamente a toda la población.

Los resultados así, describen al 72% de los programas sociales y entre el 50% y 80% del presupuesto. La primera estimación incluye las entidades de Ciudad de México y Veracruz, que cuentan con programas de

amplia cobertura, mientras que la segunda los excluye para evitar distorsiones en el análisis.

Las hipótesis postuladas fueron las siguientes:

- H1: La continuidad de un partido en la gubernatura estatal implica ligeros -o nulos- cambios en la estrategia de política social.
- H2: La ideología del partido ganador orienta la política social; los partidos alineados a la izquierda dan mayor cobertura social y los de derecha minimizan la protección social.
- H2-bis: Los estados que tienen alternancia a la izquierda incrementan su protección social; y los que transitan a la derecha reducen su protección social.
- H3: En años electorales los gobiernos de todas las ideologías aumentan la cobertura social esperando rentabilidad política.

La temporalidad seleccionada permite contrastar las características de la política social del último año de gobierno (2021) y los primeros años de los gobiernos entrantes (2022 y 2023), ofreciendo así datos relevantes sobre las preferencias y orientaciones de las distintas administraciones.

Se optó por un enfoque cuantitativo basado en estadística descriptiva, además se elaboraron tablas que permitieran una comparación e interpretación adecuada de los datos.

Resultados

Una vez interpretados los datos se pudo identificar un patrón entre la cercanía a tiempos electorales y la política social, la cual experimenta variaciones independientemente de la ideología partidista.

En la Figura 3 se observa que los estados correspondientes al grupo de control (CDMX, Chihuahua, Guanajuato y Querétaro) reflejaron una tendencia estable respecto al presupuesto por beneficiario durante el primer periodo del gobierno, es decir que existió una continuidad en el presupuesto en la mayoría de los casos.

En el caso de Chihuahua se observa un considerable incremento en esta variable durante 2022 correspondiente al primer año de la administración de María Eugenia Campos (2021-2027). A pesar de que no hubo alternancia política, sí se experimentó un cambio notorio en la ejecución de la política social.

Aunque en la Ciudad de México esta variable descendió significativamente, es importante señalar que pasó del primer lugar al segundo en el monto otorgado por beneficiario, sólo después de Chihuahua.

Los estados del grupo tratamiento (Morelos, Nuevo León y Veracruz) presentan una tendencia general de aumento en el presupuesto asignado por beneficiario [Ver Figura 3], a excepción de Nuevo León, donde se observa una disminución en el segundo año de la administración entrante.

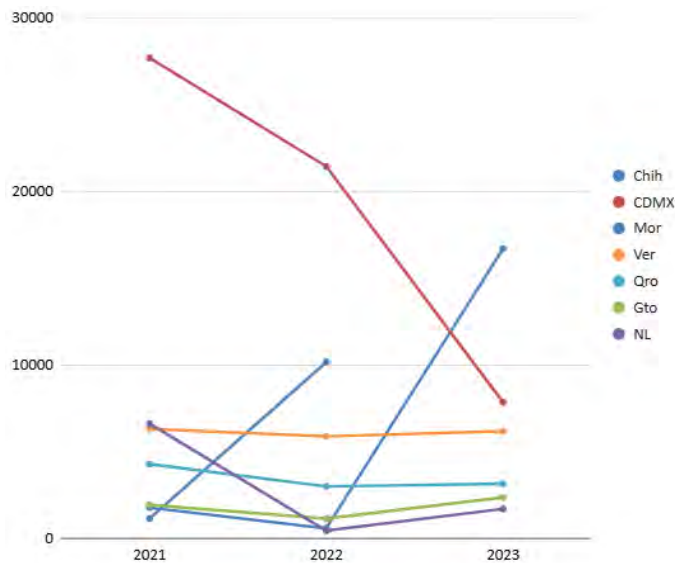
A pesar de la limitada información sobre la entidad de Morelos, se puede observar que durante 2021 y 2022 la entidad experimentó un rápido crecimiento, lo que se puede interpretar como una expansión en el gasto social durante la segunda mitad del periodo.

De las cuatro entidades que registran el mayor gasto social por beneficiario, tres están gobernadas por partidos con una orientación política de izquierda, lo cual brinda evidencia que permite comprobar la Hipótesis H2.

Por otro lado, al analizar el número de beneficiarios se identifica un aumento sostenido en los estados donde no hubo alternancia política durante la segunda mitad del periodo, en el caso de Querétaro que pasó de 54 mil beneficiarios en 2021 a 105 mil en 2023 o Chihuahua en donde se beneficiaron a 888 mil personas en 2021 y a un millón en 2023.

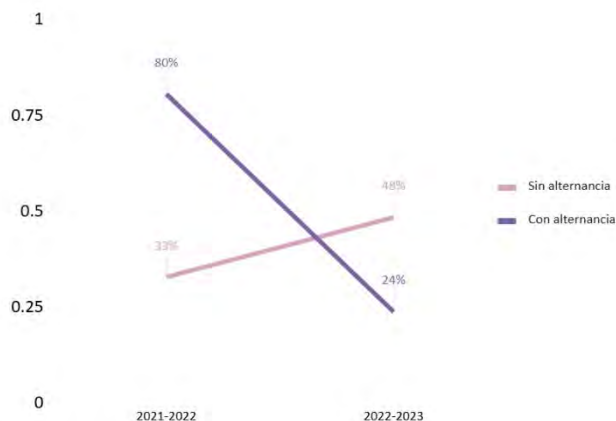
Los estados en los que hubo alternancia política tienden a disminuir de forma drástica incluso a pesar del aumento del presupuesto ejercido [Ver Figura 3].

Figura 3 Presupuesto por beneficiario (pesos 2023=100)



Fuente: Elaboración propia con datos de CNGE.

Figura 4 Beneficiarios: Durante y después de la elección 2021



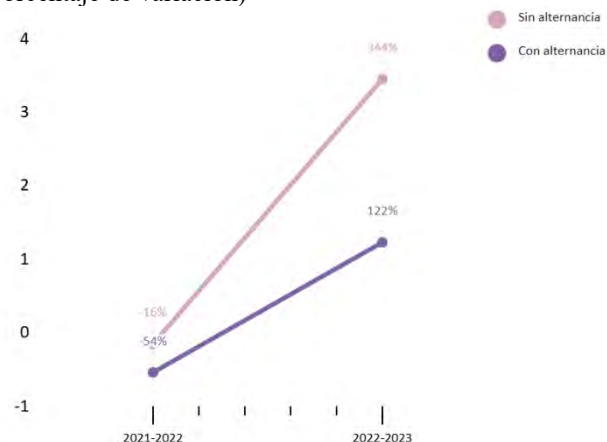
Fuente: Elaboración propia con datos de CNGE.

Respecto al presupuesto total asignado a los programas sociales, tanto el grupo de tratamiento como el de control mantuvieron un crecimiento constante entre 2022 y 2023. Sin embargo, los estados sin alternancia presentaron un aumento del 344%, mientras que en los que sí hubo fue 122% de 2022 a 2023.

Este resultado respalda la Hipótesis H3, la cual plantea una relación entre el tiempo electoral y el aumento en el gasto social con el objetivo de obtener beneficios electorales. Esto a su vez, contradice la Hipótesis H1, ya que en las entidades donde no hubo

cambio del partido en el poder se observaron avances significativos en los programas sociales.

Figura 5 Presupuesto: Durante y después de la elección 2021 (Porcentaje de variación)



Fuente: Elaboración propia con datos de CNGE.

Discusión y conclusiones

La pobreza afectó a más de 55 millones de personas en 2020, por esta razón es uno de los fenómenos que los gobiernos buscan reducir con mayor urgencia, así como disminuir la brecha de desigualdad existente en las diferentes entidades federativas.

La pandemia de COVID-19 provocó un aumento generalizado en los niveles de pobreza a nivel mundial.

La Figura 6 muestra una disminución general en el porcentaje de población en pobreza en todos los estados analizados. No obstante, se observa que dicha reducción fue menos pronunciada en los estados donde hubo alternancia política (Morelos, Nuevo León y Veracruz) en comparación con aquellas que mantuvieron al mismo partido en el poder. Este patrón podría indicar que los cambios de ideología del gobierno afectan la continuidad y efectividad de los programas sociales a corto plazo.

Es importante señalar la posible influencia de otros factores estructurales que pueden incidir en los niveles de pobreza, tales como el desempleo, el

rezago educativo y el flujo migratorio dentro de cada estado.

Figura 6. Población en pobreza, 2020 - 2022

Entidad	Población (millones)	Porcentaje de población en pobreza 2020	Porcentaje de población en pobreza 2022
Chihuahua	3,741,869	25.44%	17.88
Ciudad de México	9,209,944	32.67%	24.21
Guanajuato	6,166,934	42.95%	33.63
Morelos	1,971,520	51.03%	41.85
Nuevo León	5,784,442	24.64%	16.80
Querétaro	2,368,467	31.67%	22.66
Veracruz	8,062,579	58.90%	52.65

Fuente: Elaboración propia con datos de los Ingresos y Gastos de los Hogares- INEGI (2020-2022). Nota: La población es con base al Censo de Población y Vivienda 2020- INEGI. Nota: “pp” significa puntos porcentuales.

La Encuesta Nacional de Victimización y Percepción sobre Seguridad Pública (ENVIPE) aporta información relevante sobre los principales problemas sociales que la población percibe, la cual puede ser utilizada como herramienta de evaluación a los programas sociales con el objetivo de analizar si los resultados de estos se concilian con el ranking brindado por el censo.

Los datos presentados anteriormente evidencian un patrón entre las entidades analizadas, la inseguridad ocupa el principal problema que enfrenta la población, esto independientemente de la alternancia política en el gobierno estatal.

Por otro lado, los resultados obtenidos coinciden con los que Borges (2014) y Ramírez (2024) en los que postulan que gobiernos con orientación ideológica a la izquierda tienen más posibilidades de ampliar las políticas y programas sociales. Se estima que los gobiernos de centro-izquierda invierten entre 10 y 20 veces más que los partidos de derecha.

Figura 7. Percepción de problemas sociales, 2021-2023

Estados	Principales problemas
Chihuahua	Inseguridad, Salud y Aumento de precios
CDMX	Inseguridad, Corrupción y Desempleo
Guanajuato	Inseguridad, Aumento de precios y Escasez de agua

Morelos	Inseguridad, Desempleo y Salud
Nuevo León	Inseguridad, Escasez de agua y Aumento de precios
Querétaro	Inseguridad, Aumento de precios y Salud
Veracruz	Inseguridad, Desempleo y Aumento de precios

Fuente: Elaboración propia con datos de ENVIPE-INEGI (2021-2023). Nota: Los problemas sociales incluidos en la tabla fueron seleccionados siguiendo dos criterios: 1) Su repetición en ambos años dentro de cada entidad, y 2) que un porcentaje mayoritario de la población lo considerara como uno de los principales problemas.

Además, se identificó que los estados en los que no hubo alternancia política incrementan la cobertura social a medida que se aproximan los procesos electorales, esto se puede interpretar como una estrategia orientada a maximizar los beneficios políticos. En contraste, en los estados donde el partido político en el poder cambió, es posible que la alternancia haya afectado la implementación de programas durante los primeros años de gobierno.

Este análisis buscó contribuir al debate sobre el impacto de la ideología partidista en el diseño e implementación de la política social al sugerir que una alternancia política no es sinónimo determinante de una ampliación de la cobertura social. Más bien, elementos como la reorganización administrativa y la cercanía con los procesos electorales, son factores relevantes en la configuración de los resultados obtenidos.

A pesar de que este trabajo se redujo a siete entidades federativas en México durante una temporalidad determinada, estos resultados sientan las bases para que en futuros trabajos se exploren distintas perspectivas, variables o incluso enfoques que permitan comprender la experiencia de la población con y sin alternancia política.

Agradecimientos

Agradezco profundamente al Dr. Enrique Leonardo Kato Vidal por su valiosa orientación, observaciones y acompañamiento durante la elaboración de este

trabajo, los cuales fueron piezas claves para su realización.

Referencias

Borges, F. A. (2014). *Social policy and Presidential ideology in Latin America: The political economy of social spending and anti-poverty programs* - [Tesis de Doctorado, University of Southern California]. <https://www.proquest.com/docview/2156198343?%20Theses&fromopenview=true>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (s. f.-a). *Censo de Población y Vivienda 2020*. Recuperado 1 de julio de 2021, de <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (s. f.-b). Censo Nacional de Gobiernos Estatales (CNGE) [Conjunto de datos]. En *INEGI* (Versión 2022-2023-2024). <https://www.inegi.org.mx/programas/cnge/2024/>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (s. f.-c). Encuesta Nacional de Victimización y Percepción sobre Seguridad Pública [Conjunto de datos]. En *INEGI* (Versión 2021-2023). <https://www.inegi.org.mx/programas/envipe/2024/>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (s. f.-d). *Población en situación de pobreza por entidad federativa según grado, 2018, 2020 y 2022*. INEGI. Recuperado 1 de

julio de 2025, de https://www.inegi.org.mx/app/tabulados/interactivos/?pxq=Hogares_Hogares_15_9954f9c6-9512-40c5-9cbf-1b2ce96283e4&idrt=54&opc=t

Ramírez, G. M. C. (2024). *De derecha a izquierda: los partidos políticos y su efecto en los programas de política social en México*. <https://repositorio-digital.cide.edu/handle/11651/6100>

Sánchez Martínez, J. S.. (2021). *Ideología partidista y gasto público en Jalisco*. SCIELO. Recuperado 24 de junio de 2025, de https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-05652021000200079

Anexos Online:

https://www.academia.edu/143500201/Anexos_Presupuesto_y_beneficiarios_de_los_programas_sociales_Diferencias_entre_gobiernos_estatales_con_y_sin_alternancia_partidista

“Estrategias y herramientas para el diseño de un entorno virtual orientado al tratamiento de la ansiedad”

CRUZ-SALINAS CATALINA
RAMÍREZ-ROSALES SELENE

Agosto 2025

Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Informática Av. de las Ciencias S/N, Juriquilla, 76230 Santiago de Querétaro, Qro., México.

ID 1er Autor: CRUZ-SALINAS CATALINA (0009-0005-4820-3557).

ID 2do Autor: RAMÍREZ-ROSALES SELENE (0000-0001-6635-5427).

Abstract

The creation of a virtual environment aimed at enhancing the effects of psychotherapy for the treatment of anxiety is conceived as an immersive tool for relaxation and sensory interaction to anchor the patient in the present. The aim is to identify appropriate strategies to ensure the virtual space is safe, intuitive, efficient, and patient-friendly; this selection process is a vital and necessary step for the environment to meet its intended objectives. Therefore, this research focuses on identifying the best tools through a thorough investigation of the visual and auditory elements planned for the environment, and on determining the most suitable breathing technique for relaxation within the setting.

Keywords - Virtual Reality (VR), Psychotherapy, Anxiety, Therapeutic virtual environment, Res-

piratory regulation, Mindfulness, Sensory stimulation, Virtual Reality Exposure Therapy (VRET).

Resumen.

La creación de un entorno virtual cuyo objetivo es potenciar los efectos de la psicoterapia para el tratamiento de la ansiedad, como una herramienta inmersiva de relajación e interacción sensorial para situar al paciente en el presente. La intención es encontrar las estrategias adecuadas para que el espacio virtual sea seguro, intuitivo, eficiente y amigable con el paciente; este proceso de selección es un paso primordial y necesario para que el entorno cumpla con los objetivos prometidos. Por ello, esta investigación se centra en encontrar las mejores herramientas por medio de una investigación exhaustiva sobre los elementos tanto visuales como auditivos que se pretenden usar en el entorno, y asimismo hallar la técnica de regulación respiratoria conveniente para el entorno.

Palabras clave - Realidad Virtual (RV), Psicoterapia, Ansiedad, Entorno virtual terapéutico, Regulación respiratoria, Atención plena (*mindfulness*), Estimulación sensorial, Terapia de exposición en realidad virtual (*VRET*).

1. Introducción.

La ansiedad es una reacción natural del cuerpo que nos alerta ante posibles peligros, preparando al organismo para actuar. En dosis moderadas, esta respuesta puede incluso ayudarnos a concentrarnos y rendir mejor. Sin embargo, cuando la ansiedad se vuelve constante, excesiva o aparece sin motivo aparente, puede dejar de ser útil y convertirse en un problema para nuestra salud física y mental, requiriendo atención especializada. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), cerca de 264 millones de personas en el mundo padecen trastornos de

ansiedad, una cifra que refleja la urgencia de encontrar tratamientos efectivos [1]. Entre las causas del aumento de estos trastornos se mencionan factores sociales actuales, como la presión por la inmediatez y la productividad, que generan niveles elevados de estrés. [2]

La ansiedad afecta diferentes áreas: desde pensamientos y emociones hasta aspectos físicos, incluyendo problemas cardíacos, hipertensión y un sistema inmunológico debilitado. También está vinculada a un mayor riesgo de desarrollar enfermedades crónicas, como diabetes y trastornos gastrointestinales [1].

En este contexto, la Realidad Virtual (RV) se presenta como una tecnología innovadora en la salud mental. Diversos estudios recientes han demostrado que la RV puede emplearse tanto para evaluar como para tratar múltiples trastornos, entre ellos la ansiedad, depresión, esquizofrenia y otros trastornos obsesivo-compulsivos y alimentarios [3]. Una de las ventajas más destacadas de la RV es que puede generar una sensación muy real de “estar presente” en un entorno virtual, lo que mejora la inmersión del usuario y potencia el impacto emocional y cognitivo de las terapias [4]. Además, la RV ofrece la posibilidad de crear escenarios terapéuticos que se adaptan a las necesidades de cada persona, facilitando técnicas como la exposición gradual, el desarrollo de habilidades sociales y la reestructuración cognitiva de manera repetible y controlada [5].

Desde el punto de vista neurofisiológico, controlar la respiración es una forma rápida y efectiva de modular la respuesta del sistema nervioso autónomo. Patrones respiratorios donde la exhalación dura más que la inhalación, activan el sistema parasimpático, asociado a la calma, y reducen la hiperactividad del sistema simpático relacionada con la ansiedad [6, 7]. Por esta razón, este proyecto se enfoca en incluir técnicas de regulación respiratoria como primer paso dentro del entorno virtual. Además, la estimulación sensorial —en particular visual y auditiva— refuerza la experiencia terapéutica; por ejemplo, la música re-

lajante y los paisajes tranquilos pueden ayudar a centrar la atención y fomentar sensaciones de bienestar [8].

Dada la gran cantidad de personas afectadas por trastornos de ansiedad y el potencial de la RV para complementar los tratamientos tradicionales [9], esta investigación busca identificar y validar las mejores estrategias y herramientas para diseñar un entorno virtual efectivo contra la ansiedad. El objetivo es crear un marco basado en evidencias neurocognitivas y principios de diseño que maximice la inmersión, la seguridad y la eficacia clínica, enfocándose en la regulación respiratoria y la estimulación sensorial. Así, se espera contribuir a ampliar las opciones terapéuticas y mejorar el acceso y la calidad de los tratamientos en salud mental.

2. Objetivos.

Diseñar y desarrollar un entorno virtual terapéutico basado en estrategias de relajación rápida y efectivas, con el propósito de inducir la relajación del paciente, disminuir sus niveles de ansiedad y profundizar en la integración de la realidad virtual (RV) como herramienta innovadora en el tratamiento de trastornos mentales. La realidad virtual (RV) se perfila como una herramienta innovadora y prometedora, pero aún es necesario profundizar en la investigación para determinar de qué manera puede integrarse eficazmente en el tratamiento de trastornos mentales, como la ansiedad para este caso de estudio, con el propósito de maximizar su potencial terapéutico y adaptarse a las necesidades de las y los usuarios.

3. Metodología

Enfoque metodológico. La presente investigación adoptará un enfoque mixto, combinando elementos cualitativos y documentales, con el propósito de identificar estrategias de relajación rápida y efectivas

que cuenten con respaldo científico, y que puedan ser utilizadas en el diseño de un entorno virtual orientado a inducir la relajación del paciente.

Tipo de investigación. El tipo de investigación que se hará será exploratorio: porque se indagan diversas estrategias de relajación desde diferentes disciplinas (psicología, neurociencia, medicina). Descriptiva, ya que se caracterizan y organizan dichas estrategias. Y aplicada, pues los hallazgos se utilizarán como base para el diseño de un entorno digital con fines terapéuticos.

Etapas 1: Revisión documental y estado del arte

Magnitud del problema: Los trastornos de ansiedad afectan a cientos de millones de personas en el mundo y constituyen una carga creciente para la salud pública, con consecuencias que trascienden lo psicológico e impactan la salud física y el funcionamiento social y laboral [1]. Esta prevalencia y el impacto asociado justifican la búsqueda de intervenciones accesibles y escalables que mejoren la cobertura terapéutica y reduzcan costes sanitarios a medio y largo plazo [1].

Eficacia de la RV: La terapia de exposición en realidad virtual (*VRET*) ha mostrado efectos positivos en la reducción de síntomas de ansiedad y fobias, en muchos casos comparables a la exposición presencial. Además, programas automatizados en *VR* (sin intervención continua del terapeuta) han demostrado potencial para ampliar el acceso a tratamiento clínico, aunque la heterogeneidad metodológica entre estudios obliga a interpretar los resultados con cautela [10, 5]. Sin embargo, la literatura destaca la necesidad de protocolos estandarizados, mediciones objetivas y evaluación de tolerancia.

Presencia e inmersión: El sentido de presencia (la sensación subjetiva de “estar allí”) es un determinante central del impacto terapéutico de la RV. Elementos como la congruencia multisensorial, baja latencia, campo de visión adecuado y calidad sonora no sólo aumentan la inmersión, sino que también modulan la carga emocional del estímulo y la capaci-

dad del paciente para implicarse en tareas de regulación o exposición [4]. El *mindfulness* favorece la atención plena y el anclaje al “aquí y ahora”, reduciendo rumiación y mejorando la regulación emocional [11]. Los entornos naturales virtuales, con estímulos suaves y fascinantes, ayudan a restaurar la atención y disminuir el estrés [12]. La música relajante, especialmente con ritmos lentos y sin letra, disminuye la frecuencia cardíaca y la presión arterial, activa el sistema parasimpático y aumenta la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC) [13, 14].

Respiración y *biofeedback*: Las técnicas de respiración lenta como la técnica 4-7-8, modulan la activación fisiológica, activan el parasimpático y mejoran el control emocional; junto con el *RV-biofeedback* constituyen intervenciones bien fundamentadas para modular el sistema autónomo y reducir la reactividad ansiosa. *Box breathing* (respiración en caja 4-4-4-4), sus beneficios: calma rápida, mejora la concentración y ayuda a regular la activación autónoma en situaciones de estrés. Respiración de resonancia / *coherent breathing* (5-6 rpm), sus beneficios: aumenta la VFC, reduce la reactividad simpática y favorece una calma sostenida y mejor regulación emocional. La integración de estas prácticas en entornos VR es técnica y conceptualmente factible y puede potenciar el aprendizaje de autorregulación; sin embargo, la evidencia actual no es concluyente sobre si el contexto VR añade un beneficio clínico sostenido por encima de formatos no-VR, lo que demanda estudios comparativos y de seguimiento [6].

Bases neurofisiológicas: Estudios sobre interocepción y control emocional muestran que la interacción entre la ínsula, la amígdala y la corteza prefrontal explica cómo la calma corporal (p. ej., mediante respiración controlada) facilita la reevaluación cognitiva y reduce la percepción de amenaza. Estas bases neurobiológicas sostienen la elección de intervenciones centradas en la regulación fisiológica como pilar terapéutico [7, 6].

Etapas 2: Consulta a expertos

Para el proceso de selección de herramientas y estrategias en la creación del entorno virtual se escogió a especialistas de tres áreas clave: Psicología clínica y terapia ocupacional: aportan su experiencia en el tratamiento de la ansiedad y en la aplicación de técnicas de intervención efectivas. Su conocimiento garantiza que las estrategias implementadas sean seguras, éticas y adaptadas a las necesidades de los usuarios.

Neurociencia aplicada: contribuyen con su comprensión de los procesos cerebrales y fisiológicos involucrados en la regulación emocional, la atención y la respuesta al estrés. Esto permite optimizar elementos como la música, la respiración y los estímulos sensoriales para maximizar el efecto terapéutico.

Diseño y desarrollo de experiencias inmersivas en realidad virtual: aseguran que el entorno digital cuente con una adecuada sensación de presencia, usabilidad y coherencia visual y sonora, lo que es esencial para potenciar la inmersión y la eficacia de la intervención.

La combinación de estas áreas permite integrar criterios clínicos, neurofisiológicos y técnicos, garantizando que el entorno virtual sea funcional, atractivo y respaldado por conocimiento especializado.

Etapa 3: Selección de estrategias

Criterios: Eficacia científica, facilidad de aplicación y compatibilidad con entornos inmersivos. Resultado esperado: Una lista priorizada de técnicas que serán integradas en el desarrollo del entorno virtual de relajación.

4. Resultados.

Para la creación del entorno virtual como mecanismo de relajación fue menester seleccionar de manera inteligente y eficiente las estrategias y métodos a utilizar. Por ello, el entorno hará uso de dos herramien-

tas seleccionadas y dos estrategias desarrolladas con base en documentación científica sobre sus efectos positivos en la disminución de los síntomas de la ansiedad.

La primera estrategia es el ambiente del entorno; éste se desenvuelve en un bosque con sonidos ambientales correspondientes a su flora y fauna. La exposición a entornos naturales ofrece estímulos suaves y fascinantes que facilitan la restauración de la atención y contribuyen a la reducción de los niveles de estrés y ansiedad [12].

La segunda herramienta es la música escogida, incluye los temas: *Lift* de *Starluxe*, *Mist* de *Dor Ben Lulu*, *Experience Sonder* de *Flint* e *Inner Dream* de *DaniHaDani*. Todos pertenecen a un estilo *ambient/chill* electrónico, que se caracteriza por ritmos lentos, sonidos suaves y poca variación en el ritmo. Estas cualidades son especialmente útiles para reducir los síntomas de ansiedad, ya que los ritmos tranquilos y estables (60–80 ppm) ayudan a activar el sistema nervioso parasimpático, disminuyendo la frecuencia cardíaca y la presión arterial, lo que genera una sensación de calma y seguridad interna [13].

Además, se ha visto que la música relajante de estilos como *new age* o *ambient*, parecida a estos temas, puede aumentar la variabilidad de la frecuencia cardíaca (VFC), que es un indicador de una mejor capacidad para adaptarse al estrés y recuperarse después de un episodio de ansiedad [14]. Por otro lado, el sonido envolvente y la falta de letra favorecen la inmersión, disminuyen la rumiación y los pensamientos ansiosos, y ayudan a la mente a descansar gracias al efecto de “fascinación suave” que producen los ambientes musicales tranquilos [12].

La tercera herramienta es la técnica de respiración llamada 4-7-8; ésta ayuda a reducir la ansiedad porque activa el sistema nervioso parasimpático gracias a la exhalación prolongada de 8 segundos, lo que disminuye la frecuencia cardíaca y la presión arterial [15]. Además, al respirar más despacio, se incrementa la variabilidad de la frecuencia cardíaca, que indica una mejor capacidad para mane-

jar el estrés [16]. Por último, contar los tiempos de la respiración también ayuda a desviar la atención de los pensamientos negativos, generando una distracción positiva que favorece la recuperación mental [17].

Y, por último, la cuarta estrategia es la etapa de impresión solar, diseñada para aprovechar el estado de relajación previa del paciente. Una vez reducida la activación fisiológica se liberan recursos atencionales que permiten un procesamiento más profundo de los estímulos presentes, facilitando el anclaje en el “aquí y ahora” y promoviendo la atención plena (*mindfulness*) en el entorno virtual [11].

5. Discusión y conclusiones.

Diseñar un entorno virtual para ayudar en el tratamiento de la ansiedad, utilizando estrategias de relajación que cuentan con respaldo científico, abre una oportunidad valiosa para complementar la psicoterapia tradicional. Al combinar elementos visuales, sonidos y técnicas de respiración cuidadosamente elegidos —como paisajes naturales, música tranquila, ejercicios respiratorios y prácticas de atención plena— se puede generar una fuerte sensación de presencia y lograr una reducción real en los niveles de ansiedad.

La realidad virtual no solo proporciona un espacio controlado y adaptado a cada persona, sino que también potencia el impacto emocional y cognitivo de las terapias, favoreciendo que los pacientes sigan con el tratamiento y mejorando su experiencia.

La metodología que se propone para este proyecto mezcla revisión documental, consulta a especialistas y selección basada en evidencia científica. Así, solo se integran las estrategias que demuestren ser efectivas, fáciles de aplicar y compatibles con entornos inmersivos. Esto permite evitar técnicas poco útiles o mal adaptadas al formato virtual, optimizando recursos y asegurando que las herramientas respondan directamente a las necesidades

de los usuarios.

Además, es fundamental generar documentación rigurosa en este campo, ya que la realidad virtual aún es una aplicación poco utilizada en comparación con la psicoterapia tradicional. Contar con estudios sólidos y bien documentados puede impulsar su adopción y demostrar las mejoras significativas que esta tecnología puede aportar al progreso de los pacientes.

Gracias a un análisis amplio y detallado, se consigue equilibrar el rigor teórico con la practicidad clínica, garantizando que el entorno virtual sea seguro, eficiente, intuitivo y que cumpla con los objetivos terapéuticos. En definitiva, este proyecto aborda un problema global de gran impacto y establece las bases para futuros desarrollos que buscan ampliar el uso de la realidad virtual como recurso clínico en salud mental.

6. Agradecimientos.

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a la Facultad de Informática de la Universidad Autónoma de Querétaro por brindarme el espacio, los recursos y el entorno académico que hicieron posible el desarrollo de este proyecto de investigación con el programa de Verano en la Ciencia.

De manera muy especial, extiendo mi gratitud a la Mtra. Selene Ramírez Rosales, quien, como mi asesora de investigación, me guió con paciencia, compromiso y conocimiento en cada etapa del proceso. Sus orientaciones, sugerencias y motivación fueron fundamentales para superar los retos y alcanzar los objetivos planteados.

Asimismo, agradezco a mis familiares y amistades, quienes me apoyaron moralmente y me alentaron a continuar en los momentos de mayor desafío.

7. Referencias bibliográficas.

- [1] World Health Organization. Trastornos de ansiedad. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/anxiety-disorders>, September 27 2023. Consultado el 2025-08-11.
- [2] Sandra Ohly and Luca Bastin. Effects of task interruptions caused by notifications from communication applications on strain and performance. *Journal of Occupational Health*, 65:e12408, 2023.
- [3] D. Freeman, S. Reeve, A. Robinson, A. Ehlers, D. Clark, B. Spanlang, and M. Slater. Virtual reality in the assessment, understanding, and treatment of mental health disorders. *Psychological Medicine*, 47(14):2393--2400, 2017.
- [4] Mel Slater and Maria V. Sanchez-Vives. Enhancing our lives with immersive virtual reality. *Frontiers in Robotics and AI*, 3:74, 2016.
- [5] Jessica L. Maples-Keller, Benjamin E. Bunnell, SungJin Kim, and Barbara O. Rothbaum. Virtual reality exposure therapy for anxiety and related disorders: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of Anxiety Disorders*, 61:27--36, 2019.
- [6] Andrea Zaccaro, Angelo Piarulli, Marco Laurino, Elisa Garbella, Diego Menicucci, Barbara Neri, and Andrea Gemignani. How breath control can change your life: A systematic review on psycho physiological correlates of slow breathing. *Frontiers in Human Neuroscience*, 12:353, 2018.
- [7] Hugo D. Critchley. The human cortex responds to an interoceptive challenge. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(17):6333--6334, April 2004.
- [8] Juan Ibáñez. Efectos de la estimulación visual y auditiva en entornos inmersivos, 2024. Manuscrito no publicado -- si tienes DOI, revista o repositorio, dime y lo actualizo.
- [9] Héctor Brito and Benjamín Vicente. Realidad virtual y sus aplicaciones en trastornos mentales: una revisión. *Revista Chilena de Neuro-Psiquiatría*, 56(2):127--135, 2018.
- [10] Daniel Freeman, Sinéad Lambe, Thomas Kabir, Ariane Petit, Laina Rosebrock, Ly Mee Yu, Robert Dudley, Kate Chapman, Anthony Morrison, Eileen O'Regan, Charlotte Aynsworth, Julia Jones, Elizabeth Murphy, Rosie Powling, Ushma Galal, Jenna Grabey, Aitor Rovira, Jennifer Martin, Chris Hollis, David M. Clark, Felicity Waite, and gameChange Trial Group. Automated virtual reality therapy (gamechange) to treat agoraphobic avoidance and distress in patients with psychosis: a multicentre, parallel-group, single-blind, randomised, controlled trial in england with mediation and moderation analyses. *The Lancet Psychiatry*, 9(5):375--388, 2022.
- [11] Kirk W. Brown and Richard M. Ryan. The benefits of being present: Mindfulness and its role in psychological well-being. *Journal of Personality and Social Psychology*, 84(4):822--848, 2003.
- [12] Stephen Kaplan. The restorative benefits of nature: Toward an integrative framework. *Journal of Environmental Psychology*, 15(3):169--182, 1995.
- [13] William E. J. Knight and Nikki S. Rickard. Relaxing music prevents stress-induced increases in subjective anxiety, systolic blood pressure, and heart rate in healthy males and females. *Journal of Music Therapy*, 38(4):254--272, 2001.
- [14] Santiago Perez Lloret, David Medina, Diana Berlowitz, Maria Aguilar, Hugo Demonty, Javier Brandarenas, Daniel E. Vigo, Oscar E. Burschtin, and Daniel P. Cardinali. Effects of different "relaxing" music styles on the autonomic nervous system. *Noise & Health*, 16(72):348--354, 2014.
- [15] Ravinder Jerath, Jonathan W. Edry, Vernon A. Barnes, and Vandana Jerath. Physiology of long pranayamic breathing: Neural respiratory elements may provide a mechanism that explains how slow deep breathing shifts the autonomic nervous system. *Medical Hypotheses*, 67(3):566--571, 2006.
- [16] Gopal K. Pal, S. Velkumary, and Madanmohan. Effect of short-term practice of breathing exercises on autonomic functions in normal human volunteers. *Indian Journal of Medical Research*, 120:115--121, 2004.
- [17] Richard P. Brown and Patricia L. Gerbarg. Sudarshan kriya yogic breathing in the treatment of stress, anxiety, and depression: Part ii—clinical applications and guidelines. *Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 11(4):711--717, 2005.

“Análisis de Nanofibras de hidroxiapatita dopadas con europio(III)”.

PONCE RODRÍGUEZ, Cinthia ¹, VELÁZQUEZ CASTILLO, Rodrigo Rafael ²

¹Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería-Campus, Aeropuerto a Chichimequillas s/n C.P. 76140, Querétaro, Qro. Carr. cponce15@alumnos.uaq.mx

²Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería-Campus, Aeropuerto a Chichimequillas s/n C.P. 76140, Querétaro, Qro. rodrigo.velazquez@uaq.mx

Resumen

La hidroxiapatita (HAp) es un biocerámico que cuenta con alta biocompatibilidad y bioactividad, gracias a estas propiedades características es utilizada en diversas áreas. En este trabajo se sintetizaron nanofibras de hidroxiapatita dopadas con europio (Eu) mediante el método hidrotermal asistido por microondas, con el fin de analizar la relación entre su estructura cristalina y las propiedades que se obtuvieron gracias al dopaje. La incorporación de iones de tierras raras (Eu) favoreció la orientación preferencial y modificó la cristalinidad del material, lo que impacta directamente en su dureza, estabilidad y posible uso como nanocarreador de fármacos. La caracterización estructural se llevó a cabo mediante difracción de rayos X (XRD). Gracias a esto los resultados sugieren que el dopaje con europio (Eu) permite ajustar las propiedades de la hidroxiapatita para poder analizar su relación con sus propiedades de emisión de luz.

Palabras clave: Hidroxiapatita, nanofibras, tierras raras, biocerámico, nanomedicina.

Abstract

Hydroxyapatite (HAp) is a bioceramic with high biocompatibility and bioactivity, and due to these characteristic properties, it is used in various fields. In

this work, hydroxyapatite nanofibers doped with europium (Eu) were synthesized using the microwave-assisted hydrothermal method to analyze the relationship between their crystalline structure and the properties obtained through doping. The incorporation of rare earth ions (Eu) promoted preferential orientation and modified the crystallinity of the material, directly impacting its hardness, stability, and potential use as a drug nanocarrier. Structural characterization was performed using X-ray diffraction (XRD). Based on these results, it is suggested that europium (Eu) doping allows the tuning of hydroxyapatite properties to analyze their relationship with light emission properties.

Keywords: Hydroxyapatite, nanofibers, rare earths, bioceramic, nanomedicine.

1. Introducción

A lo largo de los años la ciencia se ha encargado de buscar materiales con propiedades multifuncionales, impulsando así el desarrollo de materiales capaces de combinar diferentes propiedades para su aplicación en distintas áreas, ya sea biomedicina, energía, tecnologías emergentes, entre otras. Dentro de este contexto, los biocerámicos han ganado un papel importante gracias a su versatilidad, sus diferentes propiedades y su capacidad para integrarse con tejidos biológicos sin generar reacciones adversas.

Entre estos materiales, la hidroxiapatita (HAp) un biocerámico compuesto principalmente por fosfato de calcio $[Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2]$, químicamente similar a la fase mineral de hueso y dientes, ha despertado gran interés gracias a esta similitud, la hidroxiapatita es biocompatible, bioactiva, osteoconductiva y tiene afinidad estructural lo que la convierte en un material que puede aceptar diversos iones como dopantes, lo que la permite ser utilizada en recubrimientos de implantes, regeneración ósea y sistemas de administración de fármacos entre otras.

Últimamente la comunidad científica se ha dirigido a dotar a la hidroxiapatita (HAp) de propiedades ópticas mediante su dopaje con iones de europio (EU) cuya configuración electrónica permite la emisión de luz

estable y de alta intensidad. Varios estudios han indicado la incorporación de estos iones que ayudaran a modificar las propiedades del cerámico, como su cristalinidad, la orientación preferencial y su morfología y con esto afectando de cierta forma su desempeño óptico.

2. Objetivos

Síntesis de Hidroxiapatita dopada con Europio, mediante el método hidrotermal asistido por microondas, con el fin de analizar su estructura y su posible mejora en emisión de luz.

3. Metodología

Material es:

- Matraz Erlenmeyer de 250ml y 500ml
- Probeta
- Vaso de precipitados de 500ml
- Agitador magnético
- Embudo buchner
- Papel filtro
- Plancha
- Balanza analítica
- Cuchara/espátula
- Tiras de pH
- Termómetro
- Microondas Monowave 300 de Anton Paar.
- Viales para microondas Monowave 300 de Anton Paar.
- Tubos eppendorf.
- Difractómetro de rayos X.

Reactivos:

- Nitrato de calcio tetrahidratado ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$)
- Ácido glutámico ($\text{C}_5\text{H}_9\text{NO}_4$)
- Fosfato monobásico de potasio (KH_2PO_4)
- Hidróxido de potasio (KOH)

- Nitrato de europio (III) hexahidratado ($\text{Eu}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)

Método:

Para la síntesis de hidroxiapatita existen diversos métodos químicos ya sea métodos húmedos o secos, con ayuda de precursores.

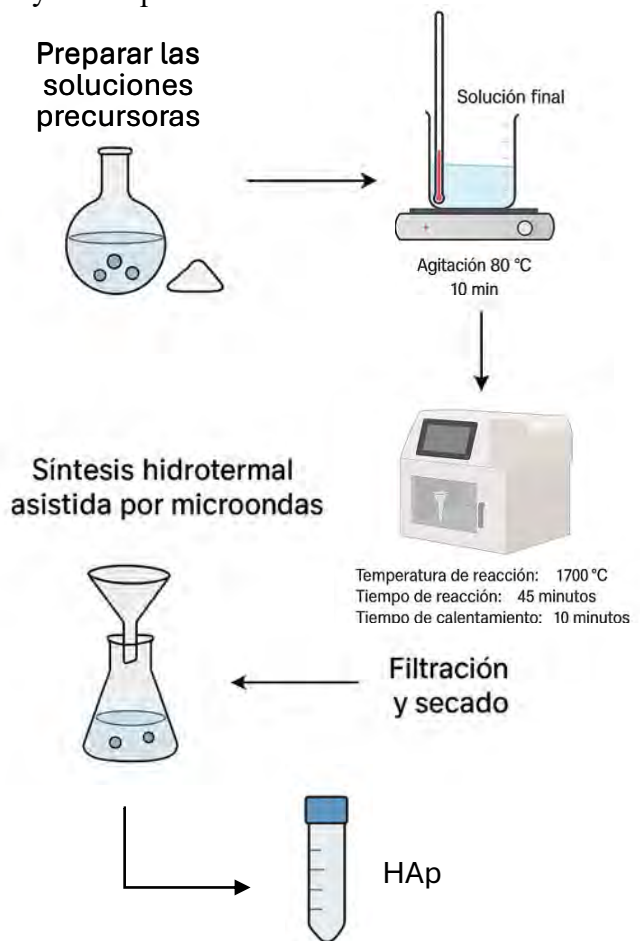


Figura 1. síntesis de Hidroxiapatita mediante hidrotermal asistido por microondas.

Nosotros elegimos realizar la síntesis de la hidroxiapatita pura (HAp) y la hidroxiapatita dopada con europio (EuxHAp) con el método hidrotermal asistido por microondas, ya que mediante esta se fabrica hidroxiapatita en forma de nano/micro, el reactor que calienta con microondas el volumen de la mezcla se maneja rápida y uniforme, logrando nucleación acelerada, crecimiento controlado y alta cristalinidad, en un periodo de tiempo “corto”.

La hidroxiapatita pura se obtuvo de la preparación de dos soluciones precursoras: en la primera solución se disolvieron 4.0097g de ácido glutámico y 1.1492g de nitrato de calcio en 300ml de agua destilada, esta solución se mantuvo en una agitación constante de 300rpm a una temperatura de 40°C durante 1hr.

Por otro lado, se realizó otra solución en donde se disolvieron 0.9704g de fosfato de potasio y 0.7759g de hidróxido de potasio en 250ml de agua destilada, esta solución también se mantuvo en agitación constante de 300rpm a una temperatura de 40°C durante 10min.

Teniendo las 2 soluciones listas procedimos a mezclarlas y dejarlas en agitación (300rpm) durante 10 min a 40°C.

Posteriormente se midió el pH de la solución final y esta se colocó en viales (20ml) para el microondas. Estos se introdujeron en un horno de microondas monomodo Anton Paar Monowave 300, con los siguientes parámetros de síntesis: temperatura de reacción: 170 °C, tiempo de reacción: 45 min y tiempo de calentamiento: 10 min. La solución obtenida en cada tubo fue filtrada mediante embudo con papel filtro y se dejó secar durante 24 h. Al día siguiente, el papel filtro se raspó ligeramente para recuperar los polvos de HAp, los cuales se almacenaron en tubos eppendorf.

La síntesis de la hidroxiapatita dopada con europio (III) se llevó a cabo mediante la misma metodología, realizar las 2 soluciones precursoras anteriores y otra solución la cual esta compuesta por 0.0475g de nitrato de europio en 10ml de agua destilada para una concentración de 2%, esta solución se agrego con la mezcla de las 2 soluciones precursoras anteriores. Posteriormente se sigue el mismo procedimiento para llevarlos al microondas.

4. Resultados

Se caracterizaron las muestras de (HAp) pura y la hidroxiapatita dopada con europio mediante Difracción de Rayos X (XRD) y Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR).

Con estas caracterizaciones logramos; Con el XRD identificar la fase cristalina, la pureza estructural y los cambios en la cristalinidad del material, mientras que el FTIR obtuvimos información sobre los grupos funcionales y la composición química de las muestras. Con estas técnicas es posible identificar como el dopaje con europio afecta la estructura de la hidroxiapatita.

Se utilizó un difractómetro Rigaku Dmax 2100 para analizar las muestras con una radiación Cu K α ($\lambda = 1,5406 \text{ \AA}$) y un voltaje de aceleración de 30 kV y una corriente de 20 mA.

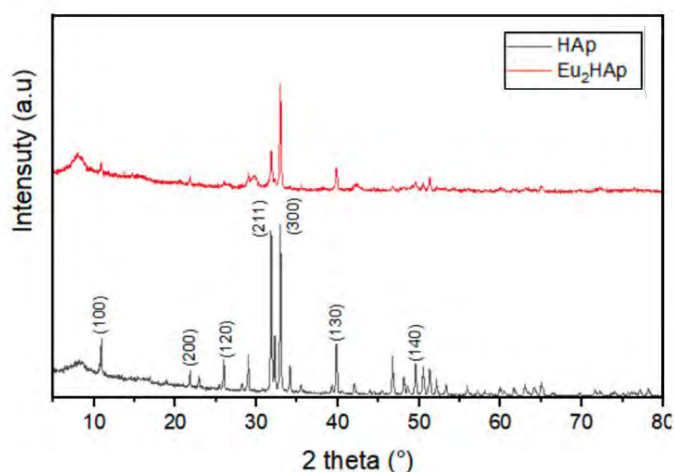


Figura 2. Difractograma de nanofibras de HAp dopadas con europio y sin dopar

Con el difractograma se logro identificar una fase cristalina correspondiente a la hidroxiapatita en ambas muestras, según el patrón de difracción PDF # (09-0432). Esto debido a los picos característicos en 2θ respectivos de la hidroxiapatita hexagonal.

La muestra Eu₂HAp mostro algunos signos que indicaban una fase secundaria de fosfato de potasio (K₃PO₄), esto nos indica algún cambio estructural causado por el dopante. La intensidad de los planos (300) fue significativamente mayor en la muestra dopada, esto indicaba una orientación preferencial en esa dirección. Sin embargo, en esta muestra se pudieron observar picos más amplios y un mayor ruido de fondo, lo que sugiere una disminución de la cristalinidad.

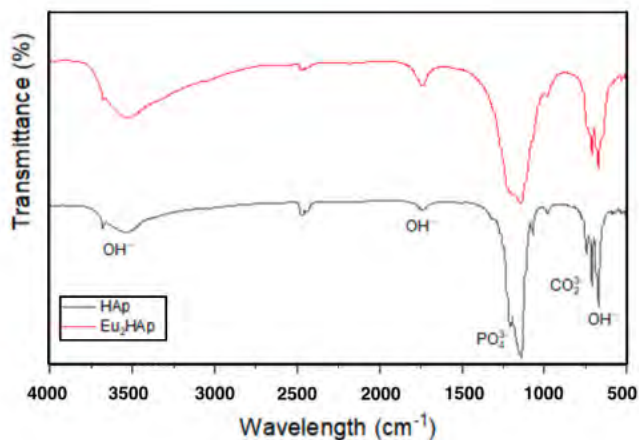


Figura 3. Espectro FTIR de hidroxiapatita dopada y no dopada.

Para el análisis espectral FTIR se nos permite observar y confirmar la presencia de los grupos funcionales, como los grupos fosfato (PO_4^{3-}) en regiones de $560\text{--}600\text{ cm}^{-1}$ y $1000\text{--}1100\text{ cm}^{-1}$, así también se puede observar la presencia de los grupos hidroxilo (OH^-) en ambas muestras en una región de 3570 cm^{-1} , gracias a esto podemos confirmar la buena síntesis de la hidroxiapatita, aunque en la hidroxiapatita dopada con europio se alcanzan a observar variaciones leves en la intensidad de banda, por lo que podemos asumir que se debe a una modificación de la red cristalina debido al dopaje.

5. Discusión

El difractograma de Rayos X nos muestra que tanto la hidroxiapatita pura como la hidroxiapatita dopada con europio conservan la fase cristalina hexagonal que es característica de este material. La inexistencia de picos adicionales nos demuestra que no se han generado fases secundarias, lo que implica que la que indica que el dopaje de europio no afecta de manera significativa la estructura cristalina predominante. No obstante, si se evidencio unas ligeras diferencias en la intensidad y el ensanchamiento de algunos picos en la muestra dopada estos signos pueden atribuirse a algunos cambios o tensiones internas en la red cristalina, debido a la sustitución parcial de iones Ca^{2+} por Eu^{3+} , los cuales exhiben diferentes radios iónicos.

Por otra parte, los espectros de FTIR nos revelaron que los grupos funcionales característicos de la hidroxiapatita, tales como fosfatos (PO_4^{3-}) y grupos hidroxilo (OH^-), siguieron presentes en la muestra de hidroxiapatita pura, como en la muestra dopada con europio, así podemos asumir que el dopaje con europio no compromete la estructura química fundamental del material. Aunque el cambio de vibración que se observa en la intensidad de algunas bandas señalan posibles interacciones entre los iones Eu^{3+} y la red cristalina, esto podría modificar un poco las propiedades ópticas.

6. Conclusión

El trabajar con una síntesis de hidroxiapatita pura (HAp) y dopada con europio (Eu_2HAp) mediante el método hidrotermal asistido por microondas, para poder comparar ambas muestras y ver como el dopaje afecta o no la estructura de la hidroxiapatita pura.

Gracia a las caracterizaciones que obtuvimos de nuestras muestras el XRD y EL FTIR nos demuestran que la dopación con europio es efectiva y no destructiva para la estructura de la hidroxiapatita, ya que no hay cambios significativos y los pocos que hay debido a los iones Eu^{3+} de esta forma este cambio podría dar modificaciones que ayuden a dar paso a nuevas propiedades para la hidroxiapatita. Es así que se da la posibilidad de nuevas aplicaciones biomédicas y ópticas.

Puedo concluir que realizar un trabajo de investigación de este tipo fue gratificante ya que me permite conocer nuevas cosas como en este caso la síntesis de hidroxiapatita y poder estudiar un poco más sobre esta y sus posibles aplicaciones que actualmente hay un campo extenso de estas.

7. Agradecimientos

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a la Universidad Autónoma de Querétaro que hicieron posible la realización de este programa de verano para

realizar un trabajo de investigación. También, agradezco al Dr. Rodrigo Velázquez Castillo, por darme la oportunidad de poder trabajar con él en un proyecto y por su invaluable orientación, paciencia y apoyo durante todo el proceso de investigación.

También extendiendo mi gratitud al Dr. Néstor Méndez Lozano a la tesista Carolina Arleth por enseñarnos y apoyarnos en la síntesis, a mi compañero Diego Agustín por su apoyo, su colaboración, ideas y constante motivación

8. Referencias

Alanís-Gómez, J. R., Rivera-Muñoz, E. M., Cervantes-Medina, J. S., Almanza-Reyes, H., Nava Mendoza, R., Cortes-Romero, C., & Velázquez-Castillo, R. (2016). Synthesis of micro and nanosized hydroxyapatite fibers through the microwave assisted hydrothermal method. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 16(7), 7557–7566. <https://doi.org/10.1166/jnn.2016.12829>

Matehuala, M. G. B. (2023). Obtención de estructuras de hidroxiapatita dopadas con tierras raras con aplicaciones potenciales en medicina.

Méndez-Lozano, N. (2025). Influence of europium doping on the crystalline and photoluminescence properties of hydroxyapatite nanofibers. *Ceramics International*. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0272884225016190>)

Yilmaz, H., & Yilmaz, S. (2018). *Wet chemical precipitation synthesis of hydroxyapatite (HA) powders*. *Ceramics International*, 44(12), 14440–14450. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0272884218305169>

Biosensores potenciométricos para la detección de iones Cloruro y Potasio

Camacho Landaverde Daniela dcamacho32@alumnos.uaq.mx, Pérez Reséndiz Luz Mariana luzmpresendiz@gmail.com, Escalona Villalpando Ricardo Antonio ricardo.escalona@uaq.edu.mx, Ledesma García Janet janet.ledesma@uaq.edu.mx, Resendiz Jaramillo Ariadna Yaneli aresendiz72@alumnos.uaq.mx

Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería, Campus Aeropuerto, Querétaro, México.

RESUMEN

El sudor es un fluido biológico de interés para el monitoreo no invasivo de parámetros fisiológicos, debido a que refleja el estado electrolítico del organismo. En este trabajo se desarrollaron nanobiosensores potenciométricos para la detección de iones potasio (K^+) y cloruro (Cl^-). Para los electrodos se utilizó como soporte papel Toray, sobre el cual se depositaron aerogeles nanoestructurados y membranas selectivas de iones, y se evaluaron mediante la técnica de potencial a circuito abierto (OCP) en sudor sintético. A su vez, se elaboró una referencia experimental a partir de nanopartículas de plata y $FeCl_3$, el cual presentó un desplazamiento de ≈ 250 mV respecto a la referencia comercial $Ag/AgCl$. A pesar de esta diferencia, el potencial se mantuvo estable y reproducible.

El sensor de potasio presentó incrementos progresivos de potencial con cada adición de KCl , por otro lado, el sensor de cloruros mostró una disminución del potencial conforme aumentó la concentración de Cl^- , una respuesta coherente con el comportamiento Nernstiano esperado.

Las curvas de calibración obtenidas a 350 s confirmaron la sensibilidad de los sensores, demostrando su potencial aplicación en sistemas portátiles de monitoreo iónico.

PALABRAS CLAVE: biosensor, aerogel, potasio, cloruro, potenciométrico, papel Toray, OCP.

ABSTRACT

Sweat is a biological fluid of interest for non-invasive monitoring of physiological parameters, as it reflects the electrolyte balance of the body. In this work, potentiometric nanobiosensors were developed for the detection of potassium (K^+) and chloride (Cl^-) ions. Toray paper was used as the electrode substrate, onto which nanostructured aerogels and ion-selective membranes were deposited. The sensors were evaluated using the open circuit potential (OCP) technique in synthetic sweat. Additionally, an experimental reference electrode was fabricated from silver nanoparticles and $FeCl_3$, which exhibited a potential shift of approximately 250 mV compared to a commercial $Ag/AgCl$ reference. Despite this difference, the potential remained stable and reproducible.

The potassium sensor exhibited progressive increases in potential with each KCl addition, while the chloride sensor showed a decrease in potential as the Cl^- concentration increased, a response consistent with the expected Nernstian behavior. Calibration curves obtained at 350 s confirmed the sensitivity of the sensors, demonstrating their potential application in portable ionic monitoring systems.

KEYWORDS: biosensor, aerogel, potassium, chloride, potentiometric, Toray paper, OCP.

I. INTRODUCCIÓN

Los biosensores se han propuesto como una tecnología de diagnóstico no invasivo para el monitoreo de biomarcadores en tiempo real [1]. Uno de los analitos frecuentemente utilizado es el sudor ya que ofrece ventajas notables: es accesible, no invasivo y refleja el estado electrolítico del organismo. Dicho estado puede evaluarse mediante sensores potenciométricos, capaces de cuantificar de manera simultánea electrolitos y metabolitos como sodio, potasio, cloruro, glucosa, ácido úrico, entre otros. [2]. Los niveles de estos biomarcadores se ven alterados si el individuo presenta alguna patología [1].

Particularmente los iones cloruro (Cl^-) y potasio (K^+) en el sudor han sido estudiados debido a su relación con enfermedades como fibrosis quística, desequilibrios electrolíticos y trastornos metabólicos [3].

Los iones cloruro (Cl^-) son electrolitos esenciales que participan en funciones como el mantenimiento del equilibrio osmótico, la regulación del volumen celular y la transmisión de impulsos nerviosos. Cuando los niveles se ven anormales y duplican la concentración normal en sudor de <30 mM, es indicador de enfermedades como la fibrosis quística [3]. También se puede relacionar con problemas de deshidratación e insuficiencia renal [4].

Los iones potasio (K^+) se utilizan como biomarcador para detectar enfermedades relacionadas con desequilibrios electrolíticos, fibrosis quística, cirrosis hepática y diversas nefropatías [5].

Sin embargo, la mayoría de los dispositivos de detección reportados enfrentan limitaciones en estabilidad, selectividad iónica y reproducibilidad, dificultando su aplicación en sistemas portátiles [3]. Esto motiva la búsqueda de nuevos materiales que mejoren la respuesta de los electrodos y su viabilidad en escenarios clínicos [6,7].

Por ello, se plantea que la incorporación de aerogeles nanoestructurados combinados con membranas selectivas puede incrementar la

sensibilidad y confiabilidad de los biosensores [7]. El presente estudio tiene como propósito desarrollar y validar sensores potenciométricos soportados sobre electrodos de papel Toray modificados para poder establecer una base confiable para la detección de iones en un buffer de fosfatos.

II. OBJETIVOS

1. Desarrollar electrodos para la detección de iones cloruro y potasio basados en aerogeles nanoestructurados y membranas selectivas de iones sobre papel Toray.
2. Validar y estandarizar la funcionalidad del sensor electroquímicamente mediante pruebas de potencial a circuito abierto (OCP).
3. Fabricar electrodos de referencia con AgNP/FeCl_3 sobre papel toray.
4. Comparar el potencial obtenido del electrodo de referencia respecto a electrodos comerciales de Ag/AgCl .

III. METODOLOGÍA

Preparación de sudor sintético (buffer de fosfatos)

Se pesaron 6 g de Fosfato de Potasio Monobásico KH_2PO_4 y 0.3 g de Fosfato de Sodio Dibásico heptahidratado Na_2HPO_4 y se disolvieron en 500 mL de agua destilada, ajustando el pH a 5.6

Electrodos de cloruro

Se mezclaron 5 mg de aerogel de plata con 500 μL de agua desionizada y 250 μL de Nafion en un vortex, posteriormente se sometió a baño ultrasónico durante 20 minutos. Sobre el papel Toray 3×0.5 cm se depositaron 2 capas de 10 μL cada una, de la tinta nanoestructurada de plata, dejando secar 1 hora a temperatura ambiente entre cada capa. Finalmente, se añadieron 10 μL de membrana de hidroxietilcelulosa 3% y se dejó secar por 24 horas a temperatura ambiente.

Electrodos de potasio

Para la síntesis de la membrana selectiva de iones se preparó una mezcla de valinomicina, KTCIPB, poliuretano y bis(2-etilhexil)sebacato (DOS), disueltos en 1 mL de tetrahidrofurano (THF).

Por otro lado, para el soporte se dispersó 1 mg de aerogel de carbono funcionalizado en 1 mL de etanol. Sobre el papel Toray se depositó 1 capa de soporte de 10 μL por drop-casting y se dejó secar 10 minutos. Finalmente, se depositaron 5 capas de 10 μL de la membrana sobre papel Toray, dejando secar durante 1 hora a temperatura ambiente.

Electrodos de referencia

Como método de comparación, se utilizó un electrodo de referencia comercial Ag/AgCl con la cuál se estandarizó la referencia experimental. Para ello, se depositó 1 capa de 10 μL de una tinta comercial de Nanopartículas de plata sobre el papel Toray en un área de 0.5x0.5 cm, posteriormente se depositó 1 capa de 10 μL de FeCl_3 y se dejó secar por 5 días.

Evaluación electroquímica

La validación del biosensor se realizó utilizando un potenciostato BioLogic SP-3300 en modo OCP (Open circuit potential): Para ello, se empleó una solución Buffer (pH 5.6) como electrolito y dos electrodos: trabajo y referencia, tal como se muestra en la Figura 1. Se realizaron tres pruebas a 0 mM de 10 minutos cada una; posteriormente se hicieron adiciones de 10 μL de KCl en un rango de 2 a 16 mM. Entre cada adición se llevó a cabo una medición OCP de 10 min.



Figura 1. Montaje de la celda electroquímica para las pruebas potenciométricas.

IV. RESULTADOS

En la Figura. 2 se muestran los electrodos elaborados sobre papel Toray. Las capas depositadas

de aerogel y membranas selectivas se observaron bajo microscopio presentando una apariencia homogénea, así como se observa en la Figura 2.



Figura 2. Microscopía de las capas funcionales sobre el electrodo de papel Toray para el biosensor de K^+ .

En la Figura 3a se muestran los electrodos para el sensor de potasio utilizando el ionóforo de tipo I y II. La Figura 3b muestra electrodos del sensor de cloruro y las referencias fabricadas en el laboratorio.

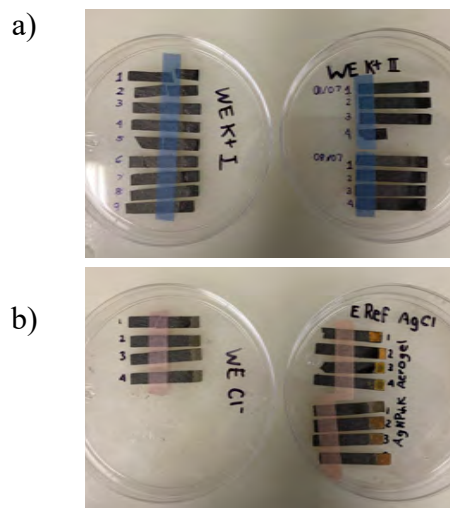


Figura 3. Electrodos fabricados sobre soporte de papel Toray.

En la Figura 4 se observa la respuesta del electrodo selectivo de potasio. Durante la medición a 0 mM el potencial permaneció estable y tras cada adición de KCl (2 mM), el valor del potencial incrementó progresivamente. Este comportamiento demuestra la sensibilidad del sensor respecto a la concentración iónica.

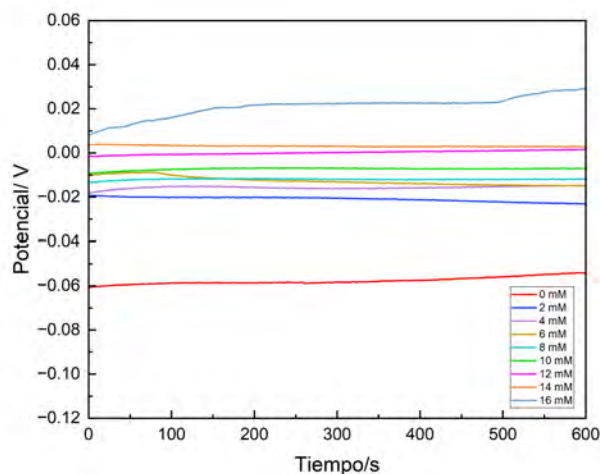


Figura 4. Respuesta potenciométrica del sensor de potasio (K^+) a adiciones sucesivas de KCl (2 mM).

La Figura 5 presenta la respuesta del sensor selectivo a cloruros. En este caso, la tendencia general de su comportamiento fue una disminución del potencial conforme se incrementaba la concentración de Cl^- , respondiendo a lo esperado de acuerdo con el equilibrio electroquímico del sistema $AgNP/FeCl_3$. Sin embargo, se registraron desviaciones en algunas adiciones, posiblemente asociadas a defectos en la homogeneidad en la tinta de los electrodos.

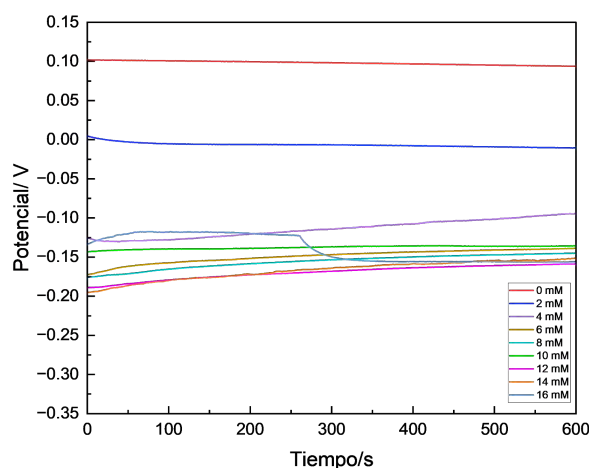


Figura 5. Respuesta potenciométrica del sensor de cloruro (Cl^-) a adiciones sucesivas de KCl (2 mM).

En la Figura 6 se comparan los potenciales registrados entre la referencia sobre Toray ($AgNP/FeCl_3$) y la referencia comercial ($Ag/AgCl$).

Se observó que el potencial de la referencia elaborada en papel Toray (+0.065 V) se encuentra desplazado aproximadamente 250 mV respecto a la referencia comercial (-0.187 V). Aunque su comportamiento fue estable y reproducible, esta diferencia limita reproducir el potencial estándar de $Ag/AgCl$.

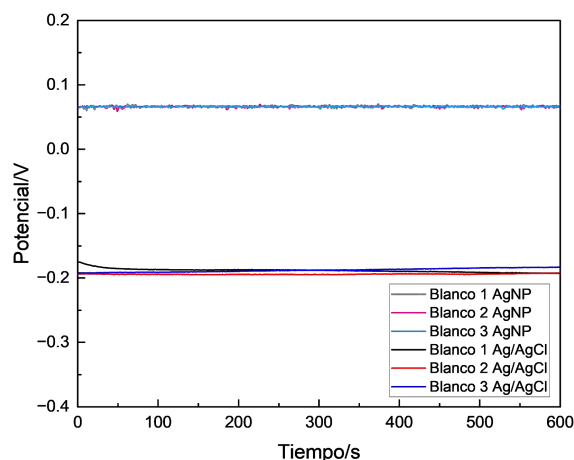


Figura 6. Estandarización de electrodos de referencias comparando el comportamiento entre el electrodo de referencia experimental $AgNP/FeCl_3$ y un electrodo de referencia comercial $Ag/AgCl$ en pruebas en blanco (0 mM).

Finalmente, la Figura 7 resume la respuesta de los sensores ya que se observa la tendencia del potencial registrado a los 350 segundos contra la concentración de ion.

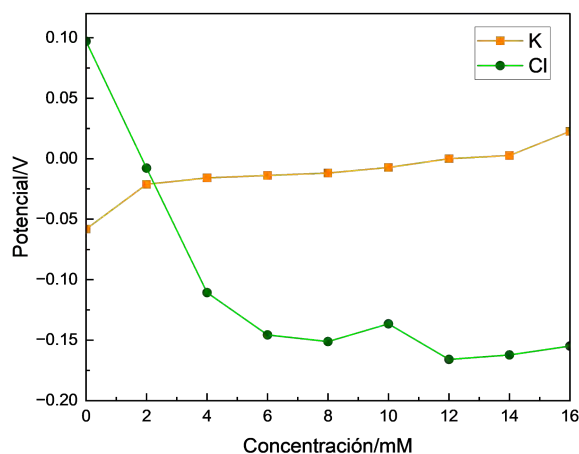


Figura 7. Curvas de calibración de electrodos de iones potasio y cloruros vs electrodo de de referencia experimental $AgNP/FeCl_3$

En el caso del sensor de potasio, la relación fue lineal y positiva, mientras que para cloruros la pendiente fue negativa, como se esperaba teóricamente. Aunque se observan algunos datos anormales en el sensor de cloruro específicamente a 10, 14 y 16 mM en donde se tiene un aumento del potencial respecto a la concentración anterior.

V. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los biosensores desarrollados en papel Toray mostraron una respuesta potenciométrica estable frente a variaciones en la concentración de iones. En el sensor de potasio (Figura 4), los incrementos de potencial observados en cada adición de KCl confirman la capacidad de selectividad a iones K^+ de la membrana con valinomicina, mostrando una tendencia coherente con el comportamiento Nernstiano esperado. La reproducibilidad de la señal a lo largo de las adiciones sugiere que se obtuvo un recubrimiento lo suficientemente estable para la detección del ion.

Por otro lado, el sensor de cloruros (Figura 5) mostró una disminución progresiva del potencial en cada adición de KCl. Sin embargo, algunas variaciones menores entre las adiciones de 10, 14 y 16 mM sugieren que el electrodo no alcanzó una homogeneidad completa, lo que pudo afectar la difusión iónica y la estabilización del potencial. A pesar de ello, la tendencia general respalda el funcionamiento del electrodo para la detección del anión.

En cuanto a la estandarización de las referencias, la comparación entre la referencia experimental y la comercial, presentada en la Figura 6, reveló un desplazamiento de aproximadamente 250 mV en el potencial. Si bien esta diferencia indica que la referencia experimental no reproduce el potencial estándar de Ag/AgCl, el hecho de que se mantuviera estable y reproducible durante las mediciones permite considerarla como una alternativa flexible, de bajo costo y con oportunidades de mejora.

Finalmente, la curva concentración–potencial de la Figura 7 obtenida a los 350 segundos permitió resumir y cuantificar el desempeño de ambos

sensores. La linealidad de la respuesta en el caso de potasio, y la pendiente negativa en cloruros, corroboran la sensibilidad de los electrodos.

VI. AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento a la Universidad Autónoma de Querétaro y al programa de Verano de la Ciencia 2025 por apoyar la formación en la investigación y brindarnos la oportunidad de introducirnos a este proyecto.

Al Laboratorio Nacional de Micro y Nanofluidica, sede UAQ, por el espacio y recursos para el desarrollo de este proyecto de investigación

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Tang, Y., Zhong, L., Wang, W., He, Y., Han, T., Xu, L., Mo, X., Liu, Z., Ma, Y., Bao, Y., Gan, S., & Niu, L. (2022). Recent advances in wearable potentiometric pH sensors. *Membranes*, 12(5), 504. <https://doi.org/10.3390/membranes12050504>
- [2] Pirovano, P., Dorrian, M., Shinde, A., Donohoe, A., Brady, A. J., Moyna, N. M., Wallace, G., Diamond, D., & McCaul, M. (2020). A wearable sensor for the detection of sodium and potassium in human sweat during exercise. *Talanta*, 219, 121145. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2020.121145>
- [3] Queralto, N., Vargas, J., & Gallardo, J. (2024). Advances in sweat-based chloride detection for cystic fibrosis. *Journal of Electroanalytical Chemistry*, 948, 117086. <https://doi.org/10.1016/j.jelechem.2024.117086>
- [4] Manjakkal, L., Dervin, S., & Dahiya, R. (2020). Flexible potentiometric pH sensors for wearable systems. *RSC Advances*, 10(15), 8594–8617. <https://doi.org/10.1039/d0ra00016g>
- [5] Özbek, O. (2023). A potentiometric sensor for the determination of potassium in different baby follow-on milk, water, juice and pharmaceutical samples. *Journal of Food Composition and Analysis*, 115, 104937. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2022.104937>
- [6] Raza, T., Qu, L., Khokhar, W. A., Andrews, B., Ali, A., & Tian, M. (2021). Progress of wearable and flexible electrochemical biosensors with the aid of conductive nanomaterials. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.761020>
- [7] Zhang, T., Zhao, Y., Muhetaer, M., & Wang, K. (2020). Silver nanoparticles cross-linked polyimide aerogels with improved high temperature microstructure stabilities and high mechanical performances. *Microporous and Mesoporous Materials*, 297, 110035. <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2020.110035>

Estandarización de la determinación de NFκB en tejidos intestinales de ratones C57BL/6 con inflamación inducida por obesidad y tratados con suplemento de hoja de frijol

Olvera Hernández Fernanda Itzel¹, Díaz Dueñas Gabriela¹, Marcial Montalvo Yetsi Mariana² y Ahumada Solórzano Santiago Marisela²

¹Facultad de Química, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro 76017, México.

²Facultad de Ciencias Naturales, Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro.

Dra. Santiago Marisela Ahumada Solórzano
Responsable de la investigación
Facultad de Ciencias Naturales
Universidad Autónoma de Querétaro
santiago.marisela.ahumada@uaq.mx

Resumen

La obesidad se ha convertido en uno de los problemas más importantes de salud pública en el mundo. En México, el 38.9% de la población adulta vive con obesidad y el 37.3% tiene sobrepeso. La obesidad se ha asociado con una inflamación crónica de bajo grado, caracterizada por la liberación de citocinas al torrente sanguíneo y la activación de vías de señalización inflamatorias como NFκB. Cambios en la alimentación asociado a metabolitos secundarios de origen vegetal tienen la capacidad de

intervenir con estas vías de señalización para disminuir la inflamación. Un ejemplo de ello son las hojas de frijol, de las cuales se ha reportado un efecto positivo sobre la inflamación intestinal al administrarlas como suplemento en ratones obesos. Por lo que, este trabajo tuvo por objetivo evaluar diferentes condiciones experimentales para la separación de proteínas en tejidos intestinales de ratones C57BL/6, para la posterior determinación del factor de transcripción NFκB. Esto se hizo separando proteínas de yeyuno y colon por SDS-PAGE bajo condiciones reductoras- desnaturizantes y no reductoras, transferidas y teñidas para observar el patrón de bandeo para cada condición. Con los resultados obtenidos en este trabajo se concluyó que la condición reductora-desnaturizante es la indicada para utilizar en yeyuno y colon, donde se pudieron identificar bandas claras y de pesos moleculares similares a los esperados para la posterior detección de NFκB.

Abstract

Obesity has become one of the most important public health problems worldwide. In Mexico, 38.9% of the adult population lives with obesity, and 37.3% is overweight. Obesity is associated with low-grade chronic inflammation, characterized by the release of pro-inflammatory cytokines into the bloodstream and the activation of inflammatory signaling pathways, such as the NF-κB. Dietary changes, including those involving plant-derived secondary metabolites, have the potential to regulate these signaling pathways and reduce inflammation. Bean leaf supplements have been reported to exert a positive effect on intestinal inflammation through the action of their secondary metabolites **when** administered as a dietary supplement in obese mice. Therefore, this study aimed to evaluate different conditions for protein separation from the intestinal tissues of C57BL/6 mice to determine the presence

of the NF- κ B transcription factor. Proteins from the jejunum and colon were separated by SDS-PAGE under both reducing-denaturing and non-reducing conditions, then transferred and stained to observe the banding pattern for each condition.

Based on the results, we concluded that the reducing-denaturing condition is optimal for both jejunum and colon tissues, as it provided clear bands with molecular weights similar to those expected for the subsequent detection of NF- κ B.

Palabras clave

Hoja de frijol, obesidad, inflamación, vía NF- κ B.

Bean leaves, obesity, inflammation, NF- κ B pathway.

Introducción

La obesidad es una enfermedad crónica caracterizada por una acumulación excesiva de grasa corporal, generalmente como resultado de un desequilibrio entre la ingesta calórica y el gasto energético (Schwartz et al., 2017). Se considera un padecimiento multifactorial, influido por factores genéticos, ambientales y conductuales, siendo la dieta uno de los principales determinantes. Su prevalencia ha aumentado de manera significativa. De acuerdo con datos del INEGI, en 2018 se reportó que la población mexicana más propensa a sufrir obesidad pertenece al grupo de edad entre 30 - 59 años, con una incidencia del 35% en hombres y 46% en mujeres. Sin embargo, en edades más tempranas entre los 5 - 19 años, es más frecuente en hombres, mientras que, a partir de los 60 años, las mujeres son más propensas a desarrollar esta enfermedad (INEGI, 2020).

En primera instancia, ocurre la acumulación de grasa en el tejido adiposo blanco. Este tejido se distribuye en dos depósitos: el tejido adiposo subcutáneo localizado en uno de los estratos de la piel, y el tejido adiposo visceral que cubre la cavidad abdominal, alrededor de los órganos (Horwitz, 2023). En ambos tejidos, el exceso de ingesta

calórica produce altos niveles de glucosa en sangre, por lo que los adipocitos se ven obligados a absorber una mayor cantidad de nutrientes y almacenar el exceso de energía en forma de triglicéridos (Kolb, 2022).

El exceso de tejido adiposo a nivel celular se debe a dos procesos: hiperplasia, que es la proliferación de adipocitos, e hipertrofia, que es el aumento de su tamaño. Ambos fenómenos repercuten de manera negativa en el organismo ya que al incrementar el volumen y generar nuevos adipocitos, provocan un aumento en la inflamación local y una alteración en la capacidad de almacenamiento de los lípidos, y en consecuencia, la grasa se dirige a tejidos periféricos como el músculo esquelético, páncreas, hígado, riñones, cerebro, corazón y tracto intestinal (Horwitz, 2023; Rubino et al., 2025).

En la obesidad, la disbiosis de la microbiota intestinal favorece la liberación de lipopolisacáridos (LPS) provenientes de bacterias Gram negativas. Los LPS junto con ácidos grasos saturados de la dieta, actúan como ligandos de los receptores tipo Toll (TLR), TLR4 y TLR2. La activación de estos receptores mediante MyD88 o TRIF estimula la fosforilación del complejo IKK β , y por ello, provoca la degradación del inhibidor I κ B α , liberando el dímero NF κ B (p65/p50), que transloca al núcleo y promueve la transcripción de genes proinflamatorios como TNF- α e IL-6; que dan como resultado un estado de inflamación crónica que se asocia con un mayor riesgo a contraer enfermedades metabólicas como diabetes tipo 2, enfermedades cardiovasculares, hipertensión, disfunción hepática, entre otras (Griffin, 2022; Horwitz, 2023).

Uno de los posibles tratamientos para prevenir o controlar enfermedades como la obesidad, consiste en promover la actividad física y disminuir estilos de vida sedentarios, al igual que tener una dieta saludable. La Organización Mundial de la Salud recomienda consumir al menos 400 g de frutas y verduras al día, reducir el consumo de grasas, limitar la cantidad de sal y azúcar en los alimentos y bebidas (OMS, 2018).

En México, el frijol es uno de los componentes principales en la alimentación. Lo que se considera para consumo humano de la planta de frijol suele ser la semilla seca; no solo por su larga vida útil o fácil preparación y combinación con otros alimentos, sino también por sus propiedades nutricionales. Además los tallos tiernos, y las vainas se consumen. Las hojas de frijol también representan una fuente rica en proteína, fibra, hierro y polifenoles; compuestos con propiedades antioxidantes y antiinflamatorias que tienen potencial en la regulación de la glucosa y lípidos (Ramírez et al., 2021).

La Dra. Santiago Marisela Ahumada Solórzano en conjunto con su equipo de trabajo, han sido pioneros en explorar las propiedades de la hoja de frijol. Entre sus investigaciones destaca la evaluación de un suplemento de origen natural en modelos de obesidad alimentados con grasa y fructosa, utilizado para inducir obesidad y lipotoxicidad hepática, con la finalidad de prevenir alteraciones metabólicas. En este modelo, la suplementación logró prevenir la tolerancia a la glucosa deteriorada, hipercolesterolemia y mejorar la resistencia a la insulina, debido a una menor acumulación de grasa corporal (Becerril-Campos et al., 2023).

Del mismo modo, Ocampo-Anguiano et al., 2024 observó que bajo un modelo dietético alto en grasa y fructosa, del mismo suplemento redujo la acumulación de tejido adiposo visceral y subcutáneo, así como los niveles de triglicéridos. Este fenómeno también se reflejó en una disminución de la longitud y peso intestinal de colon e intestino delgado. En contraste, el tratamiento con el suplemento permitió restaurar las vellosidades y evitar la infiltración linfocítica, restablecer la permeabilidad intestinal, reducir la endotoxemia y la inflamación sistémica. Asimismo, en los animales con esta dieta, el consumo de este suplemento durante 12 semanas permitió revertir el daño intestinal. Es de importancia determinar si NFκB está implicado como parte del mecanismo de acción del suplemento como tratamiento para la obesidad.

Objetivos

Estandarizar el método para la determinación de NFκB en inflamación inducida por obesidad en tejidos intestinales de ratones C57BL/6.

Metodología

En este proyecto se emplearon tejidos de ratones provenientes de la investigación en curso (Ocampo-Anguiano et al., 2024), en la cual los animales fueron alimentados son distintos tratamientos , conformando así un total de 5 grupos experimentales:

Tabla 1. Clasificación de tratamientos.

Grupo	Descripción
SD	Dieta estándar de ratón
HFFD	Dieta alta en grasa y fructosa
HF	Dieta alta en grasa y fructosa con suplemento de hoja de frijol
SC	Dieta alta en grasa y fructosa con semilla cocida de frijol
SDP	Dieta saludable después de inducción de obesidad

I. Preparación de homogenados

Se realizaron homogenados de tejido intestinal (yeyuno y colon) de ratón C57BL/6 utilizando buffer Tris 0.1 M, pH 7.2, en una proporción de 1:3, el cual contiene un cóctel de inhibidores de proteasas con EDTA (Mini cOmplete de Roche, 1 pastilla/50 ml de buffer). Para ello, se utilizó un homogeneizador Polytron y las muestras obtenidas se almacenaron en tubos eppendorf. Posteriormente, se llevó a cabo la sonicación de las muestras a 4°C durante 30 minutos, y enseguida se centrifugaron a 16000 g a 4°C por 30 minutos. Finalmente, se recuperó la fase correspondiente al sobrenadante proteico y se transfirió las alícuotas en nuevos tubos eppendorf para almacenarse a -80°C.

Con las muestras obtenidas, se realizaron las diluciones correspondientes para conocer la concentración proteica (µg/ml), mediante una curva

de calibración de BSA empleando el reactivo y método de microBradford. En este procedimiento se utilizó una placa ELISA donde se colocaron las muestras por triplicado, y se cuantificaron en un espectrofotómetro a 595 nm (Bradford, 1976; Becerril-Campos et al., 2023 repositorio UAQ).

II. Electroforesis desnaturalizante en gel de poliacrilamida

Se elaboraron geles de poliacrilamida, el gel concentrador al 4% y el gel resolvidor al 10%. En ambos tejidos, se consideró una concentración de 90 µg de proteína, y el cargado de la muestra con el buffer de carga fue en relación 1:1. Del mismo modo, se cargó en el primer carril el marcador de peso molecular (PM) precision plus kaleidoscope de Bio-Rad en todos los geles.

Asimismo, se buscó estandarizar las condiciones para poder identificar la proteína de interés NFκB. En algunos casos se siguió el protocolo estándar en donde la muestra se somete a un calentamiento de 80°C durante 5 minutos en conjunto con el buffer de carga que presenta β-mercaptoetanol (condiciones desnaturalizantes-reductoras, R). Por otro lado, en otros casos se omitió el calentamiento de la muestra, únicamente la variable a considerar fue la adición o no del β-mercaptoetanol en el buffer de carga (NR).

En todos los casos, la electroforesis se realizó con el buffer de corrida 1X a 4°C manteniendo en hielo frappe, para favorecer el corrimiento proteico y evitar su degradación, utilizando un voltaje de 120 V durante 1.5 h aproximadamente.

III. Transferencia de proteínas

Una vez concluida la electroforesis, se eliminó el gel concentrador y se colocó el gel resolvidor en el buffer de transferencia. A su vez, se dejó equilibrar el gel y la membrana de nitrocelulosa en este buffer durante al menos 15 minutos para una correcta transferencia. Transcurrido este tiempo, se procedió a formar el paquete para la transferencia, para ello se posicionó adecuadamente el cassette con la placa de plástico negra hacia abajo y la transparente hacia

arriba. Posteriormente, se colocó la fibra, seguida del filtro, el gel, la membrana, el filtro, la fibra y se eliminó el excedente de aire con ayuda de un rodillo. Finalmente, se cerró el cassette y se colocó dentro de la cámara, con una barra magnética y un bloque de hielo. La electrotransferencia se realizó con agitación constante a 200 mA durante 1 h (Becerril-Campos, 2023 repositorio UAQ).

Al término de la transferencia, se delimitó con una aguja las bandas del marcador de peso molecular y se tiñó la membrana con rojo de Ponceau para verificar la eficiencia de la transferencia. Después, se enjuagó la membrana con agua destilada y se destiñó con un lavado en TBS 1X durante 10 minutos. Posteriormente, se incubó la membrana por 10 minutos en la solución bloqueadora de leche al 3% en TBS 1X y se realizaron tres lavados de 10 minutos cada uno con buffer TTBS 1X. A continuación, se incubó la membrana por 2 h a temperatura ambiente con el anticuerpo primario NFκB p50 D-6 sc-166588 (Santa Cruz Animal Health, 2025) en una proporción de 1:1500 con TTBS. Luego, se volvieron a realizar tres lavados de 10 minutos con el buffer TTBS 1X, y enseguida se incubó el anticuerpo secundario m-IgGkBP-HRP en una proporción de 1:6000 con TTBS durante 2 h a temperatura ambiente. Por último, se realizaron 3 lavados de 10 minutos con buffer TTBS 1X y 2 lavados de 10 minutos con TBS 1X.

III. Visualización de proteína de interés

Se colocaron las membranas dentro de dos láminas de acetato, a los cuales se les añadió una mezcla del reactivo de luminol y peroxidasa en una proporción de 1:1. La señal de quimioluminiscencia producida por la interacción entre el anticuerpo secundario y el sustrato, se visualizó por medio del equipo ChemiDoc para la detección de la proteína de interés NFκB. Finalmente, se realizó el análisis por densitometría de las membranas mediante el programa Image Lab de Bio Rad con la finalidad de determinar la relación de la proteína de interés respecto a la proteína de cargado.

Resultados

Con base en las membranas teñidas con rojo de Ponceau se intentó identificar la proteína de interés (NFκB) considerando su peso molecular y la región donde el anticuerpo tendría la afinidad para unirse y ser detectado. No obstante, esta tinción sólo permite visualizar proteínas totales, por lo que no es posible confirmar la identidad NFκB, ni diferenciarla de otras proteínas con un peso molecular similar. Para su identificación, es necesario de un análisis adicional mediante inmunodetección por quimioluminiscencia con el anticuerpo específico de NFκB para su detección específica. Este procedimiento se realizó, pero los resultados no se presentan en este reporte debido a que serán utilizados en estudios posteriores.

Las bandas de interés se encuentran dentro del rango donde el anticuerpo NFκB p50 D-6 sc-166588 reconoce la serie de aminoácidos de 320 - 357 en el extremo C de NFκB p50. Al ser un anticuerpo monoclonal reconoce las subunidades de NFκB p105 (105 kDa) y NFκB p50 (50 kDa).

1. Muestras sometidas a calentamiento con β-mercaptoetanol
 - 1.1. Homogenados proteicos de yeyuno, CR

La figura 1 corresponde al resultado de la transferencia por duplicado de homogenados proteicos de yeyuno en condiciones CR. No se observan bandas en 100 kDa, lo que podría sugerir la ausencia de NFκB p105 (105 kDa) en ninguno de los tratamientos. No obstante, se percibe un bandeo alrededor de 50 kDa en la mayoría de los tratamientos que podría pertenecer a la proteína de NFκB p50; el grupo SC exhibió una expresión de la proteína NF-κB p50 significativamente menor en comparación con el grupo HFFD, mientras que no se observaron diferencias significativas con respecto al grupo SD. Estos resultados sugieren que el tratamiento con SC fue efectivo para normalizar la expresión de NF-κB p50, mitigando el efecto proinflamatorio inducido por la dieta HFFD (datos

no mostrados, ya que se usarán en un estudio y publicación posterior).

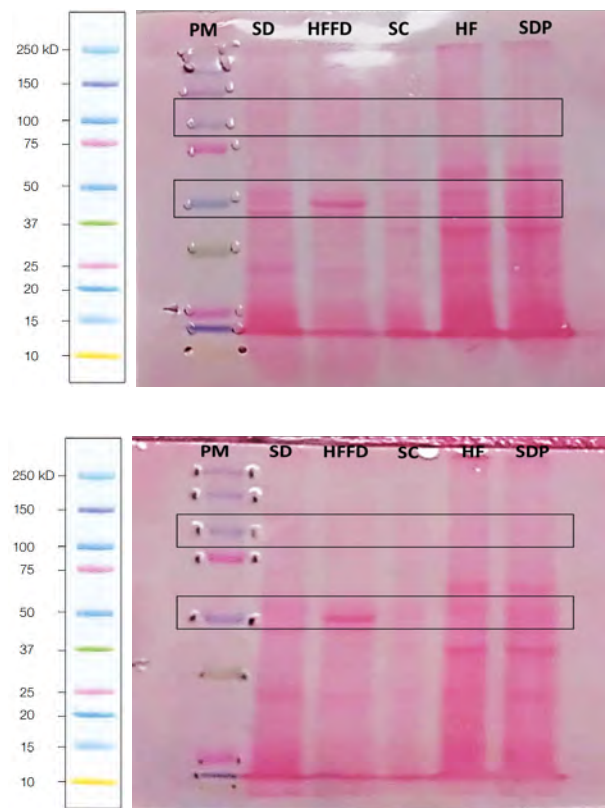


Figura 1. Membranas representativas de la transferencia de homogenados proteicos de yeyuno (90 µg CR). El experimento se realizó por duplicado.

- 1.2. Homogenados proteicos de colon CR

En la membrana de las muestras de proteínas de colon, figura 2, no se observa un bandeo aparente en la zona de 100 kDa, lo que podría sugerir que no se encuentra la proteína NFκB p105. Del mismo modo, en el caso de NFκB p50 se observa un bandeo difuso en 50 kDa en la mayoría de los grupos.

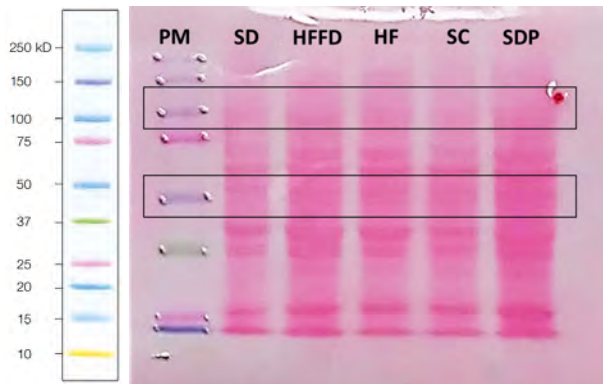


Figura 2. Membrana representativa de la transferencia de homogenados proteicas de colon (90 µg CR).

2. Muestras sin β -mercaptoetanol y sin calentamiento

2.1. Homogenados proteicos de yeyuno NR

La figura 3 perteneciente a las muestras proteicas de yeyuno, se puede descartar la presencia de NF κ B p105 ya que no se muestran bandas en la zona de 100 kDa a excepción de los grupos HFFD y SDP, sugiriendo que esa isoforma de NF κ B si estuvo presente en dichos grupos y causar posiblemente mayor inflamación. A su vez, se observan bandas en la mayoría de los grupos, que podrían indicar la presencia de NF κ B p50 con excepción de HF y SC, sugiriendo que fueron los tratamientos que revirtieron la inflamación por HFFD.

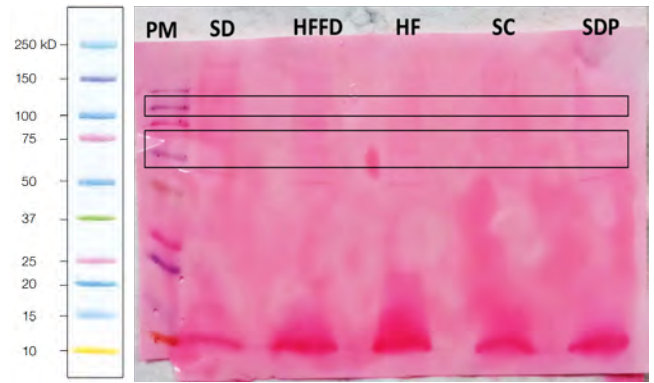
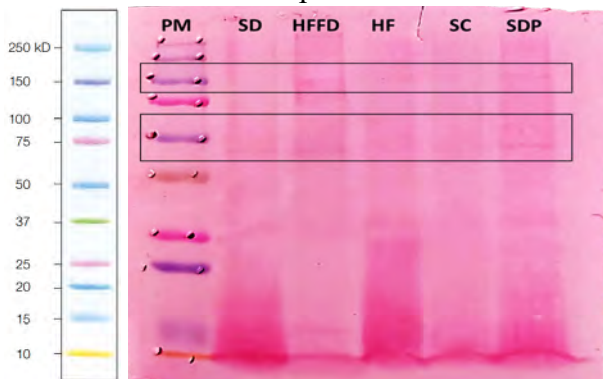


Figura 3. Membranas representativas de la transferencia de homogenados proteicos de yeyuno (90 µg NR). El experimento se realizó por triplicado.

2.2. Homogenados proteicos de colon NR

En la figura 4 se muestra la membrana de muestras proteicas de colon en condiciones NR. Se observa una mayor concentración de proteína de 100 kDa en el grupo HFFD, mientras que en el resto de los tratamientos no aparece esa banda; lo cual sugiere que este grupo podría contener NF κ B p105, o ser el que presentó mayor inflamación. En cambio, todos los tratamientos en la zona de 50 kDa poseen bandas, lo que sugiere la presencia de NF κ B p50. Es de interés determinar por inmunodetección con anticuerpo específico la presencia de esta isoforma.

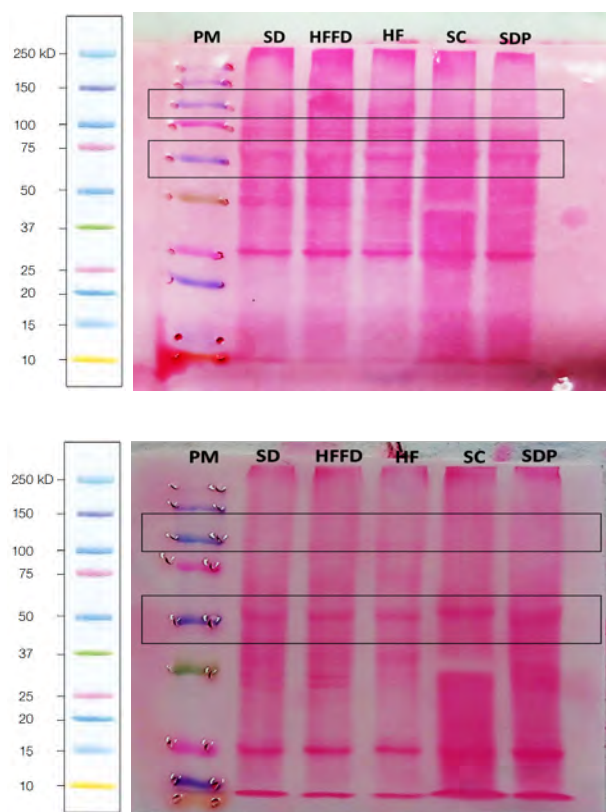


Figura 4. Membranas representativas de transferencia de muestras proteicas de colon, NR. El experimento se realizó por duplicado.

3. Muestras con β -mercaptoetanol y sin calentamiento

3.1. Homogenados proteicos de yeyuno

En la membrana de muestras proteicas de yeyuno de la la figura 5 se observan algunos pesos moleculares inclinados, lo que podría dificultar la lectura de los mismos. Asimismo, no se logran observar bandas en ninguna de las zonas de interés, por lo que esta condición metodológica se descartó para el estudio.

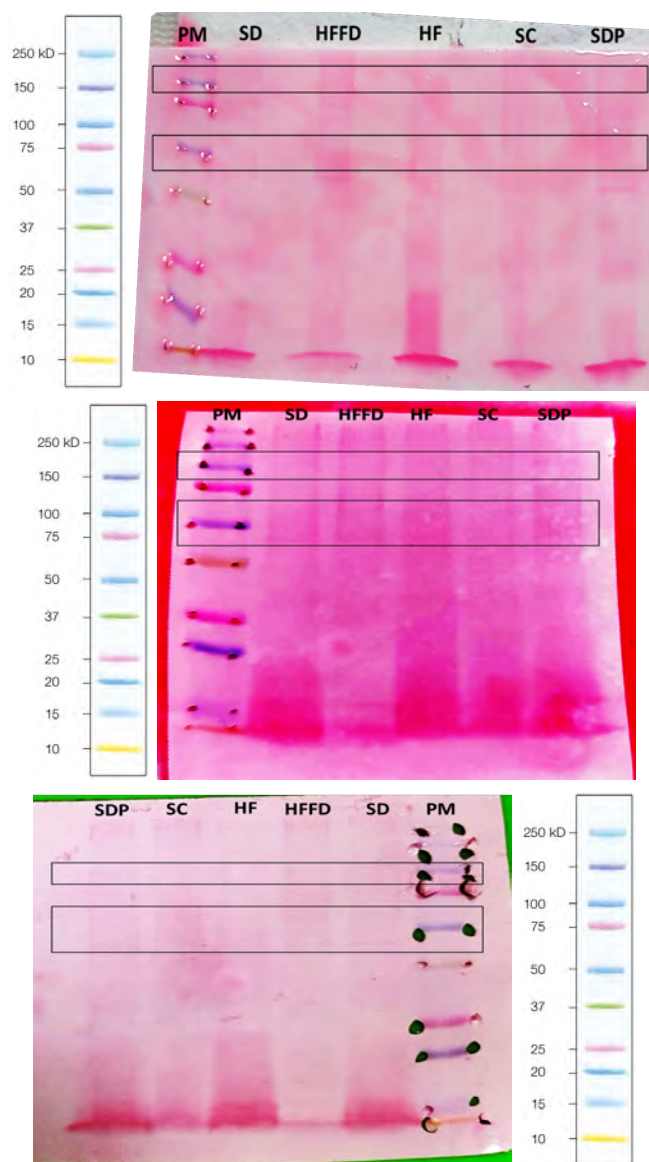


Figura 5. Membranas representativas de transferencia de muestras proteicas de yeyuno, con β -mercaptoetanol y sin calentamiento. El experimento se realizó por triplicado.

3.2. Homogenados proteicos de colon

La membrana de muestras proteicas de colon en la figura 6 no muestra bandeo en la zona de 100 kDa. Únicamente en los grupos de HFFD y SDP se logra apreciar una banda tenue alrededor de 50 kDa, lo que podría sugerir la presencia de NF κ B p50 y que estos tratamientos presentaron mayor inflamación.

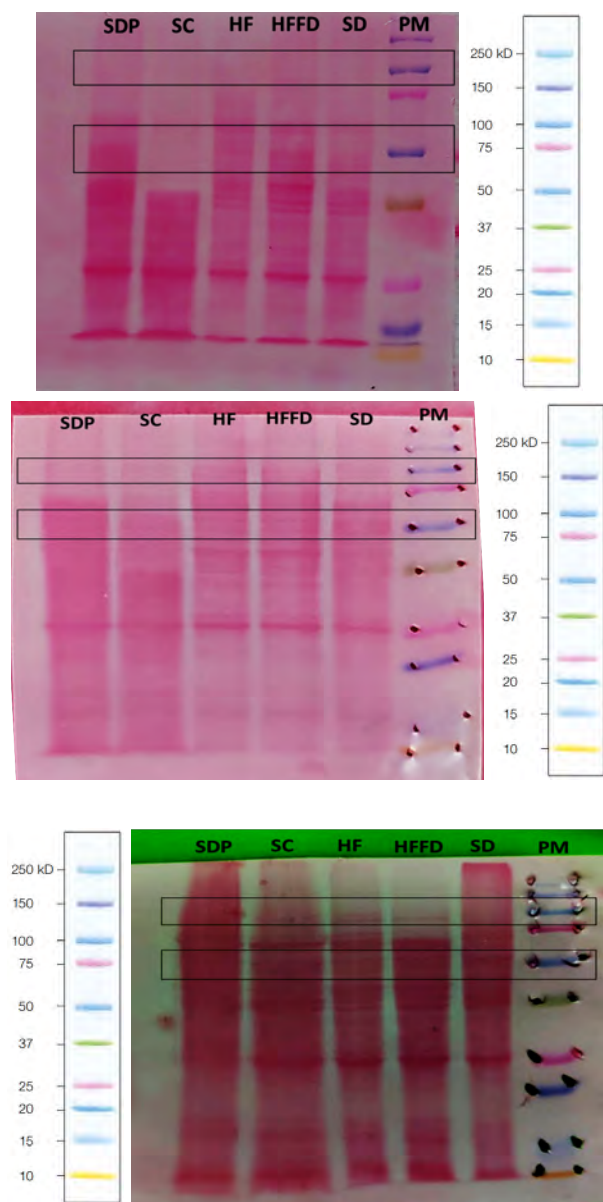


Figura 6. Membranas representativas de transferencia de muestras proteicas de colon, con β -mercaptoetanol y sin calentamiento. El experimento se realizó por triplicado.

Discusión de resultados

La electroforesis desnaturizante en geles de poliacrilamida (SDS-PAGE) consiste en una técnica que permite separar a las proteínas en función de su peso molecular. En este estudio, se evaluó la presencia de las subunidades de NF κ B en homogenados de yeyuno y colon mediante distintas condiciones de preparación de las muestras, con el

fin de analizar cómo estos factores afectan su detección.

El método clásico de SDS-PAGE, implica la desnaturalización de las proteínas al someterlas a un calentamiento de 95°C durante 5 minutos en presencia de un detergente aniónico como el dodecilsulfato de sodio (SDS). Este detergente se une a las proteínas confiriéndoles una carga negativa uniforme, lo que facilita su migración en el gel y su diferenciación por medio de su masa, ya que proteínas con un alto peso molecular migran más lento en comparación con las proteínas de bajo peso molecular. A su vez, el β -mercaptoetanol se caracteriza por ser un agente reductor que facilita la ruptura de puentes disulfuro, y en consecuencia, obliga a la proteína a adquirir una estructura primaria, y con ello separar las proteínas por tamaño (López-Macay, 2024).

Sin embargo, se ha reportado que el calentamiento debe efectuarse inmediatamente tras diluir la muestra en el buffer, debido a que el SDS despliega la mayoría de las proteínas pero no todas las proteasas, por lo que estas pueden digerir y provocar la degradación de la proteína de interés, así como causar la aparición de múltiples bandas y la pérdida de señal por fragmentación proteolítica (Chen et al., 2022).

Es importante mencionar que, algunos factores pueden repercutir o alterar la migración de bandas de las proteínas. Una desnaturalización incompleta puede resultar en la pérdida parcial de interacciones no covalentes de la proteína, al igual que una reducción insuficiente con β -mercaptoetanol en el tampón puede causar la interrupción incompleta de los puentes disulfuro (Chen et al., 2022).

En las muestras sometidas a condiciones de calentamiento con β -mercaptoetanol, CR, se observó bandeo únicamente en la región cercana a 50 kDa, mientras que la zona referente a 100 kDa no presentó un bandeo apreciable. Esta ausencia de bandas

podría deberse a la interacción de las proteasas presentes en la muestra previo a su calentamiento, durante el periodo de tiempo en el que se preparaban el resto de las muestras. Como resultado, es posible que se produjera la fragmentación de los enlaces de la proteína, reduciendo su tamaño. Este fenómeno ha sido descrito en un estudio similar, en el que se midió un complejo proteico de la bacteria púrpura *Cereibacter sphaeroides*, donde al calentar la proteína a 75°C en presencia de SDS y β -mercaptoetanol, se observó que algunos polipéptidos desaparecían, lo que dificultaba su detección. Estos efectos dependieron de variables como el β -mercaptoetanol y la temperatura, que causaron alteraciones en la migración y estabilidad de las proteínas. En algunos casos, las subunidades de las proteínas formaron agregados de alto peso molecular que no lograron retenerse en el gel (Selikhanov et al., 2023).

En los tratamientos de proteínas que no tuvieron el calentamiento, pero sí estuvieron en presencia del agente reductor de β -mercaptoetanol no fueron nítidas las bandas observadas. Tal vez la interacción de las proteasas presentes en la muestra previo a su calentamiento, durante el periodo de tiempo en el que se preparaban el resto de las muestras pudo desdoblarlas hasta fragmentarlas. Como resultado, pudo haber causado la fragmentación de los enlaces de la proteína, haciéndola de menor tamaño y que se perdiera del gel. Para ambos tejidos colon y yeyuno esta condición metodológica se descartó.

Asimismo, los tratamientos realizados sin calentamiento y sin β -mercaptoetanol presentaron bandas más tenues y finas. Esto se debe a que las proteínas no se desnaturalizaron completamente, conservando su estructura nativa o parcialmente plegada. Aunque el SDS contenido en el buffer de carga le confirió una carga negativa para permitir su migración hacia el ánodo, la falta de condiciones desnaturalizantes impidió la separación adecuada de las subunidades. Además, es posible que la presencia

de proteasas haya favorecido en la fragmentación en algunas partes de la proteína y contribuyera en la aparición de bandas.

A su vez, se observó una diferencia en el patrón de bandeo entre las muestras de yeyuno y colon, lo que podría estar relacionado con variaciones en la expresión proteica de cada segmento intestinal. No obstante, hasta el momento en la literatura no se ha especificado donde hay una mayor predominancia de NF κ B, solo se ha reportado que existe un aumento en la expresión de ARNm de NF κ B p65 en segmentos intestinales distales de ratas diabéticas, pero la concentración de proteína NF κ B p65 fue mayor en homogenizados de intestino delgado, con niveles bajos y sin cambios en el colon del grupo diabético (Barta et al., 2024).

Las condiciones que para fines del proyecto se seguirán usando para la inmunodetección de las isoformas de NF κ B (p105 y p50) son con calentamiento y adición de β -mercaptoetanol. De forma interesante estos datos sugieren efecto perse de los tratamientos por lo que es necesario continuar con esta investigación para poder reportar la densitometría (trabajo en proceso) de este factor NF κ B asociado al proceso de inflamación.

En el tejido intestinal de yeyuno se observó que los grupos experimentales, SC y HF, no presentaron bandas correspondientes a NF κ B p50, lo que sugiere que la planta de frijol, tanto la semilla como la hoja, tienen potencial reductor en la inflamación.

En contraste, el tejido intestinal de colon mostró bandeo correspondiente a NF κ B p50 en los grupos que consumían una dieta alta en grasa y fructosa (HFFD) y en aquel que se le había inducido a la obesidad que posteriormente recibió una dieta saludable (SDP). Estos resultados sugieren que ambos tratamientos mantuvieron un estado proinflamatorio, posiblemente asociado a la activación de la vía NF- κ B en respuesta al estrés metabólico.

Conclusión

Las condiciones desnaturalizantes y reductoras en presencia de β -mercaptoetanol resultaron ser ideales para obtener una desnaturalización completa de las proteínas, favoreciendo su migración según su peso molecular. Sin embargo, una de las principales limitantes fue la separación adecuada de las bandas, posiblemente asociado a la concentración de proteína y el cargado de la muestra en el gel de electroforesis. Estos resultados serán de utilidad para estudios que evalúen el efecto de compuestos bioactivos de la hoja de frijol, los cuales han mostrado potencial para reducir la inflamación y podrían incorporarse en los hábitos de alimentación para mejorar la salud en personas con obesidad.

Agradecimientos

Agradezco a la Dra. Santiago Marisela Ahumada Solorzano y al equipo del Laboratorio de Investigación Interdisciplinaria en Biomedicina de la facultad de Ciencias Naturales, Campus Juriquilla por haberme permitido colaborar en su proyecto y formar parte de esta experiencia.

Referencias bibliográficas

- Barta, B. P., Onhausz, B., Egyed-Kolumbán, A., Al Doghmi, A., Balázs, J., Szalai, Z., Ferencz, Á., Hermes, E., Bagyánszki, M., & Bódi, N. (2024). Intestinal Region-Dependent Impact of NF κ B-Nrf Crosstalk in Myenteric Neurons and Adjacent Muscle Cells in Type 1 Diabetic Rats. *Biomedicines*, 12(10), 2347. <https://doi.org/10.3390/biomedicines12102347>
- Becerril-Campos, A. A., Ramos-Gómez, M., De Los Ríos-Arellano, E. A., Ocampo-Anguiano, P. V., González-Gallardo, A., Macotela, Y., García-Gasca, T., & Ahumada-Solórzano, S. M. (2023). Bean Leaves Ameliorate Lipotoxicity in Fatty Liver Disease. *Nutrients*, 15(13), 2928. <https://doi.org/10.3390/nu15132928>
- Becerril-Campos, A., Solórzano, S. M. A., De Jesús García Gasca, M. T., Gómez, M. R., Guzmán, Y. M., & Ruiz, J. E. C. (2023). Efecto del consumo de hoja de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en la lipotoxicidad de ratas Wistar con alteraciones metabólicas e hígado graso no alcohólico: vía Nrf2/PPAR α /NF κ B. <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/9720>
- Bradford MM. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Anal Biochem*. 1976 May 7;72:248-54. doi: 10.1016/0003-2697(76)90527-3. PMID: 942051.
- Cheng, Y., Kang, X. Z., Chan, P., Ye, Z. W., Chan, C. P., & Jin, D. Y. (2022). Aberrant splicing events caused by insertion of genes of interest into expression vectors. *International journal of biological sciences*, 18(13), 4914–4931. <https://doi.org/10.7150/ijbs.72408>
- Griffin MJ. On the Immunometabolic Role of NF- κ B in Adipocytes. *Immunometabolism*. 2022;4(1):e220003. doi: 10.20900/immunometab20220003. Epub 2022 Jan 29. PMID: 35251704; PMCID: PMC8893669.
- Horwitz A, Birk R. Adipose Tissue Hyperplasia and Hypertrophy in Common and Syndromic Obesity-The Case of BBS Obesity. *Nutrients*. 2023 Aug 4;15(15):3445. doi: 10.3390/nu15153445. PMID: 37571382; PMCID: PMC10421039.
- INEGI. (2020). Estadísticas a propósito del mundial contra la obesidad (12 de noviembre). https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2020/EAP_Obesidad20.pdf
- Kolb, H. Obese visceral fat tissue inflammation: from protective to detrimental?. *BMC Med* 20, 494 (2022). <https://doi.org/10.1186/s12916-022-02672-y>
- López-Macay A, Montes-Sánchez D, Narváez-Morales J, et al. Explorando algunas técnicas proteómicas: Western blot, Dot blot y electroforesis bidimensional complementada con espectrometría de masas. *Investigación en Discapacidad*. 2024;10(3):187-202. doi:10.35366/118258.
- Ocampo-Anguiano PV, Victoria-Ruiz LL, Reynoso-Camacho R, Olvera-Ramírez AM, Rocha-Guzmán NE, Ramos-Gómez M, Ahumada-Solórzano SM. Ingestion of Bean Leaves Reduces Metabolic Complications and Restores Intestinal Integrity in C57BL/6 Mice with Obesity Induced by a High-Fat and High-Fructose Diet. *Nutrients*. 2024; 16(3):367. <https://doi.org/10.3390/nu16030367>
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (2018). Alimentación sana. <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/healthy-diet>
- Ramírez-Venegas, G., De Ita-Pérez, D., Díaz-Muñoz, M., Méndez, I., García-Gasca, T., Ahumada-Solórzano, M., ... Luna-Moreno, D. (2021). Supplementation with *Phaseolus vulgaris* Leaves Improves Metabolic Alterations Induced by High-Fat/Fructose Diet in Rats Under Time-Restricted Feeding. *Plant Foods for Human Nutrition*, 76(3), 297–303. doi:10.1007/s11130-021-00904-9
- Rivera, J. A., Colchero, M. A., Pérez-Ferrer, C., & Barquera, S. (2024). Perspective: Mexico's Experience in Building a Toolkit for Obesity and

Noncommunicable Diseases Prevention. *Advances In Nutrition*, 15(3), 100180. <https://doi.org/10.1016/j.advnut.2024.100180>

Rubino, F., Cummings, D. E., Eckel, R. H., Cohen, R. V., Wilding, J. P., Brown, W. A., ... & Mingrone, G. (2025). Definition and diagnostic criteria of clinical obesity. *The Lancet Diabetes & Endocrinology*, 13(3), 221-262.

Santa Cruz Animal Health. (2025). NFκB p50 Antibody (D-6): sc-166588. <https://www.scbt.com/p/nfkappab-p50-antibody-d-6>

Selikhhanov, G., Atamas, A., Yukhimchuk, D., Fufina, T., Vasilieva, L., & Gabdulkhakov, A. (2023). Stabilization of *Cereibacter sphaeroides* Photosynthetic Reaction Center by the Introduction of Disulfide Bonds. *Membranes*, 13(2), 154. <https://doi.org/10.3390/membranes13020154>

Schwartz, M. W., Seeley, R. J., Zeltser, L. M., Drewnowski, A., Ravussin, E., Redman, L. M., & Leibel, R. L. (2017). Obesity Pathogenesis: An Endocrine Society Scientific Statement. *Endocrine Reviews*, 38(4), 267-296. <https://doi.org/10.1210/er.2017-00111>

Expansión automotriz china y su impacto en México: Cambio en el empleo manufacturero, 2010-2024.

Ig-Shan Cerón Ortiz, Enrique Kato Vidal
Universidad Autónoma de Querétaro

Ig-Shan Cerón Ortiz – correo: iceron29@alumnos.uaq.mx
Enrique Kato Vidal – correo: enrique.kato@uaq.mx

Resumen Esta investigación evalúa el impacto del *China Shock* en el empleo manufacturero del sector automotriz en México, haciendo énfasis en los estados que concentran la mayor producción de vehículos y autopartes. Se desarrolla un modelo para analizar la relación entre la participación china en las exportaciones mundiales de autopartes y el empleo formal del subsector 336. Los resultados muestran un efecto negativo y estadísticamente significativo, lo que resalta la necesidad de políticas industriales adaptadas y estrategias de reconversión laboral.

Palabras clave: *China Shock*, sector automotriz, autopartes, empleo manufacturero.

Abstract This research examines the impact of the China Shock on manufacturing employment in Mexico's automotive sector, focusing on the states that account for the largest share of vehicle and auto parts production. An econometric model is employed to assess the relationship between China's share of global auto parts exports and formal employment in subsector 336. The findings reveal a negative and statistically significant effect, underscoring the need for targeted industrial policies and workforce reconversion strategies.

Keywords: China Shock, automotive industry, auto parts, manufacturing employment.

Introducción El Choque Chino (*China Shock*) hace referencia al fuerte aumento de las exportaciones chinas a nivel global a partir del ingreso de esta nación a la Organización Mundial de Comercio (OMC) en 2001, este suceso afectó los mercados globales, al poner en desventaja a muchos países. Dado que es un fenómeno relativamente reciente, no

existe mucha literatura que discuta este problema en México. En un estudio sobre Estados Unidos (Dorn y Hanson, 2021) se encontraron efectos negativos persistentes afectando principalmente a comunidades que dependían del empleo manufacturero y que tuvieron pocas opciones para recuperarse económicamente.

En una publicación previa, Dorn y Hanson (2016) expusieron que había quienes seguían cuestionándose si hubo una adaptación de los mercados laborales dadas las perturbaciones comerciales. A pesar de los beneficios al consumidor por bajos precios (y mayor variedad de opciones), los trabajadores tuvieron menores salarios, mayor rotación laboral y hubo elevado desempleo.

El sector manufacturero mexicano también está expuesto a esta competencia creciente, como en la fabricación de automóviles y autopartes. Las estadísticas de producción de la *International Organization of Motor Vehicle Manufacturers (OICA)* muestran que la participación de China en la producción mundial de vehículos de motor pasó de 23.5 % en 2010 a 32.2 % en 2023; un salto de casi nueve puntos porcentuales.

Por ello, esta investigación tiene como objetivo evaluar cuál es la evidencia de que el *China Shock* ha afectado negativamente al empleo manufacturero en México. Este sector tiene un enorme peso en la economía del país, ya que aporta más de una quinta parte al PIB nacional y durante 2024 empleó a 1.3 millones de trabajadores INEGI (2024).

La producción automotriz es una de las más importantes en la canasta exportadora nacional. En 2024, las ventas externas alcanzaron cerca de 160 mil millones de dólares, alrededor del 26% de las exportaciones totales del país (INEGI, 2025; Data México, 2025).

El rápido ascenso de China cuya cuota global en autopartes creció del 8% en 2015 a casi 12% en 2023 (UN Comtrade, ver adelante figura 1), lo cual plantea la duda de si este Choque Chino ha afectado el empleo en México, principalmente en los nueve estados donde se concentra la producción automotriz: Aguascalientes, Baja California,

Chihuahua, Coahuila, Guanajuato, Nuevo León, Puebla, Querétaro y San Luis Potosí.

Siendo que una parte importante del empleo en México se concentra en la manufactura, y que las autopartes se han convertido en el motor industrial de varias regiones del país, es importante cuantificar cuál ha sido el impacto de las exportaciones chinas en la economía mexicana. Para ello, se analizaron los puestos de trabajo registrados al Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS) para el periodo 2010-2025, construyendo un panel estado-año del subsector. Encontrando que un aumento de un punto porcentual en la exposición estatal al *China Shock* automotriz representa una reducción de 0.4 % en el empleo del subsector de fabricación de autopartes, efecto estadísticamente significativo.

Objetivo Evaluar si el crecimiento de las exportaciones de autopartes chinas impacta negativamente al empleo manufacturero del mismo sector en México.

Metodología Esta investigación se basó en un análisis cuantitativo donde se aproximó la evolución del empleo del subsector de fabricación de equipos de transporte usando el empleo manufacturero asegurado al IMSS.

Esta aproximación amplió la disponibilidad de datos hasta marzo de 2025 y permitió comprobar si la mayor presencia China afectó negativamente el empleo en el sector automotriz mexicano.

Se analizó a nivel estatal la trayectoria del empleo en el subsector 336 (Fabricación de equipo de transporte) antes y después de la alta participación china en el mercado mundial. Se compararon las tendencias de 2010-2017 y 2018-2025 (trimestre 1), utilizando como variable dependiente la tasa de crecimiento del empleo y como variable de control la participación de China en las exportaciones mundiales de autopartes.

El intervalo de tiempo se eligió por la disponibilidad de información y debido a que se encontró que previo al año de partida, las importaciones chinas aún eran relativamente bajas.

Hipótesis: El aumento de las importaciones de autopartes chinas reduce significativamente el empleo manufacturero en los estados de México especializados en automóviles y autopartes.

Se estudiaron nueve estados: Aguascalientes, Baja California, Chihuahua, Coahuila, Guanajuato, Nuevo León, Puebla, Querétaro y San Luis Potosí, ya que según información del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI 2025), el subsector 336 Fabricación de equipo de transporte, concentró el 39% del valor exportado nacional, en este destacan los estados de Coahuila con el 20 %, Guanajuato con el 12 %, Nuevo León con 9.5%, Chihuahua con 8.2 % y San Luis Potosí con 7.6 %, mientras que el resto de estados seleccionados (Puebla, Querétaro, Aguascalientes y Baja California) suman el 42 % restante. Estas entidades concentran alrededor del 70 % del valor exportado de vehículos y autopartes en México además de alojar a los principales clústeres de ensamblaje y autopartes del país (INEGI, 2025; Data México, 2025).

Se esperaba encontrar una reducción del empleo sectorial, en aquellos estados en donde el *China Shock* sea más alto, así mismo, se previó que el impacto fuera mayor en las entidades con porcentajes más elevados de actividad manufacturera especializada en la fabricación de equipo de transporte. El shock comercial se calculó mediante la base de datos del portal UN Comtrade, utilizando los códigos 8708 (autopartes) y 8703 (vehículos ligeros), a partir de esta información, se estimó el porcentaje que representan las exportaciones chinas, respecto a las globales durante el período de 2015 a 2023. La Figura 1, ilustra la evolución y el quiebre observado a partir de 2020.

Exportaciones de automóviles y autopartes

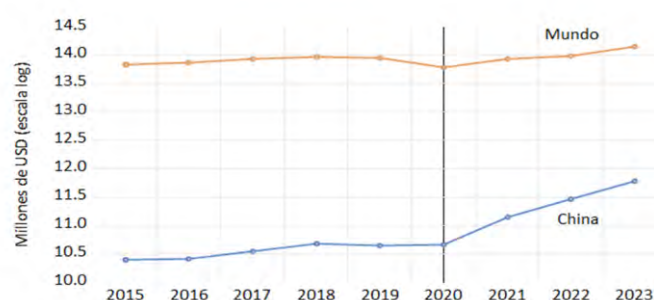


Figura 1: Exportaciones mundiales y chinas de automóviles y autopartes, 2015-2023 (millones de USD, escala logarítmica)

Nota: Elaboración propia con datos de UN Comtrade (consulta: mayo 2025).

Se elaboró un modelo, utilizando el periodo 2010-2025 Trim1, el cual se dividió en dos subperíodos:

- **Pre-shock (2010-2017):** Fase en que la participación china en las exportaciones automotrices mundiales aún era baja $\approx 8\%$ (véase Figura 1).
- **Post-shock (2018-2023):** Aceleración de las exportaciones chinas, particularmente a partir del año 2020, en este segundo período de mayor presencia de autos chinos, se espera una disminución en la producción. Aunque a nivel mundial se observa un punto de inflexión en 2020, en las estimaciones realizadas en México el año de inflexión detectado ocurrió antes en 2018.

La variable dependiente fue el empleo manufacturero -medido con los puestos asegurados al IMSS. Siguiendo la metodología de D. Autor, Dorn y Hanson (2021), en donde utilizaron el empleo local para cuantificar las consecuencias del *China Shock*. En nuestro caso fue la comparación entre periodos 2010-2017 vs 2018-2025.

Para la recolección y tratamiento de la información, se descargaron los datos de puestos asegurados del Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), las estadísticas de comercio exterior de UN Comtrade (HS 8703 y 8708), el tipo de cambio de Banco de México (Banxico), así como los boletines de las Exportaciones por Entidad Federativa (ETEF-INEGI) que sustentan la elección de los nueve estados. Además, se identificaron las ensambladoras/marcas principales en cada estado, por ejemplo: Aguascalientes (Nissan), Baja California (Toyota), Chihuahua (Ford), Coahuila (General Motors), Querétaro (Irizar y MAN Truck & Bus) y San Luis Potosí (BMW), información obtenida a partir del Registro Administrativo de la Industria Automotriz de Vehículos Ligeros (RAIAVL-INEGI).

Los datos mensuales del empleo manufacturero por entidad federativa se desestacionalizaron y posteriormente fueron trimestralizados y expresados en logaritmo. El software usado fue Stata. Para el análisis se usaron dos *dummies* de tiempo:

- **POST 2014:** A partir del primer trimestre de 2014, y
- **POST 2019:** A partir del primer trimestre de 2019.

Con estas *dummies* se pueden observar los cambios en el empleo. Finalmente, se aplicó un término autorregresivo para utilizar el valor rezagado como otro predictor. Los coeficientes se evaluaron al 5% de significancia ($p < 0.05$). Se estimó la ecuación 1 para cuantificar el impacto del China Shock en el empleo manufacturero.

$$\text{Log (empleo manufacturero)} = \beta_0 + \beta_1 \times \text{Tendencia} +$$

$$\text{Efectos fijos por estado} + \beta_2 \times \text{Tendencia} \times \text{estado}$$

$$+ \beta_3 \times (\text{Importaciones chinas \%}) + \varepsilon$$

donde:

- **Log (empleo manufacturero)** = Logaritmo natural del número de trabajadores formales en la fabricación de equipo de transporte del estado i en el trimestre t .
- **β_0** = Intercepto; nivel promedio de empleo cuando todas las demás variables valen cero.
- **Tendencia** = Contador de tiempo (0, 1, 2...) por trimestre.
- **$\beta_1 \times \text{Tendencia}$** = Pendiente promedio del empleo a lo largo del tiempo.
- **Efectos fijos por estado** = Conjunto de *dummies* que recogen las diferencias estructurales entre estados que no cambian en el tiempo.
- **$\beta_2 \times \text{Tendencia} \times \text{estado}$** = Permite que cada estado tenga su propia pendiente de largo plazo: muestra si algunos crecen o caen más rápido que otros.
- **$\beta_3 \times (\text{Importaciones chinas \%})$** = Efecto de la participación de China en las importaciones automotrices del estado i sobre el empleo local.
- **ε** = Término de error aleatorio.

Durante la investigación, la principal dificultad fue la falta de compatibilidad en la frecuencia de la información, misma que se resolvió trimestralizando las series de los datos de empleo y exportaciones chinas para alinear el panel.

En contraste con la literatura, en esta investigación, se amplía la evidencia del *China Shock* a un país en desarrollo, lo cual es importante porque las consecuencias del mismo pueden ser aún peores, otros estudios se enfocan únicamente en EE UU, por la naturaleza de la industria mexicana, nos centramos en la fabricación de autopartes y no en el sector manufacturero en general, lo que permitió introducir el componente de segmentación por marca, así mismo, la introducción del modelo autorregresivo, mejoró la predicción estadística.

Resultados La Figura 2, muestra la evolución del empleo formal en la fabricación de equipo de transporte para cuatro de los nueve estados analizados, estos cuatro son los que cuentan con la exposición más baja al *China Shock*, debido a que:

- **Puebla y San Luis Potosí** albergan ensambladoras de gama alta, Audi y BMW, respectivamente, de modo que compiten poco con la oferta china.
- **Querétaro** se especializa en autopartes diversificadas para distintos clientes, lo que disminuye el impacto de las importaciones chinas de piezas estandarizadas.
- **Chihuahua** produce motores para Ford, un componente protegido por patentes de la propia firma y con escasa competencia china.

Chihuahua y Puebla muestran la caída más brusca, antes de 2018 el empleo crecía entre 3 % y 8 % al año, pero después de 2020 las tasas se vuelven negativas.

Por otro lado, la Figura 3 ilustra el índice de empleo formal en la fabricación de equipo de transporte (curva “Sector”, índice 2015 = 100). Se observó que entre 2015 y 2019 el empleo creció a una media del 8% anual. Sin embargo, a partir de 2020 la expansión se redujo al 3% anual. Esta desaceleración confirma la existencia de un *China Shock*.

Empleo manufacturero en estados seleccionados
(Tasa de crecimiento % anual)

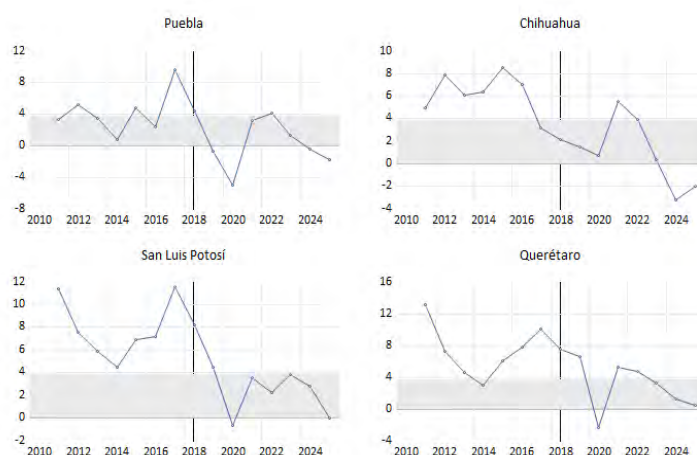


Figura 2: Empleo manufacturero en estados seleccionados (Tasa de crecimiento % anual) - índice 2010 = 100. **Nota:** Elaboración propia con datos del IMSS. La banda gris indica el rango de crecimiento (0% a +4%). La línea vertical marca 2018, inicio del período post-shock.

Índice de empleo formal en la fabricación de equipo de transporte

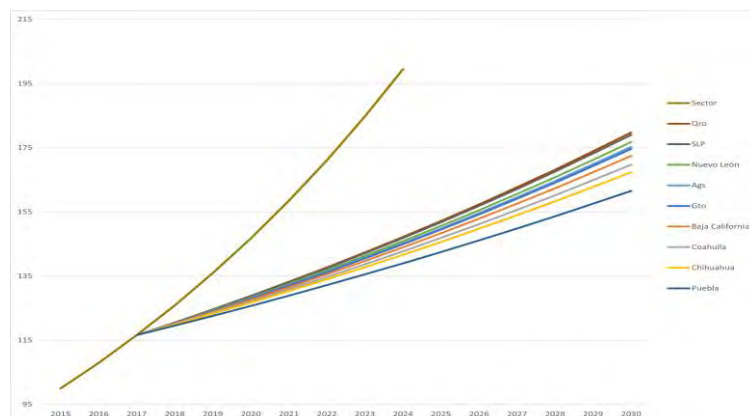


Figura 3: Índice de empleo formal en la fabricación de equipo de transporte a nivel nacional y por estado, 2015-2030, (índice 2015 = 100). **Nota:** Elaboración propia con microdatos ASG-IMSS. La línea “Sector” corresponde al agregado de los estados seleccionados.

La Tabla 1 reporta los coeficientes estimados de la Ecuación 1, intercepto y tendencia específicos para cada estado junto con sus errores estándar y el intervalo de confianza al 95 %.

Effect	6	SE	Lower	95% CI Upper
Aguascalientes				
Intercepto	11.027	0.004	11.018	11.036
Tendencia	0.016	0.001	0.014	0.017
Baja California				
Intercepto	10.903	0.062	10.782	11.023
Tendencia	0.014	0.001	0.013	0.015
Coahuila				
Intercepto	6.918	0.194	6.538	7.298
Tendencia	0.016	0.001	0.015	0.017
Chihuahua				
Intercepto	9.995	0.128	9.745	10.246
Tendencia	0.012	0.001	0.011	0.013
Guanajuato				
Intercepto	4.051	0.26	3.541	4.56
Tendencia	0.018	0.001	0.017	0.019
Nuevo León				
Intercepto	4.446	0.326	3.808	5.085
Tendencia	0.015	0.001	0.014	0.016
Puebla				
Intercepto	5.53	0.392	4.762	6.298
Tendencia	0.01	0.001	0.009	0.011
Querétaro				
Intercepto	-3.583	0.458	-4.481	-2.685
Tendencia	0.019	0.001	0.018	0.02
San Luis Potosí				
Intercepto	-5.324	0.524	-6.352	-4.297
Tendencia	0.019	0.001	0.017	0.02
China Share %	-0.038	0.003	-0.044	-0.033

Coeficientes estimados

Tabla 1: Coeficientes estimados. **Nota:** Elaboración propia con datos de IMSS e INEGI

Se encontró que, en efecto, el *China Shock* tuvo un efecto negativo en el empleo automotriz, se esperaba encontrar un choque menor, sin embargo, aunque los modelos no son directamente comparables, los resultados sugieren que el impacto del *China Shock* sobre el empleo automotriz en México podría ser de magnitud similar o incluso mayor que el documentado para EE. UU por Dorn y Hanson, particularmente en estados con alta especialización exportadora, la competencia China redujo la razón empleo-manufacturero/población en EE. UU. en 1.54 puntos porcentuales entre 2000 y 2019.

A pesar de que, por la disponibilidad de la información, el choque no fue medido de la misma manera, la comparación sugiere que el impacto en los estados mexicanos ha sido particularmente intenso por la alta concentración sectorial, mientras que para las entidades analizadas la tasa de crecimiento del empleo avanzaba rápidamente a un 8.0%, ahora lo hace al 3.0%.

Así mismo, se esperaba que el impacto del choque fuera parecido para cada uno de los estados analizados, sin embargo, se encontró que el factor

del segmento de mercado de la ensambladora influye en la resistencia a las perturbaciones comerciales, por ejemplo, las plantas enfocadas en vehículos de gama alta, como BMW ubicada en San Luis Potosí, han mostrado mayor resiliencia, debido a que China ha concentrado su expansión en segmentos gama media. En contraste, los estados especializados en modelos más económicos como Coahuila con la planta de General Motors presentan mayores caídas relativas en el empleo, lo que sugiere una mayor presión competitiva directa por parte de las exportaciones chinas.

Conclusiones Los resultados de esta investigación confirman la hipótesis inicial: La exposición al *China Shock* afecta al empleo manufacturero mexicano. Los coeficientes muestran que estados con plantas de alta gama, así como aquellos que fabrican únicamente autopartes o productos patentados, no son tan afectados por los competidores chinos, conservando crecimiento del empleo en el sector automotriz incluso después de 2019. En cambio, las entidades con clústeres de autopartes estandarizadas muestran ritmos débiles o nulos en el crecimiento del empleo.

El parámetro común de *China Share %* resultó negativo y distinto de cero al 95%, lo que respalda la idea de que un mayor peso de las importaciones chinas desplaza el empleo local en los segmentos más básicos del ensamble y las piezas genéricas. Resultados comparables con los reportados por el Autor, Dorn y Hanson (2021) para EE. UU.

La evidencia muestra que el *shock* afecta con mayor fuerza a los estados que se especializan en productos similares a los de la canasta importadora china, por ejemplo: Carrocería, sistemas de frenos y rines. Por otro lado, la especialización en nichos de alta precisión o en modelos *premium* exportados funciona como protección ante la competencia. A pesar de que los nueve estados analizados no fueron afectados en la misma magnitud, sí se pudo observar que en mayor o menor medida, todos han sufrido desaceleración en el empleo del subsector fabricación de equipo de transporte. No obstante, no se pueden descartar algunas otras explicaciones que pudieran complementar los resultados:

1. **Políticas de sustitución regional tras T-MEC:** El incremento de los requisitos de

contenido regional (p. ej., la regla del 75 % de valor de contenido) incentiva a los productores a relocalizar etapas de la cadena de producción en Norteamérica, aunque no necesariamente en México. Para cumplir con la porción de valor de contenido, algunas empresas han optado por desplazar sus procesos hacia EE. UU o Canadá.

2. **Efecto rebote por la recuperación post-COVID:** Es probable que debido al atraso en pedidos e inventarios derivados del COVID-19, las ensambladoras hayan reportado mayor cantidad de empleos y producción, sin embargo, una vez satisfecho ese “pico” de demanda diferida, las tasas de aumento en el empleo se normalizaron rápidamente e incluso retrocedieron. Al comparar contra estos años de “rebote”, la expansión de nuevos puestos en 2023-2024 luce más lenta.
3. **Reasignación de plantas hacia vehículos eléctricos, donde China aún no domina el mercado mexicano:** Debido al auge de los autos eléctricos, el empleo de las ensambladoras en territorio mexicano podría verse afectado ya que las piezas “tradicionales” que son las que se fabrican en el país, no son las mismas que se necesitan para estos vehículos, además, muchos de estos nuevos proyectos tardan más en llegar a México, haciendo que la creación de empleo en los estados especializados en autopartes convencionales se queda estancada o crezca muy poco.

La principal limitación del estudio es su alcance sectorial y temporal, en este caso, solo se cubren nueve estados y empleo formal entre 2010-2024, para futuras investigaciones se podría comenzar por dividir en subramas, así como ampliar el panel a otros sectores y estados industrializados.

Los hallazgos de esta investigación sugieren las bases para crear políticas industriales y estrategias empresariales. La contracción acumulada de 5 puntos porcentuales en el empleo del sector de fabricación de autopartes demuestra la necesidad de realizar programas de reconversión laboral. A nivel estatal, la evidencia de heterogeneidad por marca

sugiere que los incentivos deben adaptarse a la estrategia competitiva de cada ensambladora.

Así mismo, nuestra metodología es una herramienta replicable para monitorear futuros *shocks* como la irrupción de vehículos eléctricos chinos y diseñar respuestas oportunas tanto en México como en mercados comparables.

Agradecimiento Agradecemos profunda y sinceramente a la Universidad Autónoma de Querétaro por apoyar en esta investigación

Referencias

Autor, D., Dorn, D., & Hanson, G. (2016). The China Shock: Learning from Labor-Market Adjustment to Large Changes in Trade. *Annual Review of Economics*, 8, 205–240.

Autor, D., Dorn, D., & Hanson, G. (2021). On the Persistence of the China Shock. *Brookings Papers on Economic Activity*, Spr

Banco de México (Banxico). (2025). Serie histórica del tipo de cambio fix. Recuperado de <https://www.banxico.org.mx>

Data México. (2025). *Perfil de exportaciones del sector vehículos (HS 87)*. Recuperado de <https://datamexico.org>

INEGI. (2025a). *Estadísticas de comercio internacional por entidad federativa (ECIEF)*, marzo 2025. Comunicado de prensa. Recuperado de https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/boletines/2025/exporta_ef/etef2025_03.pdf

INEGI. (2025b). *Índice de actividad del valor laboral (IAVL)*. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/datosprimarios/iavl/>

INEGI. (2025c). Registro Administrativo de la Industria Automotriz de Vehículos Ligeros (RAIAVL)

IMSS. (2025). *Base de datos histórica del empleo asegurado por subsector económico*. Instituto Mexicano del Seguro Social.

OICA. (2024). *World motor vehicle production by country and year (2010–2023)*. International Organization of Motor Vehicle Manufacturers. Recuperado de <https://www.oica.net/category/production-statistics/2024-statistics/>

Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN). (2018). *Versión México 2018*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía.

UN Comtrade. (2024). *International Trade Statistics Database: Automotive parts and components (HS 8708)*. United Nations Statistics Division.

UN Comtrade. (2024b). *International Trade Statistics Database: Motor vehicles (HS 8703)*. United Nations Statistics Division.

Evaluación bioquímica de microorganismos promotores de crecimiento vegetal

Ilse Arteaga-Rodríguez¹, Ramón Gerardo Guevara-González², Ileri Alejandra Carbajal-Valenzuela¹, Adrian Esteban Ortega-Torres²

¹Facultad de Química, Universidad Autónoma de Querétaro, Cerro de las Campanas S/N, Las Campanas, Santiago de Querétaro 76010, México.

²Ingeniería en Biosistemas, Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro, Carretera Chichimequillas, s/n km 1, El Marqués 76265, México.

Resumen

Los microorganismos promotores del crecimiento vegetal (PGPM) han surgido como una alternativa sostenible al uso de fertilizantes químicos. El objetivo de este estudio fue evaluar el potencial de *Trichoderma asperellum*, *Bacillus cereus* y *Pseudomonas aeruginosa* como PGPM, midiendo sus capacidades de producir fitohormonas (auxinas), enzimas (fitasas y fosfatasas) y de inhibir el crecimiento de fitopatógenos, cada ensayo se realizó con mínimo 3 réplicas para realizar un análisis estadístico más profundo, *T. asperellum* obtuvo la mayor concentración de auxinas, *B. cereus* obtuvo los valores más altos en cuanto su actividad enzimática para solubilizar fósforo y por último *P. aeruginosa* destacó como antipatogénico, estas características particulares nos señalan que los microorganismos tienen un potencial sinérgico para utilizarlos como biofertilizantes.

Palabras clave: biofertilizante, consorcio microbiano, PGPM, auxinas, fitasas, fosfatasas.

Summary

Plant Growth-Promoting Microorganisms (PGPM) have emerged as an alternative to chemical fertilizers. The aim of this study was to evaluate the potential of *Trichoderma asperellum*, *Bacillus cereus*, and *Pseudomonas aeruginosa* as PGPMs by measuring their ability to produce phytohormones (auxins), enzymes (phytases and phosphatases), and inhibit the growth of phytopathogens. Each assay was performed with at least three replicates to enable deeper statistical analysis. *T. asperellum* showed the highest auxin concentration, *B. cereus* had the strongest enzymatic activity for phosphorus solubilization, and *P. aeruginosa* stood out for its antagonistic effect. These distinct traits suggest a synergistic potential for use as biofertilizers.

Key words: biofertilizer, microbial consortium, PGPM, auxins, phytases, phosphatases.

Introducción

Por años la agricultura se ha basado en el uso desmesurado de fertilizantes y pesticidas químicos altamente tóxicos y contaminantes para los suelos y el agua, los biofertilizantes a base de microorganismos han surgido entonces como una alternativa que ayuda a minimizar el uso de los químicos y mejora de la calidad del suelo y el rendimiento de los cultivos (Leal-Almanza et al., 2018).

Es por ello, que se han estudiado las relaciones simbióticas de las plantas con algunos microorganismos, los Plant Growth-Promoting Microorganism (PGPM) son un grupo de microorganismos asociados a las raíces que promueven el crecimiento a través de la protección al estrés abiótico y a patógenos (Dhawi, 2023).

Con el fin de promover el crecimiento y mejorar el rendimiento de los cultivos, los PGPM realizan ciertos mecanismos que se dividen en directos: producción de fitohormonas, solubilización de fosfatos y absorción de nutrientes; e indirectos: producción de antibióticos, competencia nutricional y

resistencia inducida. Las auxinas son fitohormonas que además de contribuir a la inmunidad de las plantas está directamente relacionada con el crecimiento, desarrollo de la planta y regulaciones de los genes a respuestas de tolerancia al estrés (El-Saadony et al., 2022).

Las plantas utilizan el fitato como fuente de almacenamiento de fósforo es una molécula bastante abundante en el suelo, sin embargo es importante mencionar que las plantas no pueden absorberlo directamente, es por ello que las fitasas y fosfatasas fungen un papel importante para su asimilación (Scott et. al. 2024).

En la literatura se han señalado múltiples tipos de PGPM y las funciones que llevan a cabo: *Bacillus spp.*: Fijación de nitrógeno, respuestas a estrés, solubilización de fósforo, promoción de la micorrización, producción de metabolitos antifúngicos. *Trichoderma spp.*: Eficiencia nutricional, liberación de compuestos orgánicos, competencia con patógenos, liberación de compuestos antifúngicos. *Pseudomonas spp.*: Fijación de nitrógeno, solubilización de fósforo, promoción de micorrización, inhibición de crecimiento de patógenos por la producción de sideróforos (Neuhoff et al., 2024).

Objetivos

Evaluar el potencial de microorganismos de las especies *Bacillus spp.* *Trichoderma spp.* y *Pseudomonas spp.* como promotores de crecimiento vegetal para así elaborar un consorcio con efecto biofertilizante.

Metodología

Cultivo de microorganismos

Se prepararon matraces por microorganismo con caldo LB, los cuales se inocularon con *Trichoderma asperellum*, *Bacillus cereus* y *Pseudomonas aeruginosa*; Para las bacterias se tomó una asada de un cultivo previo, mientras que para *T. asperellum* se

realizó una cosecha de esporas con agua destilada de un cultivo previo del hongo, se contabilizaron las esporas con una cámara de Neubauer.

Concentración de Auxinas

La cuantificación de auxinas totales se realizó de acuerdo con la metodología de Gordon et. al. (1951), en una microplaca se colocó una relación de 1:1 entre el reactivo de Salkowski y sobrenadante del cultivo, se incubó en la oscuridad por 30 min a 20°C, y posteriormente se leyó a una $\lambda=530$ nm en el espectrofotómetro, se registraron los resultados y con una curva de calibración hecha previamente, se calcularon las concentraciones de auxinas en $\mu\text{g/mL}$, se realizaron pruebas estadísticas en el programa GraphPad Prism 8 para el análisis.

Actividad enzimática de Fitasas

Para las fitasas se usó la formulación PHY modificada sin dextrina de acuerdo a Rocky-Salimi et al. (2016). Se tomó cultivo por cada microorganismo en tubos eppendorf, cada tubo se centrifugó a 10,000 rpm durante 5 minutos, el sobrenadante se consideró como enzima cruda (Feng et al., 2011) se le midió la absorbancia a 420 nm con un espectrofotómetro UV-Vis y se extrapolaron los valores en la curva estándar determinada previamente, de esta forma se obtuvo la unidad (U) de enzima que se definió como la cantidad requerida para liberar 1 μmol de ortofosfato inorgánico / ml / min bajo las condiciones del ensayo.

Actividad enzimática de Fosfatasas ácidas, neutras y alcalinas

Se preparó medio mínimo para fosfatasas de acuerdo con M. A. Tabatabai and J. M. Bremner (1969) NBRIP P-nitrofenil fosfato. Se ajustó el pH, con hidróxido de sodio (0.5 M) en 6.5, 7 y 9; para fosfatasas ácidas, fosfatasas neutras, fosfatasas básicas. Se tomó cultivo por cada microorganismo en tubos eppendorf, cada tubo se centrifugó a 10,000 rpm durante 5 minutos, el sobrenadante se consideró como enzima cruda (Feng et al., 2011) se midió absorbancia a 420 nm con un espectrofotómetro UV-Vis y se extrapolaron los valores en la curva estándar

determinada previamente, de esta forma se obtuvo la unidad (U) de enzima.

Antagonismo

Se prepararon cultivos de cepas de los siguientes hongos fitopatógenos en placa: *Rhizotocnia solani*, *Colletotrichum*, *Verticillium*, *Fusarium heterosporum*, *Macrophomina phaseolina*, se preparó agar papa dextrosa, se vertió en cajas Petri que se le realizaron divisiones para colocar 3 puntos con la misma distancia entre ellos, en cada placa se colocaron dos discos de agar del fitopatógeno, dejando un punto libre donde se colocó el PGPM, se realizó por duplicado.

Resultados

Concentración de Auxinas

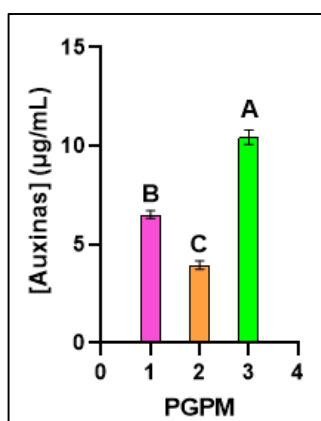


Fig. 1. Concentración de auxinas de cada microorganismo 1. *P. aeruginosa* 2. *B. cereus* 3. *T. asperellum*.

Los valores de concentración de auxinas más altos los tuvo *T. asperellum* 10.44 µg/mL y la concentración más baja fue de *B. cereus* 3.95 µg/mL, se realizaron pruebas de ANOVA y Tukey, ANOVA arrojó una $p < 0.0001$ que nos dice que existen diferencias significativas entre la concentración de auxinas de cada microorganismo, en la prueba de Tukey, realizando la comparación entre las medias el programa arrojó que cada grupo tiene diferencias significativas entre sí, reforzando que ninguno se comporta de una manera similar.

Actividad enzimática de Fitasas

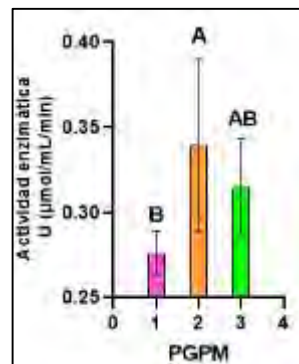
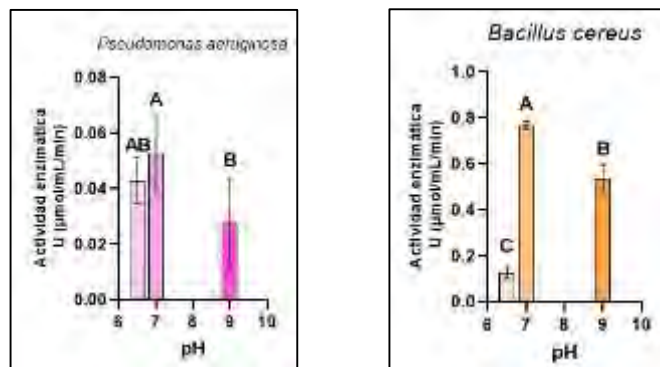


Fig. 2. Actividad enzimática de fitasas de cada microorganismo 1. *P. aeruginosa* 2. *B. cereus* 3. *T. asperellum*.

La prueba de ANOVA arrojó una $p = 0.0258$ con la que podemos inferir que existen diferencias significativas entre la actividad enzimática de las fitasas de cada microorganismo, por otro lado, en la prueba de Tukey al comparar la media de 1 y 2 sí se encontraron diferencias significativas entre ambos microorganismos, sin embargo al comparar las medias entre 1 y 3, 2 y 3, no se encontraron diferencias significativas, lo que sugiere que los datos de *T. asperellum* se comportan de manera similar a los otros microorganismos.

Actividad enzimática de Fosfatasas ácidas, neutras y alcalinas



a)

b)

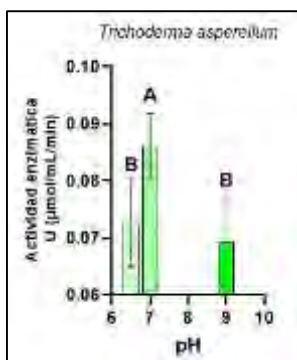


Fig. 3. Actividad enzimática de fosfatasa dependiendo los niveles de pH

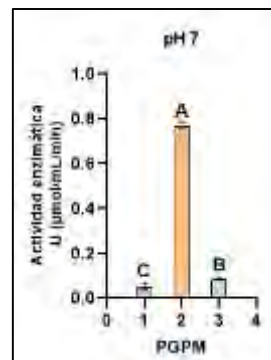


Fig. 4. Actividad enzimática de fosfatasa comparando los 3 microorganismos

En el análisis estadístico se compararon las enzimas fosfatasa ácidas, neutras y básicas de cada microorganismo, en el caso de *P. aeruginosa* el análisis de ANOVA arrojó una $p=0.0192$ que indica diferencias significativas, en la prueba de Tukey entre las actividad de las enzimas fosfatasa ácidas contra las neutras y básicas no hubieron diferencias significativas, sin embargo entre las enzimas neutras y básicas si existieron diferencias significativas. En el análisis de *B. cereus* obtuvimos una $p<0.0001$ mientras que al realizar la comparación de medias entre grupos encontró diferencias significativas entre cada uno. Los resultados de *T. asperellum* dieron una $p=0.0063$ y en el análisis de Tukey mostró diferencias significativas entre los grupos de fosfatasa ácidas y neutras y fosfatasa neutras y básicas, pero no hubo diferencias significativas entre las fosfatasa ácidas y básicas.

Se hizo un análisis estadístico (Fig. 4) comparando la actividad de las enzimas en el mismo pH pero diferente microorganismo, por la parte del pH de 6.5 se obtuvo un valor de $p<0.0001$ y en Tukey existieron diferencias significativas entre los 3 microorganismos. Para el pH de 7, obtuvimos un valor de $p<0.0001$ y en la prueba de Tukey de igual forma hubieron diferencias significativas entre cada uno. Por último, en el pH de 9 ANOVA arrojó un valor de $p<0.0001$ y para el análisis de Tukey se observaron diferencias significativas entre *P. aeruginosa* y *B. cereus*, *B. cereus* y *T. asperellum*, mientras que entre *P. aeruginosa* y *T. asperellum* no existieron diferencias significativas

Antagonismo

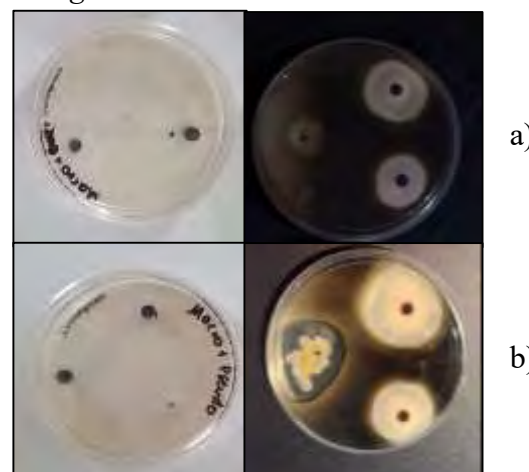
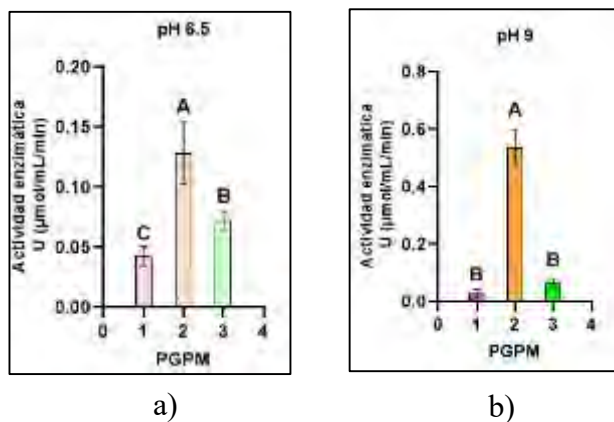


Fig. 5. Pruebas de antagonismo día 0 y día 5. a) *Bacillus cereus* vs *Macrophomina phaseolina*, b) *Pseudomonas aeruginosa* vs *Macrophomina phaseolina*

En la Fig. 5 (a) podemos observar claramente una inhibición en el crecimiento del hongo fitopatógeno *M. phaseolina* gracias a la presencia de *P. aeruginosa* mientras que en (b) se observa que la bacteria *B. cereus* no tuvo un efecto antagonista o de inhibición en el crecimiento del hongo *M. phaseolina*.

Después de las pruebas realizadas, podemos inferir que de manera particular cada microorganismo tiene un alto potencial en cada prueba, por parte de *Trichoderma asperellum* con los resultados del apartado de *Auxinas* sabemos que es el microorganismo con mayor concentración de la fitohormona, *Bacillus cereus* mostró una destacable actividad enzimática de fosfatasa y fitasa, por último *Pseudomonas aeruginosa* resultó efectiva contra un tipo de hongo fitopatógeno.

Discusión y conclusiones

Con este panorama y bajo el estudio de Martínez & Soto (2018) mencionan, los microorganismos tienen un alto potencial de ser un consorcio efectivo en la aplicación vegetal, ya que en conjunto pudieran otorgarle a la planta un mayor crecimiento, solubilización de P y una resistencia contra patógenos, lo siguiente sería observar si presentan un comportamiento sinérgico entre ellas, como en el experimento propuesto por Leal-Almanza et. al 2018 donde se observó un efecto de crecimiento mayor al aplicar un consorcio que al aplicar solamente un microorganismo.

Agradecimientos

Agradezco al Centro de Investigaciones Aplicadas a Biosistemas (CIAB) por las instalaciones, al Dr. Ramón Guevara por la oportunidad y aceptar ser mi investigador anfitrión, a la Dra. Ileri Carbajal y el Dr. Adrián Ortega por el acompañamiento en el proyecto y al Verano de la Ciencia UAQ 2025.

Referencias

B. Martínez Cano and G. M. Soto Zarazúa, "Aplicación de consorcios microbianos en la agricultura", PCT, vol. 1, no. 2, pp. 54–61, Oct. 2018,

Accessed: Aug. 22, 2025. [Online]. Available: <https://revistas.uaq.mx/index.php/perspectivas/article/view/178>

B. M. Scott, K. Koh, y G. D. Rix, "Structural and functional profile of phytases across the domains of life", Curr. Res. Struct. Biol., vol. 7, núm. 100139, p. 100139, 2024.

C. Feng, G. Zeng, D. Huang, S. Hu, M. Zhao, C. Lai, C. Huang, Z. Wei, and N. Li, "Effect of ligninolytic enzymes on lignin degradation and carbon utilization during lignocellulosic waste composting," *Process Biochem.*, vol. 46, pp. 1515–1520, 2011.

D. Neuhoﬀ, G. Neumann, y M. Weinmann, "Testing plant growth promoting microorganisms in the field - a proposal for standards", Front. Plant Sci., vol. 14, p. 1324665, 2023.

F. Dhawi, "The role of plant growth-promoting microorganisms (PGPMs) and their feasibility in hydroponics and vertical farming", Metabolites, vol. 13, núm. 2, 2023.

J. Leal-Almanza, M. A. Gutiérrez-Coronado, L. Castro-Espinoza, F. Lares-Villa, J. M. Cortes-Jiménez, y S. de L. Santos-Villalobos, "Microorganismos promotores de crecimiento vegetal con yeso agrícola en papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo casa sombra", Agrociencia (1996), vol. 52, núm. 8, pp. 1149–1159, 2018.

K. Rocky-Salimi, M. Hashemi, and M. Safari, "A novel phytase characterized by thermostability and high pH tolerance from rice phyllosphere isolated *Bacillus subtilis* BS 46," *J. Adv. Res.*, vol. 7, pp. 381–390, 2016.

M. A. Tabatai and J. M. Bremner, "Use of p-nitrophenyl phosphate for assay of soil phosphatase activity," *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 1, pp. 301–307, 1969.

M. T. El-Saadony et al., "Plant growth-promoting microorganisms as biocontrol agents of plant diseases: Mechanisms, challenges and future perspectives", Front. Plant Sci., vol. 13, p. 923880, 2022.

S. A. Gordon and R. P. Weber, "Colorimetric estimation of indoleacetic acid," *Plant Physiol.*, vol. 26, no. 1, p. 192, 1951.

Estrés oxidativo y su impacto en la fertilidad masculina

Jesús Fernando García-Varela¹, Aída Guadalupe Díaz-Martell², Ana Alicia Sánchez-Tusie².

¹ Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de Querétaro. Clavel 200, Prados de la Capilla, 76176, Querétaro, Qro. jfgarciavarela@gmail.com

² Laboratorio de Fisiología Celular y Molecular, Centro de Investigación Biomédica Avanzada, Universidad Autónoma de Querétaro. Carr. a Chichimequillas s/n, 76140, Querétaro, Qro. diazmartellag@gmail.com / anatusie@gmail.com

Resumen

Las especies reactivas de oxígeno tienen un rol dual en la función espermática: niveles fisiológicos participan en señalización y reproducción, mientras que el exceso induce estrés oxidativo, provocando peroxidación lipídica, disfunción mitocondrial, fragmentación de ADN y apoptosis, afectando motilidad, morfología e integridad genética, contribuyendo a la infertilidad masculina. Este estudio evaluó calidad y funcionalidad espermática en semen humano y el impacto del estrés oxidativo. Se incluyeron hombres de 18-45 años, analizando parámetros macroscópicos y microscópicos mediante espermátobioscopia. La funcionalidad se midió con reacción acrosomal inducida por progesterona, ROS intracelulares mediante sonda DCF y fragmentación de ADN con TUNEL. Los resultados mostraron parámetros dentro de rangos normales: motilidad progresiva 46.2%, concentración 62.9 millones/mL y morfología normal 18.3%. Los espermatozoides con reacción acrosomal inducida fueron 45%, ROS positivos 13% y fragmentación de ADN 17%. Las limitaciones del estudio incluyen la muestra reducida para análisis de estrés oxidativo y la ausencia de

correlaciones entre variables funcionales y espermáticas. Estos hallazgos resaltan la relevancia del estrés oxidativo en la calidad espermática y la necesidad de estudios futuros con análisis correlacionales y protocolos estandarizados para el diagnóstico y manejo de la infertilidad masculina relacionada con estrés oxidativo.

Palabras clave: infertilidad masculina, estrés oxidativo, espermátobioscopia, especies reactivas de oxígeno, fragmentación de ADN, reacción acrosomal

Abstract

Reactive oxygen species play a dual role in sperm function: physiological levels are involved in signaling and reproduction, while excess ROS causes oxidative stress, leading to lipid peroxidation, mitochondrial dysfunction, DNA fragmentation, and apoptosis, impairing motility, morphology, and genetic integrity, contributing to male infertility. This study evaluated sperm quality and functionality in human semen and the impact of oxidative stress. Men aged 18–45 were included, and macroscopic and microscopic parameters were assessed via spermátobioscopy. Functionality was measured by progesterone-induced acrosome reaction, intracellular ROS with DCF probe, and DNA fragmentation via TUNEL assay. Results showed parameters within normal ranges: progressive motility 46.2%, concentration 62.9 million/mL, and normal morphology 18.3%. Sperm with induced acrosome reaction were 45%, ROS-positive 13%, and DNA-fragmented 17%. Study limitations include the small sample for oxidative stress analysis and lack of correlations between functional and standard sperm parameters. Findings highlight oxidative stress' role in sperm quality and the need for future studies with correlational analysis and standardized protocols for diagnosing and managing of male oxidative stress infertility.

Key words: male infertility, oxidative stress, semen analysis, reactive oxygen species, DNA fragmentation, acrosomal reaction

Introducción

Las especies reactivas de oxígeno (ROS, por sus siglas en inglés) son moléculas inestables y altamente reactivas, generadas principalmente como subproductos de reacciones de óxido-reducción en la mitocondria. Dentro de las más relevantes se incluyen el anión superóxido, el radical hidroxilo, el peróxido de hidrógeno, el oxígeno singlete y el radical peroxilo, entre otras (Ritchie & Ko, 2020; Takalani *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2025).

El estrés oxidativo es producto del desequilibrio entre la generación de ROS y la capacidad antioxidante de neutralizarlas. En el sistema reproductivo masculino, se dispone de antioxidantes como superóxido dismutasa, catalasa, glutatión peroxidasa, glutatión reducido, vitaminas C y E, etc. No obstante, en estado de estrés oxidativo, los antioxidantes se ven superados por una cantidad excesiva de ROS provenientes de fuentes endógenas, como varicocele, leucocitos y espermatozoides inmaduros; o fuentes exógenas, por ejemplo: tabaquismo, una dieta rica en grasas, exposición a metales pesados, radiación, infección de vías urinarias, fármacos, enfermedad testicular, obesidad, diabetes, hipertensión, etc. (Akhigbe, 2025; Ritchie & Ko, 2020).

En niveles fisiológicos, las ROS participan en la señalización celular, específicamente en procesos como la esteroidogénesis, proliferación y supervivencia de las células de Leydig, maduración espermática y la adquisición de capacidad fecundativa, incluyendo la capacitación espermática, hiperactivación, reacción acrosomal y fusión de membranas entre espermatozoide-ovocito. Sin embargo, los espermatozoides son sumamente vulnerables al estrés oxidativo debido a su alto contenido de ácido grasos poliinsaturados en membranas, la disponibilidad limitada de antioxidantes enzimáticos y escasos mecanismos de reparación de ADN. El estrés oxidativo induce peroxidación lipídica, disfunción mitocondrial, oxidación proteica, fragmentación de ADN espermático y apoptosis de células germinales; comprometiendo integridad genética, capacidad para fertilizar, motilidad y morfología espermáticas, contribuyendo significativamente a la infertilidad

masculina (Akhigbe, 2025; Ritchie & Ko, 2020; Takalani *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2025).

La infertilidad se define como la incapacidad de lograr un embarazo después de 12 meses de relaciones sexuales regulares sin anticonceptivos (Takalani *et al.*, 2023). Aproximadamente el 40-50% de los casos de infertilidad se atribuyen a factor masculino, afectando al 8-12% de parejas en edad fértil (aprox. 186 millones de personas) a nivel mundial. La infertilidad masculina por estrés oxidativo (MOSI, por sus siglas en inglés) ha sido recientemente reconocida en guías internacionales de práctica clínica, destacando la necesidad de establecer un consenso respecto a pruebas diagnósticas específicas y estrategias terapéuticas dirigidas, especialmente para hombres previamente clasificados con infertilidad idiopática. La MOSI se define como la infertilidad en varones que presentan parámetros espermáticos anormales, junto con evidencia de estrés oxidativo determinado mediante un ensayo (Ritchie & Ko, 2020; Takalani *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2025).

Dada la relevancia del estrés oxidativo en la funcionalidad espermática y la fertilidad masculina, se requiere caracterizar con precisión la calidad del semen y evaluar el impacto de las ROS en parámetros espermáticos. Este estudio busca aportar evidencia sobre la relación entre estrés oxidativo y calidad espermática mediante la ejecución de la espermatabioscopia y de ensayos para determinación de estrés oxidativo y funcionalidad espermática en muestras de semen humano, contribuyendo a un mejor entendimiento de la infertilidad masculina por estrés oxidativo.

Objetivos

General

Analizar la calidad y funcionalidad espermática, así como evaluar el impacto del estrés oxidativo en muestras de semen humano.

Específicos

1. Evaluar los parámetros espermáticos macroscópicos y microscópicos mediante espermatabioscopia.
2. Cuantificar el porcentaje de espermatozoides que presentan ROS intracelulares.

3. Cuantificar el porcentaje de espermatozoides que presentan reacción acrosomal.
4. Determinar el porcentaje de espermatozoides con fragmentación de ADN.

Metodología

Este estudio incluyó hombres de 18-45 años que otorgaron consentimiento informado, y no presentaban criterios de exclusión (varicocele, infecciones de transmisión sexual, consumo de drogas, cuadro febril en los últimos 3 meses o antecedente de vasectomía). Cada participante proporcionó una muestra de semen por masturbación, tras una abstinencia sexual de 2-7 días, en frasco estéril; el análisis se efectuó en un lapso máximo de 30 minutos posterior a la recolección.

La espermatobioscopia se realizó conforme a las pautas del manual de laboratorio de la Organización Mundial de la Salud (OMS) para el examen y procesamiento del semen humano. Los parámetros macroscópicos que se determinaron fueron:

- Aspecto; identificando coloración.
- Licuefacción; observando modificación de consistencia a características homogéneas y acuosas en un periodo de 15-30 minutos posterior a la recolección.
- Viscosidad; observando presencia de filamentos > 2 cm al aspirar suavemente y dejar caer suavemente el eyaculado.
- Volumen; medido con una pipeta estéril de 5 mL.
- pH; con tira reactiva, comparando la coloración a la que viró la tira en 10 segundos con la cartilla indicativa de la escala.

Los parámetros microscópicos que se determinaron fueron:

- Motilidad espermática. Mediante conteo sistemático de 100 células en microscopía óptica (40x); clasificada en progresiva (movimiento activo con avance), no progresiva (movimiento activo sin avance) o inmotilidad (ausencia de movimiento).
- Concentración espermática. Mediante conteo por triplicado en cámara Makler con

microscopía óptica (10x), expresada como millones de espermatozoides/mL.

- Morfología espermática. A partir de frotis teñidos con hematoxilina-eosina, mediante conteo sistemático de 100 células en microscopía óptica (100x); clasificada como normal o anormal según criterios estrictos de normalidad: cabeza ovalada sin vacuolas, pieza media delgada y regular, cola uniforme aprox. 10 veces la longitud de la cabeza, sin rotura flagelar (OMS, 2025, p. 55).

Para la determinación de variables relacionadas con estrés oxidativo y funcionalidad espermática, las muestras de semen se sometieron a la técnica de *Swim Up*, donde los espermatozoides presentan el fenómeno de nado hacia arriba, en medio Ham's suplementado con albúmina sérica bovina (BSA) al 3%. Tras la incubación, se recuperaron los espermatozoides móviles y se ajustó la concentración a 10 millones de espermatozoides/mL, induciendo capacitación espermática *in vitro* mediante incubación en atmósfera controlada.

Posteriormente, se realizaron los siguientes ensayos funcionales y de estrés oxidativo:

- Reacción acrosomal. Inducida con progesterona (control positivo) y espontánea con dimetilsulfóxido –DMSO– (control negativo), detectada mediante tinción con isotiocianato de fluoresceína conjugado con aglutinina de *Pisum sativum* (FITC-PSA). Se evaluaron 100 células con microscopía de fluorescencia (100x) a una longitud de onda de excitación de 480 nm; clasificadas según si el acrosoma del espermatozoide estaba reaccionado o intacto, basado en la ausencia o presencia de fluorescencia, respectivamente.
- ROS espermáticas. Detectadas con sonda de diclorofluoresceína (DCF). Se evaluaron 100 células con microscopía de fluorescencia (100x) a una longitud de onda de excitación de 480 nm; clasificadas como positivas o negativas a ROS intracelulares, basado en la presencia o ausencia de fluorescencia, respectivamente.

- Fragmentación de ADN espermático. Determinado mediante el ensayo de marcaje de extremos rotos por incorporación de deoxiuridina trifosfato (dUTP) mediante la deoxinucleotidil transferasa terminal (TdT) (TUNEL, por sus siglas en inglés) con FITC-dUTP. Se evaluaron 100 células con microscopía de fluorescencia (100x) a una longitud de onda de excitación de 480 nm; clasificadas como células con o sin fragmentación de ADN espermático, de acuerdo con la presencia o ausencia de fluorescencia, respectivamente.

En los ensayos anteriores, los resultados se expresaron como porcentaje de espermatozoides positivos sobre el total evaluado.

Resultados

En la **Tabla 1** se presentan las diversas variables determinadas mediante el análisis de las muestras de semen humano.

Tabla 1. Parámetros espermáticos, de estrés oxidativo y de funcionalidad espermática de las muestras de semen humano (media $\pm$ desviación estándar, excepto donde se indique con un *).

	Total
n	6
Aspecto *	Blanco opalescente
Licuefacción *	Variable
Viscosidad *	Variable
Volumen (mL)	2.03 $\pm$ 0.85
pH	7.0 $\pm$ 0
Motilidad progresiva (%)	46.17 $\pm$ 9.87
Motilidad no progresiva (%)	14.83 $\pm$ 5.42
Inmotilidad (%)	39.0 $\pm$ 8.07
Concentración espermática (millones/mL)	62.89 $\pm$ 37.40
Morfología normal (%)	18.33 $\pm$ 7.53
Morfología anormal (%)	81.67 $\pm$ 7.53
Espermatozoides con reacción acrosomal inducida (%) *	45
Espermatozoides con ROS intracelulares (%) *	13

Fragmentación de ADN espermático (%) *

17

pH, potencial de hidrógeno; ROS, especies reactivas de oxígeno; ADN, ácido desoxirribonucleico.

El aspecto de todas las muestras de semen fue de color homogéneo normal. La licuefacción fue retardada en algunas muestras (>30 minutos), mientras que otras completaron el proceso dentro del periodo esperado. La mayoría de las muestras no presentó viscosidad; en aquellas que sí, se manifestó únicamente durante la licuefacción en curso. El pH se determinó con una tira reactiva, por lo que se trató de una estimación colorimétrica y por ende se expresó en valores enteros. Los resultados de las variables relacionadas con estrés oxidativo y funcionalidad espermática corresponden únicamente a una muestra de semen, debido a limitaciones logísticas y al periodo de aprendizaje requerido para capacitarse en la observación, identificación, análisis y conteo sistemático de espermatozoides mediante microscopía de fluorescencia.

A continuación, se observan espermatozoides sometidos al ensayo TUNEL para evaluar la fragmentación de ADN (**Figura 1**).

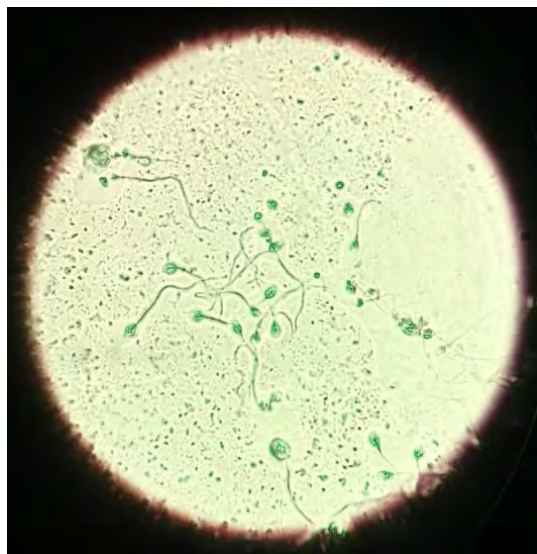


Figura 1. Espermatozoides humanos teñidos con FITC-dUTP visualizados mediante microscopía de fluorescencia en campo claro con objetivo de 40x.

Discusión y conclusiones

Los valores normales de los parámetros espermáticos se definen como aquellos que superan ciertos puntos de corte (**Tabla 2**), establecidos a partir del quinto percentil inferior de una distribución determinada por Campbell *et al.*, considerando hombres que lograron una concepción natural dentro de los 12 meses posteriores al intento (OMS, 2025, p. 229).

Tabla 2. Puntos de corte que reflejan el límite entre la fertilidad e infertilidad. Se deben interpretar los valores con cautela (Adaptado de OMS, 2025, p. 229).

	Punto de corte
Volumen (mL)	1.4
Motilidad progresiva (%)	30
Motilidad no progresiva (%)	1
Inmotilidad (%)	20
Concentración espermática (millones/mL)	16
Morfología normal (%)	4

El pH seminal resulta de la secreción prostática ácida y la secreción alcalina de las vesículas seminales, alcanzando un valor normal cercano a 7.2 (OMS, 2025, p. 18). Por ende, se puede concluir que, en términos generales, la calidad espermática de los participantes, evaluada mediante espermatobioscopia, se encuentra dentro de los rangos considerados normales.

La infertilidad masculina se caracteriza por alteraciones en la motilidad, la morfología y la concentración espermáticas en al menos una de dos muestras de semen analizadas con un intervalo de diferencia de 1–4 semanas (Takalani *et al*, 2023); lo que justificaría la necesidad de una evaluación médica exhaustiva.

La reacción acrosomal, mediada por la afluencia de calcio, es un proceso *in vivo* que ocurre en la proximidad del ovocito y refleja la integridad del acrosoma y la capacidad del espermatozoide para exocitosis, fundamentales para la fertilidad. Alteraciones en morfología o concentración espermática pueden comprometer la estructura acrosomal y la respuesta a estímulos como proteínas

de la zona pelúcida o progesterona. El porcentaje de espermatozoides con reacción acrosomal inducida se ha correlacionado con la tasa de fecundación y puede evaluarse mediante microscopía o citometría de flujo usando lectinas fluorescentes, como PSA en este estudio (OMS, 2025, p. 154).

Las ROS espermáticas pueden evaluarse mediante ensayos indirectos (capacidad antioxidante total, mieloperoxidasa, malondialdehído, etc.), directos (quimioluminiscencia, potencial de oxidación-reducción, resonancia de espín electrónico, entre otros) o con sondas fluorescentes como DCF, utilizada en este estudio para detectar su generación en células vivas, emitiendo la fluorescencia tras la oxidación. Aunque son métodos ampliamente aplicados en andrología, aún no existe una asociación consistente entre el estado redox seminal y los resultados de concepción natural o asistida (OMS, 2025, p. 150; Takalani *et al.*, 2023; Wang *et al.*, 2025).

La fragmentación del ADN espermático consiste en roturas simples o dobles del material genético, originadas por estrés oxidativo o defectos en el empaquetamiento durante la espermatogénesis. Niveles elevados se asocian con menor concepción natural y asistida, incluso en casos con parámetros espermáticos normales, lo que lo posiciona como un biomarcador relevante en andrología. Su evaluación incluye métodos directos (TUNEL, ensayo cometa) e indirectos (dispersión de cromatina espermática, naranja de acridina), aunque la ausencia de valores de corte universales limita su estandarización clínica. Para el ensayo TUNEL, se han propuesto rangos de referencia entre 15–20% (Adler *et al.*, 2023; OMS, 2025, p. 93).

El presente estudio forma parte de un proyecto más amplio (tesis de doctorado de la M.C. Aída Díaz) que considera variables adicionales, como enzimas antioxidantes y citocinas. Con el objetivo de explorar su relación con los parámetros espermáticos, el estrés oxidativo y la funcionalidad espermática. En este contexto, el sobrepeso y la obesidad constituyen factores relevantes al ser fuentes endógenas de ROS, y han mostrado un impacto negativo en la fertilidad masculina, fenómeno particularmente relevante dada

la alta prevalencia de obesidad en México y a nivel global.

Aunque la muestra analizada en este estudio fue reducida, cabe señalar que una muestra de semen no fue incluida en este estudio, por la dificultad técnica que representó el análisis dada su elevada viscosidad. Este hecho enfatiza la importancia de la experiencia en el procesamiento de muestras de semen y la necesidad de protocolos estandarizados para abordar casos con licuefacción incompleta; está descrito que este fenómeno vuelve prácticamente imposible su evaluación (OMS, 2025, p. 68).

Entre las limitaciones del presente, destaca la ausencia de un análisis de correlación entre las variables de estrés oxidativo y funcionalidad espermática (ROS espermáticas, fragmentación de ADN y reacción acrosomal) y los parámetros espermáticos. Este enfoque, reportado en estudios previos (Chen *et al.*, 2024; Nguyen *et al.*, 2023; Shemshaki *et al.*, 2021), ha demostrado asociaciones relevantes que contribuyen a comprender mejor la infertilidad masculina por estrés oxidativo. Además, la heterogeneidad de los ensayos para evaluar el estrés oxidativo, principalmente ROS espermáticas, resalta la necesidad de estandarizar las técnicas para ser comparables entre estudios.

Finalmente, este trabajo subraya la importancia de considerar al estrés oxidativo como un factor clave en la calidad espermática y la fertilidad masculina. Futuros estudios deben integrar los análisis correlacionales mencionados previamente y diseñar protocolos estandarizados para tratar y diagnosticar pacientes con infertilidad masculina por estrés oxidativo.

Agradecimientos

A la Universidad Autónoma de Querétaro, a la M.C. Aída Díaz y al M.C. Arturo Torres, a la Dra. Ana Tusie, así como a mis compañeras del Verano de la Ciencia, Paola Hernández y Francia Hernández; por su valiosa disposición, apertura y conocimiento, los cuales me enriquecieron tanto en el ámbito académico como en el personal.

Referencias bibliográficas

- Adler, A., Roth, B., Lundy, S. D., Takeshima, T., Yumura, Y., & Kuroda, S. (2023). Sperm DNA fragmentation testing in clinical management of reproductive medicine. *Reproductive medicine and biology*, 22(1), e12547. <https://doi.org/10.1002/rmb2.12547>
- Akhigbe R. E. (2025). Editorial: Oxidative stress and male fertility. *Frontiers in reproductive health*, 7, 1657872. <https://doi.org/10.3389/frph.2025.1657872>
- Chen, L., Mori, Y., Nishii, S., Sakamoto, M., Ohara, M., Yamagishi, S. I., & Sekizawa, A. (2024). Impact of Oxidative Stress on Sperm Quality in Oligozoospermia and Normozoospermia Males Without Obvious Causes of Infertility. *Journal of clinical medicine*, 13(23), 7158. <https://doi.org/10.3390/jcm13237158>
- Nguyen, N. D., Le, M. T., Dang, H. N. T., Van Nguyen, T., Nguyen, Q. H. V., & Cao, T. N. (2023). Impact of semen oxidative stress on sperm quality: initial results from Vietnam. *The Journal of international medical research*, 51(8), 3000605231188655. <https://doi.org/10.1177/03000605231188655>
- Organización Mundial de la Salud. (2025). Manual de laboratorio de la OMS para el examen y procesamiento del semen humano, 6ª. ed. Ginebra: Organización Mundial de la Salud. <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/380464/9789240106116-spa.pdf?sequence=1>
- Ritchie, C., & Ko, E. Y. (2020). Oxidative stress in the pathophysiology of male infertility. *Andrologia*, 00:e13581. <https://doi.org/10.1111/and.13581>
- Shemshaki, G., Murthy, A. S. N., & Malini, S. S. (2021). Assessment and Establishment of Correlation between Reactive Oxidation Species, Citric Acid, and Fructose Level in Infertile Male Individuals: A Machine-Learning Approach. *Journal of human reproductive sciences*, 14(2), 129–136. https://doi.org/10.4103/jhrs.jhrs_26_21
- Takalani, N. B., Monageng, E. M., Mohlala, K., Monsees, T. K., Henkel, R., & Opuwari, C. S. (2023). Role of oxidative stress in male infertility. *Reproduction & fertility*, 4(3), e230024. <https://doi.org/10.1530/RAF-23-0024>
- Wang, Y., Fu, X., & Li, H. (2025). Mechanisms of oxidative stress-induced sperm dysfunction. *Frontiers in endocrinology*, 16, 1520835. <https://doi.org/10.3389/fendo.2025.1520835>

Impacto de la pasteurización en el perfil nutricional y nutraceutico de una bebida fermentada de maíz (*Zea mays*)

Zetina Urrieta Ismael Jesús,¹ Martínez Ortiz Cecilia^{1*}

¹ Posgrado en Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Universidad Autónoma de Querétaro, Cerro de las Campanas S/N. Col. Centro, 76010 Santiago de Querétaro, México.

***Información de contacto:**
ceci_mar_or@hotmail.com

Resumen

El pozol es una bebida con gran valor cultural en México. Sin embargo, aún se sabe poco de las características nutricionales y nutraceuticas del pozol. Además, el pozol es una bebida que se consume al momento de prepararse ya sea fresca o fermentada. Esto puede generar sabores desagradables o incluso tóxicos. Es por ello que el objetivo de este trabajo fue evaluar los cambios del perfil nutricional y nutraceutico durante la pasteurización de una bebida fermentada de maíz (*Zea mays*). Así como también determinar la composición de un pozol con cacao. Primero, se evaluó las características nutricionales y nutraceuticas. Los resultados indican que hay mayor contenido de lípidos, cenizas, proteínas, fenoles totales y flavonoides en comparación con el pozol fermentado. Asimismo, se cuantificaron propiedades fisicoquímicas y microorganismos para determinar su contenido. Indicando que hay un mayor contenido de bacterias ácido lácticas. Con lo anterior se sugiere que la adición de cacao mejora las características nutraceuticas. Asimismo, el

pozol fermentado disminuye el contenido de *E. coli*.

Palabras clave: Pasteurización, nixtamalización, análisis proximal, nutraceutico, pozol, cacao, análisis microbiológico.

Abstract

Pozol is a traditional Mexican beverage with significant cultural value. However, limited information is available regarding its nutritional and nutraceutical properties. Pozol is typically consumed immediately after preparation, either fresh or fermented, which can lead to the development of unpleasant or even harmful flavors. This study aimed to evaluate changes in the nutritional and nutraceutical profile of fermented corn (*Zea mays*) pozol during pasteurization, as well as to analyze the composition of cocoa-added pozol. Nutritional and nutraceutical parameters were first assessed. The results showed higher levels of lipids, ash, proteins, total phenols, and flavonoids in cocoa pozol compared to fermented pozol alone. In addition, physicochemical properties and microbial content were analyzed, revealing a higher presence of lactic acid bacteria. These findings suggest that the addition of cocoa enhances the nutraceutical qualities of pozol. Furthermore, fermentation was associated with a reduction in *E. coli* levels.

Keywords: Pasteurization, nixtamalization, proximate analysis, nutraceutical, pozol, cacao, microbiological analysis.

1. Introducción

El pozol es una bebida tradicional a base de masa nixtamalizada y agua. Esta bebida puede ser de dos tipos: 1) prepara al momento conocida como pozol fresco, 2) pozol fermentado, la masa nixtamalizada se somete al proceso de fermentación. Además, en algunas regiones, al pozol le añaden cacao. (Ulloa & Herrera, 1982). Se ha sugerido en la literatura que el pozol tiene propiedades nutraceuticas. Posiblemente, por el proceso de fermentación por

el metabolismo de los microorganismos que llevan a cabo dicho proceso. Asimismo, contiene prebióticos como malto-oligosacáridos e isomalto-oligosacáridos. (Vallejo-García *et al.*, 2025).

Durante la fermentación de la masa nixtamalizada se involucran diversos cambios. Estos procesos de fermentación causan un incremento en las poblaciones de bacterias ácido lácticas, *incluyendo Lactobacillus plantarum*, *Pediococcus acidilactici*, y *Lactobacillus fermentum*. Estos organismos producen ácidos orgánicos en sus procesos metabólicos, mayoritariamente ácido láctico, causando una disminución en el pH y un incremento en la acidez titulable (Rizo *et al.*, 2021.)

Además, los alimentos con cacao son una fuente importante de antioxidantes entre los que se incluyen fenoles, flavonoides, catequina, epicatequina y procianidinas, los cuales están asociados con la reducción del estrés oxidativo y la mejora de la salud cardiovascular (Hamed *et al.*, 2019). En el caso de preparaciones tradicionales como el pozol, al añadir cacao podría aportar una fuente adicional de estos compuestos bioactivos, y con ello, aumentar su capacidad antioxidante.

2. Objetivos

Evaluar los cambios del perfil nutricional y nutracéutico durante la pasteurización de una bebida fermentada de maíz (*Zea mays*).

3. Materiales y Métodos

Agar papa dextrosa (comercial)

Agar soya tripticaseína (comercial)

Rifampicina (comercial)

Peptona de caseína (comercial)

Pozol con cacao (comercial)

Pozol fermentado (realizado en el laboratorio)

3.1. Humedad

Se llevaron a peso constante charolas de aluminio y se añadieron 2 g de cada muestra del pozol. Se colocaron en un horno a 110 °C durante 24 h y luego se pesaron nuevamente.

3.2. Contenido de cenizas

Se llevaron crisoles a peso constante en una mufla durante 2 horas a 110°C. Posteriormente, se registró su peso y se añadió 1 g de muestra en cada crisol. Los crisoles se transfirieron a una mufla a 535 °C durante 6 h. Finalmente, los crisoles se pesaron.

3.3. Contenido de lípidos

Se utilizó un equipo Soxhlet estándar. Las muestras de cada tipo de pozol se colocaron en el equipo Soxhlet y se añadió éter de petróleo como solvente de extracción. El reflujo se logró mediante el uso de una bomba circulando agua fría a través de los condensadores montados en el equipo. El tiempo de extracción de los lípidos fue de 3 h.

3.4. Contenido de proteínas

Se empleó el método de Kjeldahl utilizando el Speed Digester K-436 y el equipo BasicKjel de Buchi. El contenido de proteínas se determinó por titulación de la solución de amoníaco resultante utilizando. HCl 0.1 N.

3.5. Contenido de carbohidratos

El contenido de carbohidratos se determinó por diferencia.

3.6. Contenido de fenoles

Se preparó un extracto metanólico de cada muestra. Se empleó el método de Folin-Ciocalteu. La reacción se llevó a cabo en tubos Eppendorf con 50 µL de extracto, 200 µL de agua destilada, 125 µL de reactivo Folin-Ciocalteu 1 N, y 625 µL de una solución de Na₂CO₃ al 7%. Se incubaron durante 2 h en oscuridad. Las muestras se midieron a una absorbancia de 760 nm. Para la cuantificación de los fenoles totales se elaboró una curva de calibración utilizando ácido gálico como estándar. Los resultados se expresan en mg EAG/100 g de muestra.

3.7. Contenido de flavonoides

Para el análisis de muestras se utilizaron 50 µL de extracto metanólico de cada muestra con 180 µL de metanol y 20 µL de solución 1% de 2-aminoetildifenilborato. Para la cuantificación de los flavonoides se elaboró una curva de calibración

utilizando rutina como estándar. Los resultados se expresan en $\mu\text{g ER/g}$ de muestra.

3.8. Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante se realizó por el método ABTS (2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico)) descrito por Nenadis *et al.* (2004). En una microplaca de 96 pozos se llevó a cabo la siguiente reacción: 20 μL de la muestra y 230 μL de la solución de trabajo ABTS. La absorbancia se midió a 734 nm a temperatura ambiente durante diferentes tiempos 0, 6, 10, 30 y 90 min. Los resultados se expresan en $\mu\text{M ET/100 g}$ de muestra.

3.9 Proceso de nixtamalización y fermentación

Se nixtamalizó maíz criollo utilizando 3 L de agua y 1 % de Ca(OH)_2 por cada kilogramo de maíz, con tiempos de cocción de 30 y 90 minutos a 92 °C. El nixtamal reposó 16 h a temperatura ambiente, se lavó y se molió para obtener la masa nixtamalizada. Inmediatamente, se pesaron porciones de 200 g de masa nixtamalizada y se envolvieron en hojas de plátano tratadas térmicamente y se fermentaron en olla de barro a 28 °C durante 48 h. Se tomaron muestras a intervalos definidos para análisis fisicoquímicos y microbiológicos.

3.10. Determinación del pH

Se preparó pozol utilizando 10 g de masa de 0, 24, y 48 horas de fermentación en 90 mL de agua potable. Se calibró un potenciómetro y se tomó la medida de las muestras por triplicado.

3.11. Contenido ácido láctico

Se tomaron 10 mL de pozol preparado de la manera anteriormente descrita, se agregaron 3 gotas de indicador de fenolftaleína, y se realizó una titulación con una solución de NaOH 0.1 N.

3.12. Pruebas microbiológicas

Se realizó análisis microbiológico de acuerdo a la NOM-247-SSA1-2008. Se diluyeron 10 g de masa

de cada tiempo de fermentación en 90 mL de peptona (0.1%) en tubos previamente esterilizados. Utilizando peptona, se realizaron diluciones posteriores. Para el conteo de células, se determinó la presencia de hongos y levaduras en agar papa dextrosa acidificado con ácido tartárico al 10%. Se incubaron las placas a 25 °C durante 5 días y posteriormente se realizó conteo en placa. Para bacterias LAB se utilizó medio de agar MRS, se incubó a 35 °C durante 48 h, y se realizó conteo. Para *E. coli*. se utilizó agar soya tripticaseína con rifampicina, se incubó a 35 °C por 48 h y posteriormente se realizó el conteo de las colonias.

4. Resultados y discusión

Primero se realizó la composición nutrimental y nutracéutica de tres muestras de pozol; dos muestras con la adición de cacao y otra muestra de pozol fermentada para determinar su composición antes de llevar a cabo la pasteurización.

En los análisis proximales se observó que el pozol fermentado presentó una mayor humedad con respecto a las muestras de pozol con cacao comerciales. Indicando una baja humedad, esto se encuentra dentro del rango de humedad (<15 %) reportado por el Codex Alimentarius (**Tabla 1**). La marca 2 de pozol con cacao presentó el contenido más bajo de cenizas ($1.4167 \pm 0.0833\%$). Las muestras de la marca 1 de pozol con cacao presentaron un incremento de cenizas, indicando una mayor cantidad de minerales (Pomeranz & Meloan, 1994). En el contenido de proteína se encontraron diferencias entre los tres tipos de pozol; sin embargo, no puede determinarse si esto se debe a la adición de cacao, ya que el pozol fermentado mostró un contenido mayor que el pozol con cacao de origen local. El contenido de lípidos fue significativamente mayor en ambas muestras de pozol con cacao en contraste con el pozol fermentado. Lo anterior puede deberse a que

durante el proceso de nixtamalización, los lípidos presentes en el maíz sufren modificaciones fisicoquímicas, como oxidación y reducción, así como saponificación debido a las condiciones alcalinas (Escalante-Aburto *et al*, 2019). Los carbohidratos en el pozol con cacao fueron menos en comparación con el pozol fermentado.

Tabla 1. Análisis proximal de diferentes muestras de pozol.

Nutriente (%)	Marca 1	Marca 2	Fermentado
Humedad	3.51 ± 0.05b	4.21 ± 0.13b	4.97 ± 0.12a
Cenizas	3.52 ± 0.06a	1.42 ± 0.07c	1.53 ± 0.02b
Proteína	11.00 ± 0.01a	7.26 ± 0.09c	8.66 ± 0.10b
Lípidos	5.35 ± 0.06a	5.58 ± 0.70a	3.75 ± 0.18b
Carbohidratos	76.62 ± 0.28b	81.54 ± 0.37a	81.61 ± 0.37a

Se presenta la media ± desviación estándar de n=3. Letras minúsculas diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre las muestras (p < 0.05).

Los resultados de las características nutraceuticas mostraron que el contenido de fenoles totales y flavonoides fue mayor en las muestras de pozol con cacao en comparación del pozol fermentado. Esto puede deberse a que el cacao es una fuente importante de antioxidantes (Hamed *et al.*, 2019). De acuerdo a esto, ambas muestras de pozol con cacao presentaron una mayor capacidad antioxidante que el pozol fermentado. Entre las muestras de pozol con cacao, las diferencias en el contenido de fenoles fueron insignificantes (**Fig. 1.**)

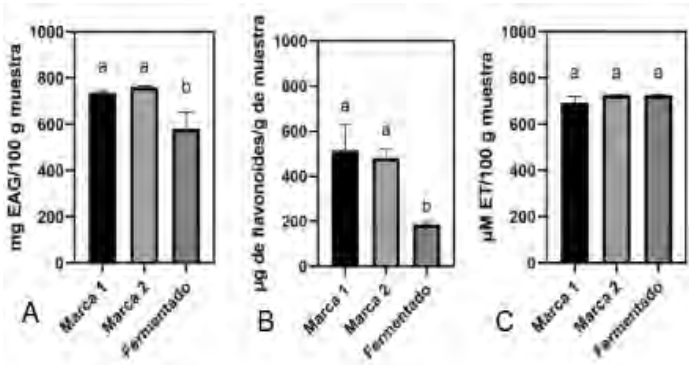


Fig. 1. Cuantificación de compuestos fenólicos en diferentes muestras de pozol. A) Fenoles totales, B) Flavonoides, C) Capacidad antioxidante. Se presenta la media ± desviación estándar de n=3. Letras minúsculas diferentes indican diferencias estadísticas significativas entre las muestras (p < 0.05).

Después de conocer la composición nutricional y nutraceutica. Se realizaron ensayos fisicoquímicos y microbiológicos en la masa nixtamalizada fermentada con la finalidad de cuantificar el pH, ácido láctico, bacterias ácido lácticas, levaduras y hongos. Además, de *E.coli* ya que es un indicador de contaminación. Al inicio de la fermentación de la masa nixtamalizada se observó un pH alcalino (>8), esto se debe por el proceso de nixtamalización al que fueron sometidos los granos de maíz. Al finalizar la fermentación el pH fue ácido (<5), esto se relaciona con el metabolismo de los microorganismos, ya que pueden generar compuestos organicos como el ácido láctico (Rizo *et al.*, 2021). Al inicio de la fermentación el contenido de ácido láctico fue mínimo, pero conforme transcurría el tiempo de fermentación incremento (**Fig. 1**). Lo anterior se relaciona con el pH que presentó la masa nixtamalizada.

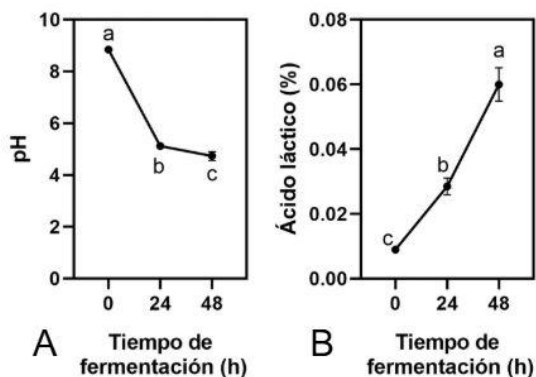


Fig. 2. Propiedades fisicoquímicas del pozol durante la fermentación. A) pH y B) % de ácido láctico.

En los análisis microbiológicos, los resultados para *E. coli* indican que a las 0 h de fermentación se inocularon 6 Log UFC/g. A las 24 h, se observó un crecimiento de 2 Log UFC/g; sin embargo, al finalizar la fermentación (48 h), la concentración de *E. coli* disminuyó (**Fig. 3A**). Esta reducción podría deberse a las condiciones generadas durante la fermentación, como el pH ácido o la competencia microbiana. En el contenido de hongos y levaduras se observó al inicio de la fermentación un contenido de 2 y 2.2 Log UFC/g respectivamente y al finalizar la fermentación el crecimiento incrementó a 2.2 veces el contenido de hongos (**Fig. 3B**) y 1 vez el contenido de levaduras (**Fig. 3C**). Esto se puede deber a la disponibilidad de sustrato que hay en la masa nixtamalizada durante la fermentación. Por último, el contenido de bacterias ácido lácticas, los resultados indican que al inicio de la fermentación hay mayor contenido de estos microorganismos con respecto a los hongos y levaduras con 5 Log UFC/g y que durante la fermentación incrementan su contenido hasta 8 Log UFC/g. Indicando que los principales microorganismos que llevan a cabo la fermentación en la masa nixtamalizada son las bacterias ácido lácticas, lo cual concuerda con la literatura (Díaz-Ruiz et al., 2003).

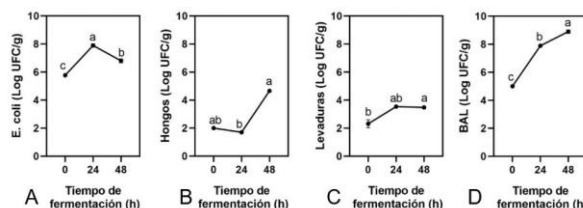


Fig. 3. Cuantificación de microorganismos en el pozol durante la fermentación. A) *E. coli*, B) Hongos, C) Levaduras y D) Bacterias ácido lácticas.

5. Conclusiones

Los resultados de la composición nutricional y nutracéutica sugieren que la adición de cacao mejora el contenido de lípidos, cenizas, fenoles totales y flavonoides comparado con el pozol fermentado. Sin embargo, la capacidad antioxidante fue similar en las diferentes muestras de pozol, sugiriendo que tanto el proceso de fermentación y el cacao mejora la capacidad antioxidante del pozol. Además, la fermentación disminuye el crecimiento de *E. coli*, por lo cual, la fermentación con la pasteurización podría detener el crecimiento de microorganismos patógenos como *E. coli*.

Agradecimientos

Proyecto FOPER-2025-FQU03796 de la Universidad Autónoma de Querétaro.

Al laboratorio de Química y Funcionalidad de Carbohidratos que me recibió en esta estancia.

A la M.C Cecilia Martínez, quien llevó el seguimiento del proyecto.

A la investigadora a cargo del laboratorio, la Dra. Marcela Martínez Gaytán.

A la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro.

Referencias

Escalante-Aburto, A., Mariscal-Moreno, R. M., Santiago-Ramos, D., & Ponce-García, N. (2019). An Update of

Different Nixtamalization Technologies, and Its Effects on Chemical Composition and Nutritional Value of Corn Tortillas. *Food Reviews International*, 36(5), 456-498. <https://doi.org/10.1080/87559129.2019.1649693>

Esperanza Atalia, R. E. (2024). Desarrollo y caracterización física, química y nutracéutica de un pozol elaborado con maíz (*Zea mays* L.) criollo (azul y rojo), adicionado con cacao (*Theobroma cacao*). (Tesis de maestría). Universidad Autónoma de Querétaro. <https://ri-ng.uaq.mx/bitstream/123456789/9916/1/FQMAC-309129.pdf>

Hamed, A. I., El-Hawary, S. S., Ibrahim, R. M., El-Halawany, A. M., & El-Kashak, W. A. (2019). Cocoa and chocolate in human health and disease. *Nutrients*. doi: 10.1089/ars.2010.3697

Nuraida, L., Wachter, M. C., & Owens, J. D. (1995). Microbiology of pozol, a Mexican fermented maize dough. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 11(5), 567–571. <https://doi.org/10.1007/bf00286375>

Pomeranz, Y., Meloan, C.E. (1994). Ash and Minerals. In: *Food Analysis*. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6998-5_35

Rizo, J., Guillén, D., Díaz-Ruiz, G., Wachter, C., Encarnación, S., Sánchez, S., & Rodríguez-Sanoja, R. (2021). Metaproteomic insights into the microbial community in Pozol. *Frontiers in Nutrition*, 8, 714814. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.714814>

Robledo-Márquez, K., Ramírez, V., González-Córdova, A., Ramírez-Rodríguez, Y., García-Ortega, L., & Trujillo, J. (2021). Research opportunities: Traditional fermented beverages in Mexico. Cultural, microbiological, chemical, and functional aspects. *Food Research International*, 147, 110482. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110482>

Ulloa, M., Herrera, T. (1982). Estado actual del conocimiento sobre la microbiología de bebidas fermentadas indígenas de México: pozol, tesgüino, pulque, colonche y tepache. *An. Inst. Biol. Univ. Nal. Autón. México* 47-53. Ser. Bot.: 145-163.

Vallejo-García, L. C., Espíritu-García, A., Miranda-Molina, A., & Munguía, A. L. (2025). Characterization of oligosaccharides produced by a truncated dextransucrase from *Weissella confusa* Wcp3a isolated from pozol, a traditional fermented corn beverage. *International Journal of*

Biological Macromolecules, 139891. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2025.139891>

Evaluación de captación energética a través de la humedad.

Velázquez Sánchez Johanna Fátima¹, Ledesma García Janet¹, Arriaga Hurtado Luis Gerardo², Escalona Villalpando Ricardo Antonio¹.

¹Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería, Campus Aeropuerto Carr. a Chichimequillas s/n C.P. 76140, Querétaro, Qro. jvelazquez46@alumnos.uaq.mx, janet.ledesma@uaq.mx, ricardo.escalona@uaq.edu.mx

²Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, 76703, Santiago de Querétaro, Mexico. larriaga@cideteq.mx

Resumen — En esta investigación se evaluó el uso de una estructura basada en zirconio como material higroscópico integrado en un dispositivo tipo batería. La caracterización electroquímica del sistema se realizó mediante pruebas de potencial a circuito abierto, utilizando una cámara diseñada con la capacidad de controlar y monitorear las condiciones de humedad. El objetivo es analizar la viabilidad del aprovechamiento de la humedad atmosférica como una alternativa sustentable para la generación de energía.

Palabras clave — humedad, captación, energía, potencial.

Abstract — In this research, the use of a zirconium-based structure as a hygroscopic material integrated into a battery-type device was evaluated. The electrochemical characterization of the system was conducted through open-circuit potential measurements, using a chamber designed to control and monitor humidity conditions. The objective of this work is to assess the feasibility of harnessing atmospheric moisture as a sustainable alternative for energy generation.

Keywords — moisture, harvesting, energy, potential.

I. INTRODUCCIÓN

La humedad atmosférica representa una fuente de energía limpia y descentralizada (Liu et al., 2023). Aproximadamente 13 mil billones de litros de agua se encuentran presentes en la atmosfera en forma de vapor de forma ubicua y continua (Meng et al., 2022). En comparación con los combustibles fósiles, la generación de energía a través de la humedad, no produce contaminantes peligrosos, ni provoca emisiones de carbono (Zhang et al., 2020).

La extracción del agua presente en el aire puede realizarse mediante materiales higroscópicos porosos con alta área superficial, a su vez, la incorporación de grupos oxigenados y sitios metálicos, permiten una mayor captación de la humedad (Lu et al., 2023). La adsorción de las moléculas de agua se genera por una superposición del potencial de van der Waals en las paredes, permitiendo su recolección en un amplio rango de humedades relativas (Yang et al., 2021).

La generación de energía ocurre cuando el agua absorbida se disocia en protones H^+ , o bien, forma canales de transporte de iones, generando su movimiento de áreas de alta concentración a baja concentración. Al incorporarse en un sistema de dos electrodos, produce una reducción en el electrodo positivo y una oxidación en el electrodo negativo, lo que origina un voltaje de respuesta entre los dos electrodos (Zu et al., 2024).

En este estudio se seleccionó una estructura porosa conformada por grupos de hidróxido de zirconio como material higroscópico, incorporado en un dispositivo tipo batería. El sistema mostro un mayor rendimiento al incrementar la cantidad de material depositado sobre un sustrato hidrofílico y con el aumento de la humedad relativa, generando una diferencia de potencial entre los electrodos.

II. METODOLOGÍA

a) Preparación del dispositivo.

La síntesis del compuesto hidrofílico se sintetizó basándose en la metodología presentada por Aghajani Hashjin y colaboradores (Aghajani Hashjin et al., 2023). El material obtenido se depositó sobre papel utilizando la técnica de goteo y se integró un electrodo a cada lado del dispositivo para funcionar como ánodo y cátodo.

b) Construcción de cámara para control y monitoreo de humedad.

Se utilizó un recipiente hermético, al cual se le perforaron orificios circulares para permitir la instalación de distintos componentes: una manguera conectada a un vaporizador, empleada para incrementar la humedad relativa; una manguera acoplada a una bomba de vacío, que permita reducirla; la sonda de un higrómetro para el monitoreo continuo; y conexiones con caimanes para servir como puente a un potenciostato.

c) Pruebas de potencial a circuito abierto.

La cámara para el control de humedad se dejó estabilizando durante una hora antes iniciar cada prueba. Se conectó el cátodo al electrodo de trabajo y el ánodo al contraelectrodo y referencia de un potenciostato Epsilon, con el que se realizaron las mediciones por OCP. El sistema se dejaba estabilizar durante 20 minutos cada vez que la humedad relativa se incrementaba desde el valor inicial del 50% hasta 60, 80 y 100% HR. Se realizaron pruebas variando la concentración del compuesto higroscópico depositado sobre papel, utilizando concentraciones de 0, 10, 15 y 20 mg/ml.

III. RESULTADOS

En la prueba de potencial a circuito abierto del blanco se registró un máximo de ~ 0.26 V a 100% HR y un mínimo de ~ -0.04 V a 80% HR. El rango de humedad con mayor estabilidad se observó a 80% con una desviación estándar ($DE = 0.0049$), mientras que presentó más variaciones a 50% ($DE = 0.0216$), Figura 1.

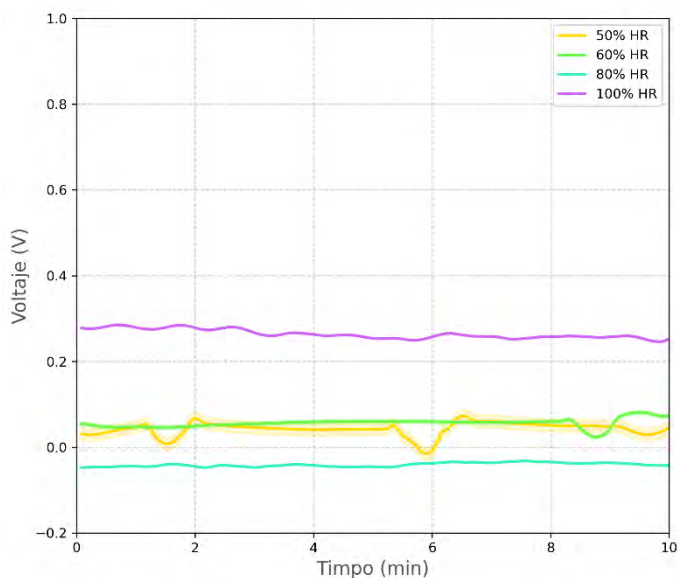


Figura 1. Potencial a circuito abierto del dispositivo sin material higroscópico.

En la prueba de potencial a circuito abierto del dispositivo con una concentración de 10 mg/ml, se registró un máximo de ~ 0.48 V a 50% HR y un mínimo de ~ -0.01 V a 80% HR. El rango de humedad con mayor estabilidad se observó a 50% con una desviación estándar ($DE = 0.0163$), mientras que presentó más variaciones a 60% ($DE = 0.0787$), Figura 2.

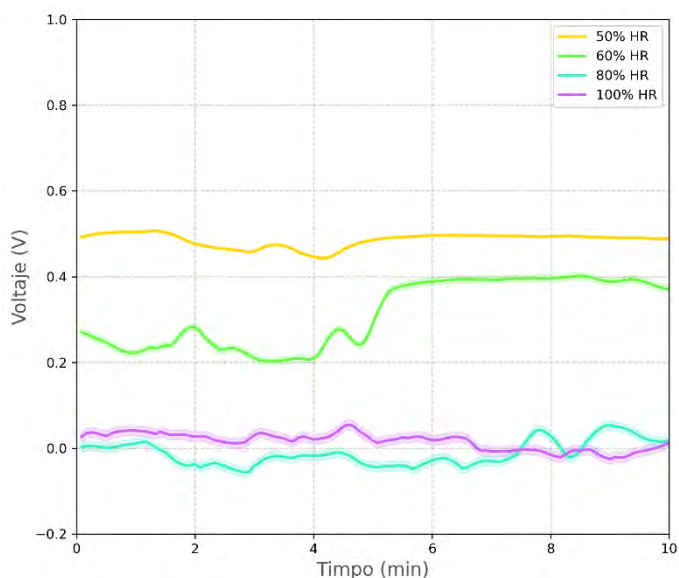


Figura 2. Potencial a circuito abierto del dispositivo con concentración de 10 mg/ml del material higroscópico.

En la prueba de potencial a circuito abierto del dispositivo con una concentración de 15 mg/ml, se registró un máximo de ~ 0.52 V a 50% HR y un mínimo de ~ 0.07 V a 100% HR. El rango de humedad con mayor estabilidad se observó a 50% con una desviación estándar ($DE = 0.0073$), mientras que presentó más variaciones a 60% ($DE = 0.0992$), Figura 3.

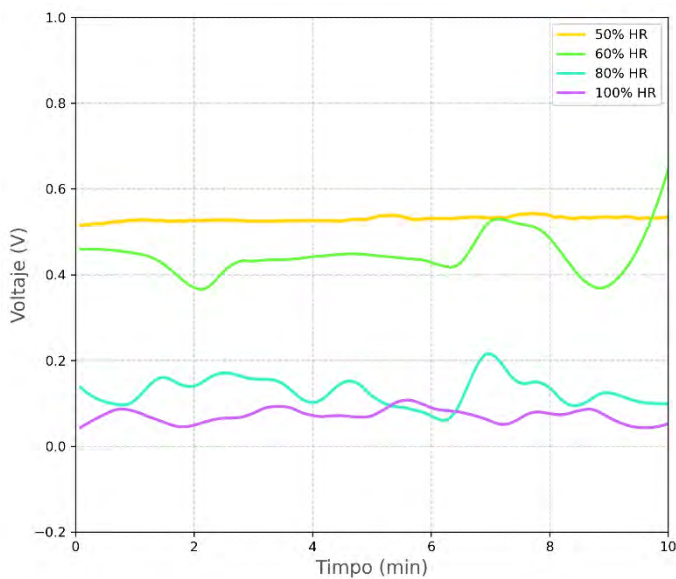


Figura 3. Potencial a circuito abierto del dispositivo con concentración de 15 mg/ml del material higroscópico.

En la prueba de potencial a circuito abierto del dispositivo con una concentración de 20 mg/ml, se registró un máximo de ~ 0.62 V a 60% HR y un mínimo de ~ 0.54 V a 100% HR. El rango de humedad con mayor estabilidad se observó a 100% con una desviación estándar ($DE = 0.0148$), mientras que presentó más variaciones a 80% ($DE = 0.0327$), Figura 4.

El potencial generado por los diferentes dispositivos alcanzó sus valores más altos a una humedad relativa del 50%. Asimismo, se observa un aumento en relación con el incremento en la concentración del material higroscópico depositado, como se muestra en la Figura 5.

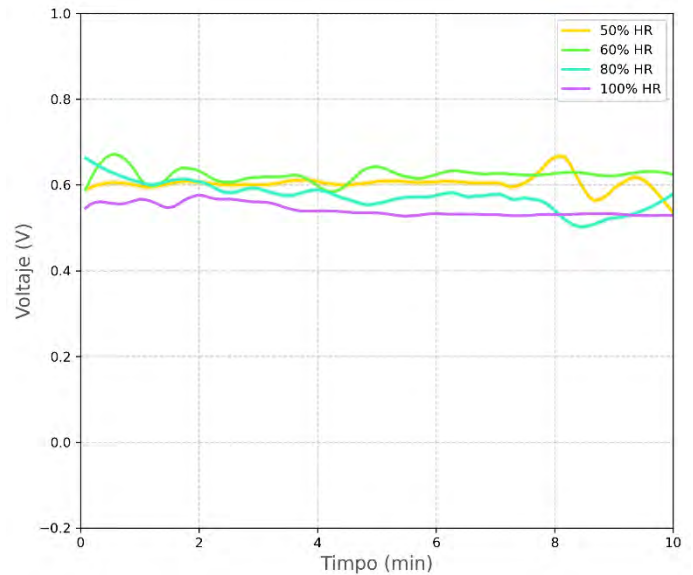


Figura 4. Potencial a circuito abierto del dispositivo con concentración de 20 mg/ml del material higroscópico.

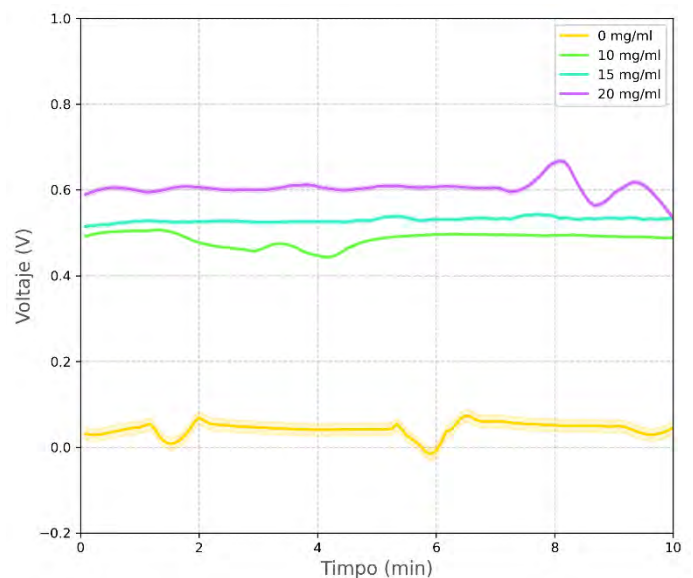


Figura 5. Potencial a circuito abierto de dispositivos a diferentes concentraciones a 50% HR.

IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Los resultados mostraron una mayor estabilidad en el rango de 50% de humedad relativa, así como un incremento en el voltaje generado. Este comportamiento puede atribuirse al aumento en la cantidad de material, ya que proporciona una mayor área superficial para la adsorción de moléculas de agua. El 50% de humedad representa el rango óptimo

para generación de energía, posiblemente debido a que en estas condiciones permiten una distribución más uniforme del agua dentro del material, mientras que comienza a saturarse al 100% HR. La única excepción se presentó en el blanco, donde la ausencia del material higroscópico provocaba una captación más lenta de la humedad, en comparación con los dispositivos que sí lo incorporaron.

La energía contenida en el agua presente en la atmosfera podría satisfacer parte de la demanda energética a nivel mundial si se logra captar y procesar eficientemente. Esta investigación proporcionó una perspectiva sobre su viabilidad utilizando una estructura basada en zirconio; no obstante, todavía puede optimizarse el sistema para obtener un mayor rendimiento, abriendo la posibilidad a futuras investigaciones.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Autónoma de Querétaro por hacer posible la realización del Verano de la Ciencia UAQ 2025. Al Laboratorio Nacional de Micro y Nano Fluídica por brindarme la oportunidad de llevar a cabo esta estancia de investigación en sus instalaciones.

V. REFERENCIAS

- Aghajani Hashjin, M., Zarshad, S., Motejadded Emrooz, H. B., & Sadeghzadeh, S. (2023). Enhanced atmospheric water harvesting efficiency through green-synthesized MOF-801: a comparative study with solvothermal synthesis. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-44367-1>
- Liu, X., Gao, H., Sun, L., & Yao, J. (2023). Generic Air-Gen Effect in Nanoporous Materials for Sustainable Energy Harvesting from Air Humidity. *Advanced Materials*. <https://doi.org/10.1002/adma.202300748>
- Lu, W., Ong, W. L., & Ho, G. W. (2023). Advances in harvesting water and energy from ubiquitous atmospheric moisture. In *Journal of Materials Chemistry A* (Vol. 11, Issue 24, pp. 12456–12481). Royal Society of Chemistry. <https://doi.org/10.1039/d2ta09552a>
- Meng, Y., Dang, Y., & Suib, S. L. (2022). Materials and devices for atmospheric water harvesting. In *Cell Reports Physical Science* (Vol. 3, Issue 7). Cell Press. <https://doi.org/10.1016/j.xcrp.2022.100976>
- Yang, K., Pan, T., Lei, Q., Dong, X., Cheng, Q., & Han, Y. (2021). A Roadmap to Sorption-Based Atmospheric Water Harvesting: From Molecular Sorption Mechanism to Sorbent Design and System Optimization. In *Environmental Science and Technology* (Vol. 55, Issue 10, pp. 6542–6560). American Chemical Society. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c00257>
- Zhang, Y., Nandakumar, D. K., & Tan, S. C. (2020). Digestion of Ambient Humidity for Energy Generation. In *Joule* (Vol. 4, Issue 12, pp. 2532–2536). Cell Press. <https://doi.org/10.1016/j.joule.2020.10.003>
- Zu, Y., Hu, J., Yang, M., Duan, Z., Zhang, M., Yuan, Z., Jiang, Y., & Tai, H. (2024). Electrochemical power generation humidity sensor based on WS2 nanoflakes. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 405. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2024.135325>

Evaluación clínica y herramientas educativas en neuropatía diabética.

ELFT. Jorge Herrera Espinosa³ (jherrera44@alumnos.uaq.mx) ELFT. Alexa Mariel Muñoz Vázquez⁴ (a2233520336@alumnos.uat.edu.mx), ELFT. Karen Janet Navarro García³, Dra. María Carlota García Gutiérrez¹, Dra. Iza Fernanda Pérez Ramírez², MIM. Verónica Hernández Valle³, MIM. Eustolia Pedroza Vargas³, MCNH. Alejandra Torres Narváez^{1,3} ✉ (alejandra.torres@uaq.edu.mx).

¹ Facultad de Medicina, Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), ² Facultad de Química, UAQ, ³ Facultad de Enfermería, UAQ, ⁴ Universidad Autónoma de Tamaulipas.

Resumen

El presente reporte recopila las habilidades teórico-prácticas adquiridas para la evaluación de la neuropatía diabética como preparación para la siguiente fase del proyecto de investigación. Se realizaron comparativas fisiopatológicas, se desarrollaron materiales gráficos para la educación del paciente con el fin de favorecer la comprensión y se elaboraron narrativas para el análisis de evidencia clínica que facilitaron la interpretación de la sintomatología y de las estrategias de abordaje terapéutico. De esta manera, se consolidó la capacidad de seleccionar y destacar hallazgos durante la aplicación de escalas, identificar signos y síntomas, así como reconocer su relevancia en la evolución de la patología y la importancia de un tratamiento precoz y oportuno. Las actividades efectuadas establecieron bases para el diseño metodológico, la aplicación de técnicas de neurodinamia y el análisis de información clínica, contribuyendo al desarrollo de habilidades de

investigación y a la mejora de la calidad de futuros trabajos.

Abstract

This report summarizes the theoretical and practical skills acquired for the evaluation of diabetic neuropathy as preparation for the next phase of the research project. Pathophysiological comparisons were conducted, patient education was enhanced through graphic materials designed to improve understanding, and narratives were developed for the analysis of clinical evidence, which facilitated the interpretation of symptomatology and therapeutic strategies. These activities consolidated the ability to identify and highlight findings during the application of scales, to detect signs and symptoms, and to recognize their relevance in the progression of the pathology, as well as the importance of early and timely treatment. The work carried out established the basis for methodological design, the application of neural mobilization, and the analysis of clinical information, contributing to the development of research skills and the improvement of the quality of future studies.

Palabras clave

Neuropatía diabética; diabetes mellitus; movilización neural; fisioterapia

Key words

Diabetic neuropathy; diabetes mellitus; neural mobilization; physiotherapy

Introducción

La diabetes mellitus es un trastorno metabólico caracterizado por la presencia de hiperglucemia debido a las deficiencias en la secreción o actividad de la insulina. Los tipos más común de diabetes son diabetes mellitus tipo 1 (DM1) y diabetes mellitus tipo 2 (DM2), y la característica principal es la disfunción o la destrucción de las células beta pancreáticas (OPS, 2020).

La neuropatía periférica diabética (NPD) es una de las complicaciones más comunes de la diabetes mellitus (DM). La NPD es el principal factor de riesgo de úlceras del pie diabético (Ashoori et al., 2024). Esta patología causa daño en fibras sensitivas, motoras y autonómicas del sistema nervioso periférico predominante en miembros inferiores (Velasco et al., 2016).

La neurodinamia es una técnica manual que busca restaurar la movilidad, elasticidad y la función del sistema nervioso periférico mediante manipulaciones específicas. Se basa en dos aspectos principales, la movilización tensora y movilización deslizante. La movilización tensora refiere a inducir tensión sobre el tronco nervioso mediante movimientos articulares en la misma dirección y la movilización deslizante produce un deslizamiento neural con movimientos articulares en direcciones opuestas (Ashoori et al., 2024).

La detección temprana de la neuropatía es de gran importancia en fisioterapia, ya que permite conocer la evolución de la condición, determinar qué escalas aplicar y establecer la manera adecuada de llevarlas a cabo. Asimismo, resulta fundamental contar con la capacidad de desarrollar un diagnóstico diferencial en la evaluación clínica, junto con las competencias necesarias para evidenciar la complicación a partir de la sintomatología y la historia clínica.

Objetivo general

Desarrollar habilidades en la aplicación evaluativa e intervención fisioterapéutica para detectar daño en fibras nerviosas ocasionadas por la diabetes.

Objetivos específicos

1. Comparar la fisiopatología de DM1 y DM2 para evidenciar signos y síntomas

característicos entre cada una y llevar a cabo interpretaciones tempranas.

2. Seleccionar escalas convenientes para la evaluación justificando su aplicación.
3. Desarrollar habilidades investigativas vinculadas a un estudio clínico mediante el análisis crítico de la literatura y de la evidencia científica sobre neuropatía diabética y neurodinamia
4. Generar herramientas educativas para pacientes sobre detección y riesgos en neuropatía, en lenguaje claro.

Metodología

Se realizó una búsqueda en PubMed, ScienceDirect, SpringerLink y Wiley Online Library (términos: *diabetic neuropathy, neural mobilization/neurodynamics, physiotherapy*). (i) Se elaboró un cuadro comparativo DM1–DM2 con diferencias fisiopatológicas y signos/síntomas tempranos y tardíos; (ii) se compararon escalas clínicas para neuropatía diabética y se justificó su selección por año, utilidad, recomendaciones de uso, sensibilidad, especificidad y tiempo estimado de aplicación (estimado mediante escenarios con sujetos sanos); (iii) se realizó revisión crítica de literatura sobre neuropatía diabética y neurodinamia/movilización neural, con extracción de datos sobre indicaciones, contraindicaciones y consideraciones de seguridad; y (iv) se diseñó un recurso educativo para pacientes (Figura 1) y se creó la página web del estudio clínico para iniciar la fase clínica y centralizar objetivo, criterios y vías de contacto, con participación de las/los estudiantes como colaboradores.

Resultados

Se revisaron 19 artículos sobre neuropatía diabética y neurodinamia aplicables a la evaluación e intervención clínica. (i) El cuadro comparativo entre DM1 y DM2 evidenció diferencias fisiopatológicas y clínicas; la información se extrajo de diversas bases de datos y organizaciones para mejorar la

comprensión de la enfermedad, su fisiopatología y sus complicaciones, distinguiendo las diferencias más relevantes (Tabla 1).

Tabla 1. Cuadro comparativo entre DM1 y DM2

Diabetes Mellitus Tipo 1	Diabetes Mellitus tipo 2
Enfermedad autoinmune crónica en la que el páncreas pierde la capacidad de generar insulina (Yavuz, 2022).	Presencia de altos niveles de glucosa en sangre debido a la resistencia del organismo a la insulina. (Yavuz, 2022).
Su incidencia aumenta con la edad, alcanza su pico alrededor de los 10 a los 14 años, mayormente en hombres (Sempere-Bigorra et al., 2021).	El pico de su incidencia es entre los 55 y los 59 años, mayormente en hombres (Sempere-Bigorra et al., 2021).
La prevalencia de neuropatía periférica diabética es del 6% al inicio de la enfermedad, aumentando al 30% tras 13-14 años de progresión (Sempere-Bigorra et al., 2021).	La prevalencia de neuropatía periférica diabética es de 26% (Sempere-Bigorra et al., 2021).
Niveles altos de adiponectina (Sempere-Bigorra et al., 2021).	Niveles altos de proteína C-reactiva, IL-6, IL-18, E Selectina, ICAM-1 (Sempere-Bigorra et al., 2021).
Afectación estructural más severa de axones, suelen mostrarse más en	Afectación funcional inicial leve, después daño metabólico,

fibras grandes, afectando la percepción de la vibración y los reflejos (Sempere-Bigorra et al., 2021) (Jensen, 2023).	predominan lesiones hipointensas asociadas a lípidos, mayor daño en fibras pequeñas afectando la sensibilidad térmica (Sempere-Bigorra et al., 2021).
La prevención de la progresión de la polineuropatía diabética se puede dar por un mejor control glucémico (Bodman et al., 2024b).	La prevención de la progresión de la polineuropatía diabética se puede dar por un mejor control glucémico sumado del control de la presión arterial, obesidad y dislipidemias. (Yavuz, 2022).

Elaborado por Karen Navarro y Jorge Herrera, 2025

En perfiles típicos de DM2, la afectación temprana de fibras pequeñas priorizó la evaluación de sensibilidad vibratoria y térmica, mientras que en DM1 se vigilaron vibración y reflejos por afectación de fibras grandes, orientando el interrogatorio y la exploración clínica. (ii) Se recopiló información sobre escalas estandarizadas para la evaluación de neuropatía diabética; las escalas se extrajeron de artículos para observar formatos y aplicaciones, e incluyeron la escala de Toronto modificada (mTNCS), la escala de neuropatía temprana de Utah (UENS) y el instrumento de detección de neuropatía de Michigan (MNSI). En mTNCS se determinó un tiempo de aplicación de 8 minutos con uso de cuestionario e instrumentación adecuados; se estudió en polineuropatía relacionada con diabetes, con sensibilidad del 97% y especificidad del 85.7% (Idiaquez et al., 2023). En UENS se determinó un tiempo aproximado de 8 minutos para completar cuestionario y exploración; se aplicó en pacientes con neuropatía con sintomatología >5 años, con especificidad del 81–94% (Singleton et al., 2008). El MNSI fue la última escala seleccionada; se determinó

un tiempo de 10 minutos por mayor número de reactivos y se aplicó en pacientes con DM1, con sensibilidad del 45–46% y especificidad del 87–92% (Herman et al., 2012). Estas escalas constituyeron una selección útil para la evaluación temprana, permitiendo comparar aplicaciones en la práctica y reconocer diversas formas de exploración física sustentadas en evidencia clínica. (iii) Se elaboró una revisión de la técnica de neurodinamia en pacientes con NPD; el análisis incluyó descripciones generales, evidencia en pacientes, escenarios clínicos, eficacia y limitaciones. La evidencia indicó que la neurodinamia fue efectiva para disminuir hormigueo, dolor y calambres; además, aumentó la sensibilidad táctil, térmica y vibratoria y mejoró fuerza, rango de movimiento y velocidad de conducción nerviosa, favoreciendo marcha y equilibrio (Sharma & Kalia, 2023). La técnica dependió del nervio tratado; por ejemplo, para el nervio tibial se realizó en decúbito lateral con cadera en flexión de 80°, rodilla en extensión y dorsiflexión, seguida de movimientos en sentido contrario. La movilización neural se basó en el flujo axoplásmico y la vascularización del nervio y mejoró el transporte axonal, permitiendo soportar mejor fricción, compresión y tracción (Ashoori et al., 2024). Dado que existen variaciones de protocolo y tamaños muestrales heterogéneos, los hallazgos deben interpretarse con cautela (Coppeters & Butler, 2008). (iv) Se diseñó un material educativo para pacientes en formato de infografía (Figura 1), donde se mencionó qué es la diabetes, cómo se origina la neuropatía, cómo detectarla y la importancia de atenderse; la infografía convirtió términos técnicos a lenguaje sencillo y evitó el acúmulo de información y tecnicismos para favorecer la concientización sobre chequeos rutinarios y detección temprana. También se desarrollaron habilidades para traducir textos extensos a párrafos claros y de fácil comprensión, plasmados en diseños atractivos. Al cierre del periodo, quedó habilitada la página web del estudio clínico para iniciar la fase clínica y centralizar objetivo, criterios generales y vías de contacto, integrando a las/los estudiantes como colaboradores.

Estos recursos tienen la finalidad de agilizar la aplicación en pacientes reales y desenvolver un papel más participativo y dirigido a la siguiente fase clínica del proyecto de investigación.

Discusión y conclusiones

La extracción de información y las prácticas realizadas mostraron la posibilidad de participación del fisioterapeuta en la detección y abordaje de la neuropatía diabética. Se reconoció la relevancia de identificar de manera temprana signos y síntomas característicos de esta complicación, utilizando herramientas adecuadas para cada contexto. Esto permitió plantear escenarios de exploración física e interrogatorio, así como posibles intervenciones iniciales de neurodinamia de baja carga, siempre bajo la supervisión adecuada. También se subrayó la importancia de la educación al paciente frente a cualquier indicio de sospecha o detección precoz.

El formato en que se elaboraron los documentos evidenció la necesidad de indagar más a fondo y de generar escritos con mayor nivel de análisis. Esta experiencia resultó de gran utilidad como retroalimentación para los siguientes avances del proyecto de investigación. Se destacó que la práctica es fundamental para un correcto abordaje, pero que sin el sustento teórico los procedimientos carecen de fundamento y dirección.



Figura 1 Elaborado por Karen Navarro y Jorge Herrera, 2025

Agradecimientos

Se agradece al Programa Verano de la Ciencia UAQ 2025, al Laboratorio de Ciencias Básicas de la Licenciatura de Fisioterapia y a MCNH. Alejandra Torres Narváez encargada del programa de verano por permitir participar en este proyecto.

Referencias

- Ashoori, M., Pourahmadi, M., Hashemi, S. E., Dadgoo, M., & Hosseini, M. S. (2024). The effectiveness of neurodynamic techniques in patients with diabetic peripheral neuropathy: Study protocol for a randomized sham-controlled trial. *Advanced Biomedical Research*, 13. https://doi.org/10.4103/abr.abr_180_23
- Bodman, M. A., Dreyer, M. A., & Varacallo, M. A. (2024b, febrero 25). *Diabetic peripheral neuropathy*. StatPearls - NCBI Bookshelf. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK442009/>
- Herman, W. H., Pop-Busui, R., Braffett, B. H., Martin, C. L., Cleary, P. A., Albers, J. W., & Feldman, E. L. (2012). Use of the Michigan Neuropathy Screening Instrument as a measure of distal symmetrical peripheral neuropathy in Type 1 diabetes: results from the Diabetes Control and Complications Trial/Epidemiology of Diabetes Interventions and Complications. *Diabetic Medicine*, 29(7), 937-944. <https://doi.org/10.1111/j.1464-5491.2012.03644.x>
- Idiaquez, J. F., Alcantara, M., & Bril, V. (2023). Optimal cut-off value of the modified Toronto Clinical Neuropathy Score in the diagnosis of polyneuropathy. *European Journal Of Neurology*, 30(8), 2481-2487. <https://doi.org/10.1111/ene.15870>
- Jiménez-Castillo, G. A., Martínez-Bravo, L. E., & Anaya-Escamilla, A. (2023). Neuropatía Diabética: Una revisión narrativa de fisiopatología, diagnóstico y tratamiento. *Acta Médica Peruana*, 40(3), 243-251.
- Organización Panamericana de la Salud. (2020). Diagnóstico y manejo de la diabetes de tipo 2 (HEARTS-D) (p. 12). OPSWNMHN200043_spa.pdf

Pedrosa, H. C., Braver, J. D., Rolim, L. C., Schmid, H., Calsolari, M., Fuente, G., & Odriozola, A. (2019). Neuropatía diabética. *Revista Alad*, 9, 72-91.

Velasco, M. B., Rodríguez, D. C., Montalbán, A. R., Jiménez, S. V., & De Valderrama Martínez, I. F. (2016). Actualización en el diagnóstico, tratamiento y prevención de la neuropatía diabética periférica. *Angiología*, 69(3), 174-181. <https://doi.org/10.1016/j.angio.2016.06.005>

Sharma, S., & Kalia, V. (2023). Effect of tibial nerve mobilization on balance & gait functions in subjects with subclinical diabetic neuropathy: A randomized clinical trial. *Journal Of Diabetes & Metabolic Disorders*, 22(2), 1283-1290. <https://doi.org/10.1007/s40200-023-01246-w>

Sempere-Bigorra, M., Julián-Rochina, I., & Cauli, O. (2021). Differences and Similarities in Neuropathy in Type 1 and 2 Diabetes: A Systematic Review. *Journal Of Personalized Medicine*, 11(3), 230. <https://doi.org/10.3390/jpm11030230>

Singleton, J. R., Bixby, B., Russell, J. W., Feldman, E. L., Peltier, A., Goldstein, J., Howard, J., & Smith, A. G. (2008). The Utah Early Neuropathy Scale: a sensitive clinical scale for early sensory predominant neuropathy. *Journal Of The Peripheral Nervous System*, 13(3), 218-227. <https://doi.org/10.1111/j.1529-8027.2008.00180.x>

Yavuz, D. G. (2022). Classification, risk factors, and clinical presentation diabetic neuropathy. En *Elsevier eBooks* (pp. 1-9). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-820669-0.00014-1>

Uso de una celda electroquímica para la biorremediación de suelo contaminado con hidrocarburos

NIEVES RAMÍREZ, Karla Jazmín¹
PALMERÍN CARREÑO, Dulce María¹

¹Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Química-Campus Centro Universitario. knieves27@alumnos.uaq.mx

²Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Química-Campus Pedro Escobedo. dulce.palmerin@uaq.mx

Resumen

La contaminación de suelo por hidrocarburos representa uno de los principales desafíos ambientales debido a su toxicidad y efecto acumulativo. Estos compuestos afectan negativamente las propiedades fisicoquímicas del suelo y la biodiversidad microbiana, animal y vegetal. El presente estudio se enfoca en evaluar la eficacia de una celda electroquímica mediante la aplicación de una corriente eléctrica, específicamente para medir la degradación de hidrocarburos en una muestra de suelo contaminado procedente del Municipio de Pedro Escobedo. La concentración de hidrocarburos durante el tratamiento se determinó a partir de la técnica de extracción Soxhlet. La aplicación de corriente eléctrica duró 13 días (3,2 V – 10 V), modificando las interacciones del suelo. El tratamiento bioelectroquímico reflejó que hubo una reducción del 39 % en la concentración de hidrocarburos, es decir, se generó un cambio de 23 ppm $\pm$ 0.0359 % a 14 ppm $\pm$ 0.0018 %. Además, se determinó cualitativamente la presencia de NPK. Esta metodología propone ser una herramienta para la degradación de hidrocarburos contenidos en suelos contaminados utilizando una celda electroquímica.

Palabras clave: Hidrocarburos, Soxhlet, suelo, biorremediación, celda electroquímica.

Abstract

Soil contamination by hydrocarbons represents one of the major environmental challenges due to their toxicity and cumulative effect. These compounds negatively affect the physicochemical properties of the soil as well as the microbial, animal, and plant biodiversity. The present study focuses on evaluating the effectiveness of an electrochemical cell through the application of an electric current, specifically to assess the degradation of hydrocarbons in a contaminated soil sample from the Municipality of Pedro Escobedo. Hydrocarbon concentration during treatment was determined using the Soxhlet extraction technique. The application of electric current lasted for 13 days (3.2 V–10 V), modifying soil interactions. The electrochemical treatment resulted in a 39% reduction in hydrocarbon concentration, corresponding to a decrease from 23 ppm $\pm$ 0.0359% to 14 ppm $\pm$ 0.0018%. In addition, the qualitative presence of NPK was determined. This methodology is proposed as a tool to hydrocarbon degradation in contaminated soils using an electrochemical cell.

Keywords: Hydrocarbons, Soxhlet extraction, soil, bioremediation, electrochemical cell.

I. Introducción

La contaminación del suelo por hidrocarburos representa uno de los principales desafíos ambientales a nivel global, debido a su toxicidad y efecto acumulativo en los ecosistemas. Estos compuestos, derivados principalmente de actividades petroleras, industriales y de transporte, alteran las propiedades fisicoquímicas del suelo y afectan negativamente la biodiversidad microbiana, animal y vegetal. La fracción más preocupantes de este tipo de compuestos son los hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAHs), los cuales son reconocidos por su elevada estabilidad y por su potencial mutagénico y cancerígeno. (Kumar, 2016).

La biodegradación de hidrocarburos es un proceso multifactorial. Depende de la cantidad y composición de los hidrocarburos, de las condiciones ambientales (temperatura, pH, humedad, oxígeno) y, crucialmente, de la diversidad y abundancia de la comunidad microbiana. No obstante, en espacios altamente contaminados, principalmente, la actividad microbiana se ve limitada, lo que reduce significativamente la eficiencia del proceso. (Oña & Gualoto, 2022).

En los últimos años se ha demostrado que el proceso de biodegradación puede potenciarse mediante la aplicación de corriente eléctrica, ya que microorganismos anaerobios y aerobios participan directamente en la transferencia de electrones. Los sistemas bioelectroquímicos (BES) emplean a los microorganismos como biocatalizadores para impulsar reacciones de oxidación y reducción en electrodos de estado sólido, permitiendo así la conversión de energía química en energía eléctrica. (Cui et al., 2021; Zheng et al., 2020).

Entre los BES se encuentran las celdas de electrólisis microbiana, las cuales producen hidrógeno mediante la aplicación de un voltaje externo que favorece las reacciones de reducción en el cátodo, mientras que en el ánodo los microorganismos oxidan los sustratos orgánicos. (Tian et al., 2024). En este contexto, una alternativa prometedora frente a esta problemática ambiental es el uso de tecnologías electroquímicas emergentes, como las celdas bioelectroquímicas, que resultan especialmente útiles en suelos con baja permeabilidad. A través de la aplicación de un campo eléctrico (≤ 10 V/cm) y del empleo de electrodos resistentes a la corrosión (por ejemplo, los ánodos de titanio) se promueve el contacto entre los microorganismos y los contaminantes, generando un ambiente favorable para la degradación. (Murillo et al., 2009).

Para estudiar la eficacia de una celda bioelectroquímica, se evaluará el consumo de hidrocarburos en suelos contaminados aplicando una corriente eléctrica para potenciar la actividad microbiana y la movilidad de los contaminantes. Además, se determinará cualitativamente la presencia de Nitrógeno, Fósforo y Potasio (NPK) en el suelo y se registrará la temperatura, el pH y la humedad durante todo el tratamiento.

II. Metodología

II.1 Extracción del consorcio a partir de una muestra de suelo contaminado del Municipio de Pedro Escobedo

Para recuperar el consorcio microbiano de la tierra contaminada se prepararon 10 ml de NaCl al 1 %. En seguida, se agregó 1 g de tierra contaminada. Se agitó vigorosamente y se recuperó el sobrenadante. Microbiológicamente, para permitir el crecimiento del consorcio se utilizó agar PDA y medio PDA líquido.

II.2 Extracción de hidrocarburos para su cuantificación

En el proceso se utilizó la técnica de extracción Soxhlet. La cual se basa en realizar extracciones a la muestra tratada con un determinado solvente de polaridad afin con los o el compuesto de interés en un sistema de reflujo. Una muestra tratada y seca fue empacada dentro de papel filtro con sulfato de sodio anhidro (Na_2SO_4) en una relación 1:1. Se realizaron duplicados de cada extracción (14 muestras en total). En este proceso se utilizó diclorometano como solvente en todas las extracciones.

II.3 Tratamiento mediante una celda electroquímica

Primeramente se llenó la celda electroquímica con tierra contaminada y se tomó una muestra de suelo para medir la concentración inicial de hidrocarburos antes del tratamiento. Después, se inoculó la celda con 50 ml de medio previamente preparado y se distribuyeron 10 ml de buffer $\text{KH}_2\text{PO}_4\text{-NaOH}$ 0.1 M pH 7.0. Se mantuvo el cultivo en proliferación por 5 días sin corriente eléctrica. Culminados los días de

crecimiento sin corriente eléctrica, se tomó una muestra para medir la concentración de hidrocarburos, así como los niveles de pH, temperatura y humedad con un medidor multiparamétrico modelo SR300. La muestra se dejó secar a temperatura ambiente por 48 h. Enseguida, se inició la aplicación de corriente eléctrica sobre la celda electroquímica, a un voltaje de 3.2V y a los siete días de la cinética se incrementó el voltaje a 10V. La cinética se evaluó durante trece días.

II.4 Determinación del consumo de hidrocarburos durante el tratamiento electroquímico
Se registraron las absorbancias de la cinética utilizando un espectrofotómetro de placas. Se seleccionó una longitud de onda de 250 nm, correspondiente a la región en la que los compuestos de interés presentan una alta absorción.

II.6 Determinación cualitativa de NPK durante el tratamiento

Para determinar la presencia de Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K) en el suelo para todo el tratamiento, se utilizó el kit colorimétrico HI 3896 de Hanna Instruments, el cual permite realizar una estimación cualitativa de estos nutrientes. En la Figura 1 se observa de forma condensada la generalidad metodológica del estudio.

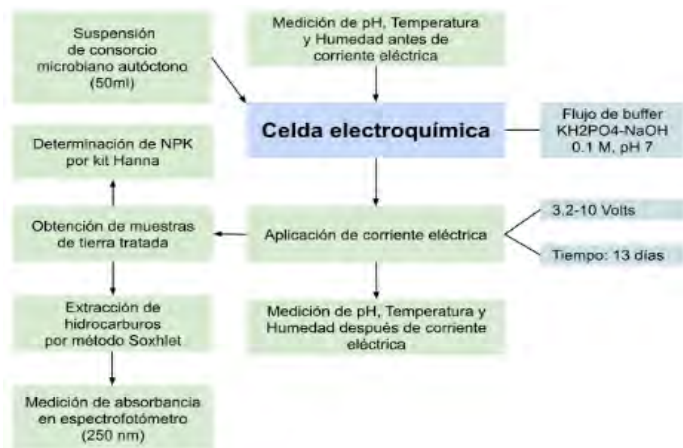


Figura 1. Esquema general para biorremediación de suelos contaminados.

III. Resultados

III.1 Consumo de hidrocarburos durante tratamiento

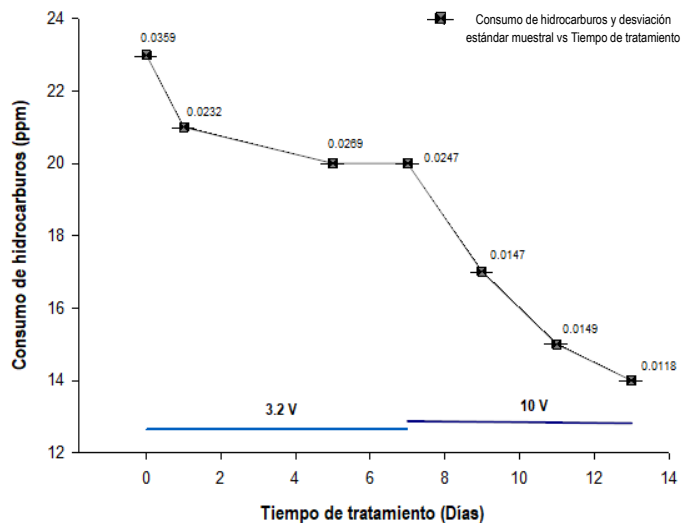


Figura 2. Cinética de consumo de hidrocarburos durante el tratamiento bioelectroquímico.

En el transcurso del tratamiento evaluado se realizó una modificación del voltaje aplicado a la celda electroquímica. Esto, porque en los días cinco y siete se obtuvieron valores similares en la concentración de hidrocarburos. (Figura 2). La gráfica muestra que en los primeros 7 días, bajo un voltaje de 3.2 V, la concentración de hidrocarburos disminuyó aproximadamente un 13 % con respecto al total de hidrocarburos degradados al final del tratamiento. A partir del séptimo día, al incrementar el voltaje a 10 V, se observó una decadencia más relevante en la concentración de estos compuestos, alcanzando así una reducción de aproximadamente 26 %.

III.2 Medición de Temperatura, pH y Humedad durante el tratamiento

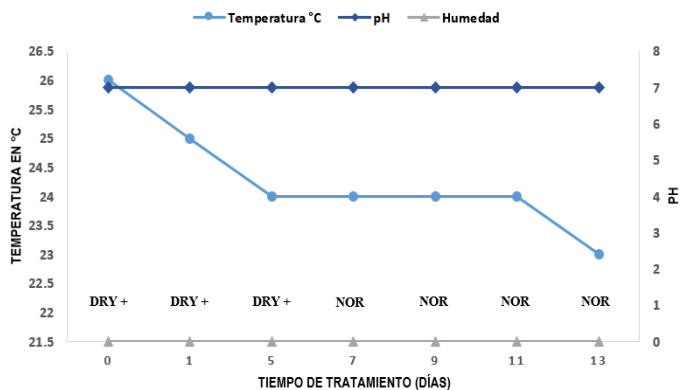


Figura 3. Temperatura, pH y Humedad durante el tratamiento.

La Figura 3, representa el comportamiento de los tres factores estudiados durante todo el tratamiento, es decir, el cambio significativo de la temperatura, pH y humedad. La temperatura comenzó en 26 °C el primer día y luego descendió y se mantuvo en 24 °C hasta el día 11. Por otro lado, el pH se mantuvo completamente estable en un valor de 7.0 durante el tratamiento. Finalmente, la humedad fue "DRY+" para los primeros cinco días y cambió a "NOR" a partir del día 7 hasta el final del estudio. Este cambio no tuvo un impacto negativo en los valores de pH y la temperatura continuó su tendencia descendente.

III.3 Intervalo cualitativo de Nitrógeno, Fósforo y Potasio durante el tratamiento

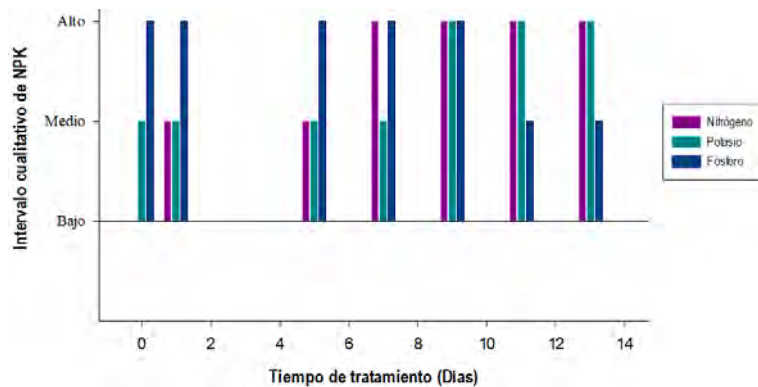


Figura 4. Medición cualitativa de NPK durante el tratamiento.

Con base a la escala cualitativa del kit Hanna se evaluó el cambio de nivel de NPK durante el experimento. Como se puede observar en la figura 4, en el día cero, se observó que el nivel de Nitrógeno fue bajo y presentó un aumento a nivel medio hasta el día 5. Nitrógeno y Potasio subieron a un nivel alto hasta finalizar el tratamiento. Mientras que para el Fósforo el nivel fue alto desde el día cero hasta el día siete, sin embargo, para el día nueve hubo un cambio, a partir de ese día se mantuvo

IV. Discusión

Durante el tratamiento se utilizó suelo contaminado del Municipio de Pedro Escobedo inoculado con un consorcio microbiano autóctono. Este consorcio fue evaluado anteriormente mediante técnicas microbiológicas demostrando que se tienen bacterias Gram (+) y Gram (-). Sin embargo, (Hassan et al, 2021) menciona que, a través de la respiración anódica, ciertas especies microbianas, conocidas como exoelectrógenos han sido identificadas como microorganismos electroactivos. Los cuales tienen la capacidad de transferir electrones extracelularmente a materiales conductores directamente sin mediadores. También, se menciona que bacterias como *Pseudomonas*, *Diaphorobacter*, *Thauera* y *Lysobacter* y hongos como *Aspergillus*, *Penicillium* y *Gliocladium*, tienen la capacidad de degradar hidrocarburos complejos. Por tanto, es probable que alguno de estos microorganismos estuviera presente en el consorcio utilizado.

Los resultados reflejan que la remoción de hidrocarburos se llevó a cabo satisfactoriamente con un cambio de 23 ppm $\pm$ 0.0359 % a 14 ppm $\pm$ 0.0018 % a 13 días. El tratamiento electroquímico reflejó que hubo una reducción del 39 %. Dicha aplicación electroquímica evidencia una cinética de degradación relativamente rápida en comparación con otros tratamientos. Este comportamiento puede compararse con lo reportado por (Tian et al., 2024) donde evaluaron sistemas electroquímicos biológicos de sedimentos (SBES). Indican que los SBES podrían degradar eficazmente los HAP tanto en condiciones anaeróbicas como aeróbicas.

Resaltando que, en condiciones anaeróbicas, las tasas de degradación de naftaleno, acenafteno y fenantreno fueron del 76,9 %, 52,5 % y 36,8 %, respectivamente. Y que, de manera similar, se logró una degradación efectiva de naftaleno (41,7 %), acenafteno (31,4 %) y fenantreno (36,2 %) en condiciones aeróbicas. La variación en estas tasas de eliminación puede atribuirse al hecho de que los aceptores terminales de electrones en condiciones anaeróbicas, como los nitratos y sulfatos, pueden promover la degradación de los HAP.

Por otro lado **(Noori et al., 2022)** menciona que el rendimiento de estas tecnologías depende del diseño del reactor, la modificación de electrodos, la optimización de parámetros, la conductividad eléctrica y la difusión de masa en el suelo, entre otros, lo que sugiere que la aplicación de la celda electroquímica utilizada en el presente trabajo podría perfeccionarse mediante el ajuste de estos factores.

En cuanto a los parámetros evaluados, la temperatura se mantuvo prácticamente constante, con ligeras variaciones de 1 °C. Diversos estudios han demostrado que la biodegradación de hidrocarburos es significativamente más eficiente bajo condiciones moderadas, entre 20 y 30 °C. Por lo tanto, las temperaturas registradas entran dentro del rango anteriormente mencionado. Por el contrario, se ha reportado que el valor óptimo de pH para la actividad microbiana involucrada en procesos de biorremediación se encuentra entre 6 y 8. **(Chang, 2020)**. En el presente estudio, el pH se mantuvo en 7, valor que se encuentra dentro del intervalo ideal para favorecer la biodegradación sin comprometer el crecimiento ni la actividad metabólica de los microorganismos implicados. En cuanto a la humedad, el contenido sugerido para una eficiente biorremediación varía entre 50 y 80 %. **(Salinas et al., 2020)**. A partir del manual del medidor multifuncional se concluyó que el suelo tenía entre 10 y 20 % de humedad, lo que sugiere que fue insuficiente el aporte de agua por medio del amortiguador en la celda electroquímica. Esta baja humedad pudo haber afectado la degradación de hidrocarburos.

Ahora, si bien el tratamiento produce una liberación notable de NPK, los resultados del kit de prueba se limitan a categorías cualitativas como "trazas", "bajo", "medio" y "alto". Al no tener valores numéricos exactos, estos resultados no pueden compararse de forma cuantitativa con otros estudios que utilicen mediciones precisas. El objetivo del kit es dar una idea general de las alteraciones de los nutrientes en el suelo para tomar decisiones de fertilización rápidas y básicas. **(Hanna Instruments, s. f)**. A pesar de ello, basándose en la bibliografía, el aumento progresivo de Nitrógeno y de Potasio sugiere procesos de mineralización y liberación por intercambio catiónico, que suelen favorecer su disponibilidad sostenida. **(Libretexts, 2022)**.

En contraste, el Fósforo, inicialmente alto disminuyó a nivel medio, probablemente por fijación en óxidos metálicos o precipitación con calcio, lo que limita su movilidad. Estos resultados coinciden con estudios que reportan liberación más rápida de N y K frente a la retención química del P, con implicaciones para la sincronización de nutrientes en sistemas de cultivo. **(Johan et al., 2021)**.

V. Conclusión

El potencial de la celda bioelectroquímica logró reducir un 39 % la concentración de hidrocarburos en suelo contaminado. La aplicación de corriente eléctrica favoreció la degradación sin afectar la disponibilidad de NPK.

En el estudio se observó un bajo nivel de humedad en el suelo tratado. Por ello, la capacidad de modificar la humedad del proceso es una ventaja clave que permitirá en próximas pruebas optimizar y/o aumentar la actividad microbiana y, por ende, alcanzar mejores resultados en la bioremediación de suelos contaminados.

Este enfoque se distingue por su carácter sostenible y respetuoso con el medio ambiente. Sentando las bases para futuras investigaciones y aplicaciones, tales como el escalamiento del sistema para su uso en campo y la exploración de su aplicación en la degradación de otros contaminantes orgánicos.

VI. Agradecimientos

Mi más sincero agradecimiento a la Facultad de Ciencias Naturales de la Universidad Autónoma de Querétaro, a la Dra. Dulce Palmerín Carreño y a mis compañeros de laboratorio.

VII. Referencias bibliográficas

Arcila, L. A. (2016). Análisis comparativo de la eficiencia de productos para la biorremediación de suelos contaminados con diésel utilizando métodos de bioestimulación y bioaumentación a escala piloto. UN 1202. <https://hdl.handle.net/20.500.14625/20523>

Chang Huayasco, I. W. (2020). Biorremediación de suelos contaminados con hidrocarburo mediada por pseudomonas spp. en biorreactores. [Tesis de doctorado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS.

Cui, M.-H., Liu, W.-Z., Tang, Z.-E., & Cui, D. (2021). Recent advancements in azo dye decolorization in bio-electrochemical systems (BESs): Insights into decolorization mechanism and practical application. *Water Research*, 203, 117512. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117512>

Hanna Instruments. (s.f.). Kit Químico de Pruebas de Suelo para NPK. HI3896. [Ficha técnica]. Recuperado de <https://cl.fichapublica.com/>

Hassan, R. Y. A., Febbraio, F., & Andreescu, S. (2021). Microbial Electrochemical Systems: Principles, Construction, and Biosensing Applications. *Sensors*, 21(4), 1279. <https://doi.org/10.3390/s21041279>

Johan, P. D., Ahmed, O. H., Omar, L., & Hasbullah, N. A. (2021). Transformación del fósforo en suelos tras la aplicación conjunta de carbón vegetal y ceniza de madera. *Agronomía*, 11(10), 2010. <https://doi.org/10.3390/agronomy11102010>

Libretexts. (2022). 1.7: Ciclo de nutrientes del suelo. LibreTexts Español. https://espanol.libretexts.org/Bookshelves/Geociencias/Ciencia_del_Suelo/Excavando_en_suelos_canadienses%3A_una_introducci%C3%B3n_a_la_ciencia_del_suelo/01%3A_Excavando/1.07%3A_Ciclo_de_Nutrientes_del_Suelo

Murillo Rivera, I., Labastida, J., Barrón, M., Oropeza Guzmán, M. T., González, I., & Teutli-Leon, M. M. M. (2009). Influence of anolyte and catholyte composition on TPHs removal from low permeability soil by electrokinetic reclamation. *Electrochimica Acta*, 54(7), 2119-2124. <https://doi.org/10.1016/j.electacta.2008.09.054>

Noori, M. T., Thatikayala, D., & Min, B. (2022). Remediación bioelectroquímica para la eliminación de contaminantes de hidrocarburos de petróleo en el suelo. *Energies*, 15(22), 8457. <https://doi.org/10.3390/en15228457>

Oña Rocha, T., & Gualoto Oñate, M. (2022). Biorremediación ambiental: La Biodiversidad al Servicio del Ambiente. Ed. Universidad Técnica del Norte (UTN).

Patra, A., Kumar, S., Gautam, P., & Kumar, P. (2016). Emissions and human health impact of particulate matter from surface mining operation: A review. *Environmental Technology & Innovation*, 5, 233-249. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2016.04.002>

Salinas Alvan, J. P., & Sarmiento Sarmiento, R. (2020). Biorremediación de HAPs en microcosmos de suelo mediante bioestimulación con nitrógeno a nivel de laboratorio. [Tesis de doctorado, Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca]. Repositorio Institucional UPS.

Tian, Y., Wang, R., Ji, M., Tian, R., Wang, R., Zhang, B., Wang, S., & Liu, L. (2024). The Degradation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons by Biological Electrochemical System: A Mini-Review. *Water*, 16(17), 2424. <https://doi.org/10.3390/w16172424>

Zheng, T., Li, J., Ji, Y., Zhang, W., Fang, Y., Xin, F., Dong, W., Wei, P., Ma, J., & Jiang, M. (2020). Progress and prospects of bioelectrochemical systems: Electron transfer and its applications in the microbial metabolism. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*.

Atención y codificación posicional en modelos secuenciales

Karla Paola Vieyra Camacho¹, Dr. Marco Antonio Aceves Fernandez²

¹Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro, ²Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro

Contacto: kvieyra23@alumnos.uaq.mx,
marco.aceves@uaq.edu.mx

Resumen

En este trabajo se desarrolló, desde un enfoque matemático y computacional, algoritmos enfocados en mecanismos de atención a partir de los modelos de traducción automática que se basan en secuencias. La implementación fue de manera progresiva partiendo de una construcción desde cero, como lo fue con los modelos con atención aditiva (Bahdanau), atención multi-cabeza, codificación posicional y finalmente Transformer. En cada construcción de cada modelo el objetivo siempre fue buscar comprender y descomponer cada uno de los bloques fundamentales, abordando las formulaciones algebraicas, y el papel que desempeñan funciones como la atención escalada por producto punto, softmax enmascarado y codificación seno-coseno. Asimismo, en este trabajo se incluyeron análisis cuantitativos-cualitativos mediante la visualización del entrenamiento y validación del aprendizaje del modelo, también se analizaron resultados con mapas de atención (heatmaps) y métricas como BLEU para la predicción. Estos distintos enfoques ponen en evidencia que las elecciones a partir de ciertos parámetros afectan la alineación semántica y el rendimiento del modelo. Se concluye que el estudio matemático riguroso de estos modelos es

necesario para proponer mejoras teóricas en arquitecturas futuras. Este proyecto se posiciona como una contribución formativa que combina práctica, teoría y visualización para fortalecer la comprensión de los modelos secuenciales modernos.

Abstract

This work presents the development of attention-based algorithms from both mathematical and computational perspectives, grounded in sequence-to-sequence machine translation models. The implementation followed a progressive, from-scratch approach, covering additive attention models (Bahdanau), multi-head attention, positional encoding, and ultimately the full Transformer architecture. At each stage, the objective was to understand and break down the fundamental building blocks, addressing their algebraic formulations and the role of key functions such as scaled dot-product attention, masked softmax, and sinusoidal positional encoding. In addition, both quantitative and qualitative analyses were performed through training and validation visualizations, attention heatmaps, and evaluation metrics like BLEU. These approaches highlight how specific parameter choices impact semantic alignment and model performance. It is concluded that a rigorous mathematical understanding of these models is essential to propose theoretical improvements in future architectures. This project stands as a formative contribution that combines practice, theory, and visualization to strengthen the understanding of modern sequence models.

Palabras clave: Modelos secuenciales, Aprendizaje profundo, Transformer, PyTorch.

Keywords: Sequence models, Deep learning, Transformer, PyTorch.

Introducción

Desde su aparición en el modelo Transforms [1], la atención tomo relevancia en el diseño de modelos para tareas secuenciales, desplazando a las redes neuronales recurrentes como CNN y RNN. La flexibilidad que otorga para capturar relaciones de largo alcance sin necesidad de procesamiento secuencial ha permitido avances importantes en traducción automática, modelado de lenguaje y análisis semántico [2][3].

Hoy en día podemos implementar estos modelos mediante bibliotecas de alto nivel, sin embargo para mejor entendimiento de su funcionamiento requerimos enfrentarnos ante ciertas interrogantes matemáticas que sostienen a esta arquitectura. ¿Qué implicaciones tiene escalar un producto punto? ¿Por qué usar una codificación seno-coseno? ¿Cómo se propaga la información cuando hay múltiples cabezas atendiendo en paralelo? Estas preguntas guiaron el desarrollo de este trabajo, que se propone como un ejercicio de estudio riguroso y reflexivo sobre arquitecturas modernas como Bahdanau Attention, la atención multi-cabeza y el modelo Transformer.

Objetivos

Objetivo general: analizar e implementar a nivel código los distintos mecanismos de atención utilizados en modelos secuenciales, con el fin de evaluar su desempeño en tareas de traducción automática.

Objetivos específicos:

- Implementar en Pytorch mecanismos de atención aditiva (Bahdanau), atención multi-cabeza y codificación posicional, para integrarlos en un modelo Transformer.
- Estudiar cómo distintas decisiones en la implementación afectan o mejoran el rendimiento del modelo, considerando los

patrones estadísticos aprendidos por el modelo.

- Fortalecer la comprensión integral del modelo Transformer desde un análisis de código, interpretación visual y evaluación estadística, para construir una base sólida para futuras optimizaciones.

Metodología

A lo largo del desarrollo de la implementación de los mecanismos de atención en modelos secuenciales se busco desarrollar de forma manual cada uno de los bloques clave que conforman la arquitectura Transformer, obteniendo un análisis más preciso y controlado del comportamiento del modelo durante el aprendizaje.

Este diseño nos permitió integrar desde la base, las decisiones sobre la arquitectura del código lo cual también nos permitía controlar los métodos estadísticos y las visualizaciones necesarias para evaluar el rendimiento del modelo. Esta parte fue fundamental para lograr el objetivo, ya que cada línea de código jugaba un papel en cada llamada entre clases, asimismo esto nos facilito una comprensión profunda del flujo de información y su importancia de saber controlar como se aplica.

Materiales

Todo se desarrollo en Python 3.11 utilizando PyTorch como framework de cómputo, permitiéndonos conservar el control sobre las operaciones involucradas en cada etapa del modelo. La ejecución se llevó a cabo en un equipo de cómputo personal equipada con una GPU NVIDIA GeForce GTX 1650 y 16 GB de RAM.

Por cuestiones de hacernos el trabajo práctico se incorporó un corpus de autoría propia, un conjunto de datos construido manualmente, a partir de una lista de frases predefinidas que fueron organizadas como pares (entrada-salida) para tareas de

traducción. El corpus se estructuró transformando una lista plana de cadenas en una lista de tuplas, donde cada par representa una oración en francés y su correspondiente traducción al inglés. Para evitar problemas de padding excesivo o truncamiento se controló a un máximo de 20 tokens.

Este diccionario personalizado permitió tokenizar las frases de manera consistente incluyendo el manejo explícito de tokens especiales como: <pad>, <bos>, <eos>, <unk>, entre otros. También se mantuvo un control en la frecuencia mínima para reducir el tamaño del vocabulario.

Métodos

A lo largo del trabajo fueron integrados de forma progresiva las clases que fueron programadas de manera aislada, donde se comenzó con la *atención aditiva Bahdanau*, posterior avanzamos hacia el diseño de *múltiples cabezas de atención en paralelo* también conocidas como *multi-head attention*, asimismo se realizó la incorporación de *codificación posicional* basada en funciones seno-coseno. Al finalizar la implementación de cada clase se ensambló cada clase dentro de una arquitectura *Transformer* diseñada para tareas de traducción secuencial autoregresiva.

Durante el entrenamiento se utilizaron técnicas como *teacher forcing* y un sistema de inferencia autoregresiva, también se hizo un seguimiento de las métricas *train_loss* y *val_loss* para medir la evolución del modelo en cada época, siendo más fácil identificar posible sobreajuste o aprendizaje. Como herramienta cuantitativa se aplicó la métrica BLEU para valorar la calidad de las secuencias generadas frente a las referencias esperadas.

Para desarrollar resultados cualitativos, se diseñaron funciones de visualización para representar los mapas de atención (heatmaps) generados por el decodificador, en los cuales se pudo observar como se distribuía el foco semántico

entre los tokens fuente y destino, y cómo evolucionaban los patrones de atención a lo largo de las capas y cabezas.

Resultados

Durante el entrenamiento se registraron métricas de pérdida en cada época para evaluar el desempeño estadístico del sistema, se registraron las métricas *train_loss* y *val_loss*. En cuanto a los valores que se obtuvo para *train_loss*, se observó una disminución sostenida en las primeras etapas, alcanzando niveles por debajo de 0.5, en este punto inferimos una convergencia adecuada para el conjunto del entrenamiento. Por otro lado, la pérdida de la validación se mantuvo estable hasta la época 17 y posteriormente comenzó a presentar oscilaciones, lo que sugiere la aparición de sobreajuste (overfitting), esto nos condujo a aplicar la técnica de early stopping, lo que llevó a finalizar el entrenamiento en la época 22. Este tipo de comportamiento ha sido reportado previamente en trabajos de entrenamiento con conjuntos de datos limitados [1], así es como validamos el diseño de esta ejecución.

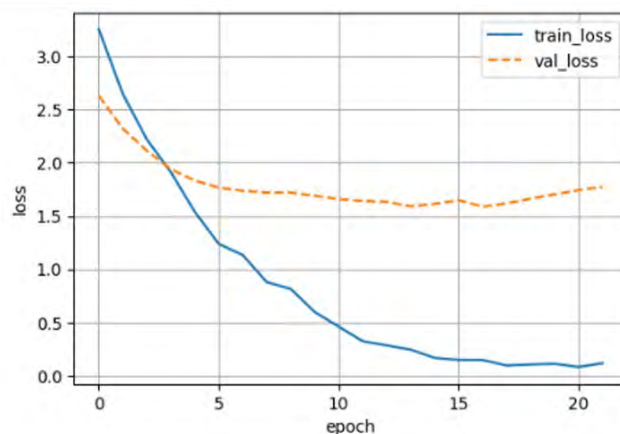


Fig. 1. Evolución de entrenamiento para evaluar el aprendizaje con la pérdida del entrenamiento y validación.

Recordemos que para evaluar las predicciones utilizamos la técnica BLEU, donde se registro un valor máximo de BLEU de 1.0 en pares correctamente alineados semánticamente, en otros

casos los valores disminuyeron a rangos de 0.57 y 0.43 debido a frases con estructuras menos frecuentes o ambigüedad contextual. A pesar de que algunas traducciones eran gramaticalmente correctas, presentaban desviaciones semánticas que afectaron la puntuación de referencia. Este comportamiento es coherente con lo descrito por Vaswani et al. [2], quienes señalan que la calidad de las predicciones está fuertemente influenciada por el tamaño y diversidad del corpus de entrenamiento.

SCR	Je suis étudiant
Predicción	I am a student
Referencia	I am a student
BLEU	0.43

Tabla 1. Resultado para la frase je suis étudiant.

SCR	Je suis perdu
Predicción	i am lost
Referencia	i am lost
BLEU	0.57

Tabla 2. Resultado para la frase je suis perdu.

SCR	aide moi
Predicción	Help me
Referencia	Help me
BLEU	1

Tabla 3. Resultado para la frase aide moi.

Como resultados finales se visualizaron los pesos de atención a través de mapas de calor, donde observamos cómo las distintas cabezas del decodificador aprenden a enfocarse en distintas partes de la secuencia de entrada. Los resultados nos muestran como algunas cabezas tienen un comportamiento local, concentrando el foco en tokens adyacentes, mientras otras establecieron alineaciones más amplias, entre tokens fuente y

destino. En estudios previos como los presentados en Dive into Deep Learning [3], se emplean implementaciones encapsuladas con funciones de alto nivel, en nuestro trabajo se ofreció un enfoque más transparente, al construir manualmente cada componente, es así como se tuvo más claridad del impacto de operaciones como el escalamiento del producto punto, la codificación posicional y la interacción entre cabezas de atención.

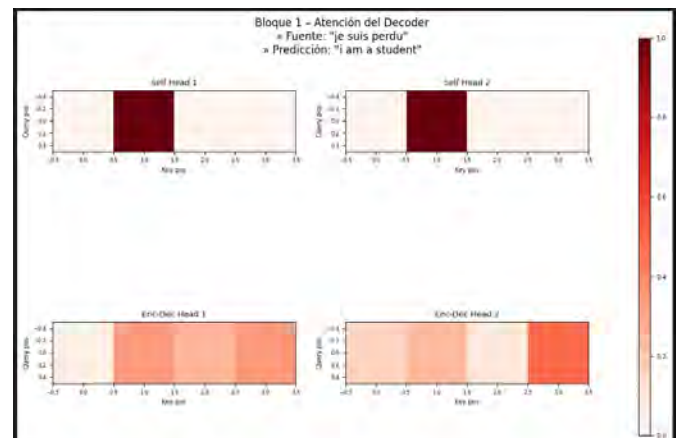


Fig. 2. Mapa de atención para prueba de je suis étudiant con un BLEU de 0.43, lo que nos da indicios de estructuras menos aprendidas.

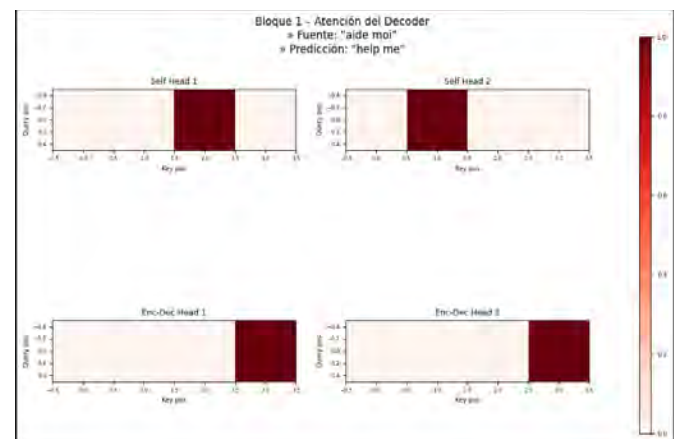


Fig. 3. Mapa de atención para prueba de aide moi con un BLEU de 1.0, lo que nos da indicios de pares alineados.

En la Figura 2 se muestra el caso de una predicción incorrecta con BLEU=0.43, las cabezas de *self-attention* aún presentan un patrón estructurado, se nota una menor intensidad en las activaciones y una cierta dispersión en el bloque *encoder-decoder*, en lugar de enfocarse en el token fuente

“perdu”, el modelo distribuye su atención sobre tokens irrelevantes, lo que resulta en la predicción *am student*, es decir, se pierde el sentido original.

La Figura 3, se observa una distribución concentrada de atención en las cabezas de self-attention, con activaciones fuertes sobre los tokens adyacentes al actual, se infiere que el modelo logra mantener coherencia local en la generación de la secuencia destino. Asimismo las cabezas del bloque *encoder-decoder* muestran alineamiento razonable hacia las posiciones relevantes de entrada, permitiendo que el token “aide” sea correctamente traducido como *help*.

Discusión y conclusiones

En este trabajo, de los resultados obtenidos se observó el comportamiento de los mecanismos de atención en modelos secuenciales, particularmente en tareas de traducción con corpus reducido y controlado.

Primeramente los resultados del comportamiento de las métricas de pérdida nos muestra que el modelo logró converger de manera estable durante las primeras épocas, así como también el comportamiento de *val_loss* sugiere un buen ajuste inicial, pero las oscilaciones cerca de la época 17 indican la necesidad de técnicas de regularización como *early stopping*.

Posterior en la evaluación de la métrica BLEU que nos mostró valores tanto correctos como un poco desviados con los desafíos propios del dataset. A pesar de que algunas predicciones fueron gramaticalmente correctas, presentaron desviaciones semánticas que afectaron el puntaje. Estos casos, más que errores, reflejan la dificultad del modelo para captar relaciones conceptuales profundas cuando el entrenamiento no ha sido suficientemente variado o abundante, lo cual es un fenómeno reportado incluso en implementaciones más complejas [2][3].

Una de las contribuciones más significativas de este trabajo fue la generación e interpretación de mapas de atención. Las visualizaciones permitieron evidenciar que las distintas cabezas dentro del bloque de atención multi-cabeza no actúan de manera redundante, sino que aprenden a enfocarse en distintos patrones, ya sean relaciones locales o dependencias más amplias. Sin embargo, cuando estas alineaciones no se dirigen a los tokens semánticamente relevantes, como se evidenció en el caso del token “perdu”, la traducción pierde precisión. Esta capacidad de visualizar y analizar los pesos de atención representa un recurso valioso tanto para comprender el modelo como para proponer ajustes futuros a su arquitectura.

Finalmente podemos concluir este trabajo con una reflexión general acerca de cada componente que nos permitió observar directamente como influyen operaciones en los resultados finales y el impacto que es tener una arquitectura modular que nos permita visualizar el flujo de la información y la dinámica del aprendizaje a través del modelo Transformer.

Agradecimientos

Quiero expresar mi agradecimiento al Mtro. Marco Antonio Aceves Fernández por su acompañamiento y orientación a lo largo de este proyecto. Su guía fue fundamental para entender los aspectos técnicos del modelo, así como para potenciar mi capacidad de análisis y pensamiento crítico. Asimismo, valoro enormemente cada una de las fuentes que consulté, ya que su contenido fue crucial para el desarrollo y validación de este trabajo. Este proyecto no habría sido posible sin el tiempo que dediqué a revisar, implementar y reflexionar sobre las diversas decisiones que conlleva construir modelos complejos desde sus cimientos.

Referencias bibliográficas

- [1] Bishop, C. M. (2006). *Pattern Recognition and Machine Learning*. Springer.
- [2] Vaswani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., Jones, L., Gomez, A. N., Kaiser, Ł., & Polosukhin, I. (2017). *Attention is All You Need*. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 30.
- [3] Zhang, A., Lipton, Z. C., Li, M., & Smola, A. J. (2021). *Dive into Deep Learning*. <https://d2l.ai>
- [4] Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). *Deep Learning*. MIT Press.
- [5] ManyThings.org. *English-French Sentence Pairs*. <https://www.manythings.org/anki/>

Biocatalizadores para la degradación de hidrocarburos en un biorreactor air-lift.

Laura Jenifeer Ledezma, Dulce María Palmerín Carreño.

Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Química, Campus Pedro Escobedo. dulce.palmerin@uaq.mx

Resumen

La contaminación por hidrocarburos representa un problema ambiental significativo en el municipio de Pedro Escobedo, Qro. En este estudio, se evaluó la aplicación de biocatalizadores que pasaron por una celda electroquímica previamente, para la remediación de agua contaminada por hidrocarburos utilizando un biorreactor airlift. Mediante análisis microbiológicos se evidenció la actividad microbiana. Se realizó un ensayo cinético de degradación en el que se monitoreó la biomasa y las concentraciones de hidrocarburos. El experimento mostró una correlación positiva entre la biomasa microbiana y la concentración de hidrocarburos, lo que sugiere una degradación activa. Se concluye que estos resultados aportan información clave para el desarrollo de estrategias efectivas y sostenibles en la biorremediación de agua contaminada por hidrocarburos, resaltando el potencial de los biocatalizadores como una solución prometedora a escala mayor.

Palabras clave: Biorreactor air-lift, Biodegradación, Hidrocarburos, Biocatalizadores.

Abstract

Hydrocarbon pollution represents a significant environmental problem in the municipality of Pedro

Escobedo, Qro. In this study, the application of biocatalysts that had previously passed through an electrochemical cell was evaluated for the remediation of water contaminated by hydrocarbons using an airlift bioreactor. Microbiological analyses evidenced microbial activity. A kinetic degradation assay was conducted, in which biomass and hydrocarbon concentrations were monitored. The experiment showed a positive correlation between microbial biomass and hydrocarbon concentration, suggesting active degradation. It is concluded that these results provide key information for the development of effective and sustainable strategies in the bioremediation of hydrocarbon-contaminated water, highlighting the potential of biocatalysts as a promising large-scale solution.

Keywords: Air-lift bioreactor, Biodegradation, Hydrocarbons, Biocatalysts.

Introducción

La contaminación por hidrocarburos es un problema ambiental creciente en muchas regiones de México, incluido el Municipio de Pedro Escobedo. Este fenómeno se ha visto intensificado por el derrame de combustible en suelos del Municipio. Esto genera graves consecuencias para el medio ambiente, contaminando fuentes de agua y afectando la salud de las comunidades.

Los hidrocarburos son compuestos orgánicos volátiles que, cuando se liberan al medio ambiente, pueden provocar daños irreversibles en los ecosistemas acuáticos y en la calidad del agua potable. Frente a esta problemática, se ha vuelto necesario desarrollar métodos efectivos para la degradación de hidrocarburos. Los biocatalizadores emergen como una solución prometedora. Estos compuestos biológicos pueden acelerar las reacciones químicas necesarias para descomponer contaminantes, mejorando así la eficiencia del proceso de biodegradación. (Das & Kazy, 2024) Además, su uso en biorreactores air-lift permite una mayor transferencia de masa, lo que facilita la interacción entre los microorganismos y los contaminantes, potenciando la disminución de hidrocarburos. (Liu et al. 2022).

Objetivo General

Evaluar el desempeño de un consorcio microbiano nativo que ha pasado por una celda electroquímica, en la degradación de una mezcla de hidrocarburos provenientes de muestras de agua del municipio de Pedro Escobedo en un biorreactor air-lift.

Objetivos Específicos

Evaluar la viabilidad de la tecnología de biorreactores air-lift para la biorremediación de contaminantes en agua.

Monitorear la cinética de degradación de los hidrocarburos y el crecimiento del consorcio microbiano en el biorreactor.

Generar información para la posible aplicación de este sistema a nivel piloto para la remediación de sitios contaminados con hidrocarburos.

Metodología

Se realizaron muestreos de agua contaminada con hidrocarburos en cuatro zonas del municipio de Pedro Escobedo, Qro. Las muestras de agua fueron sometidas a un proceso de destilación para la extracción y separación de los hidrocarburos. Posteriormente, se cuantificó su concentración por espectrofotometría UV-Visible. (Yue, Zongkai, et al. 2021). Paralelamente, se cultivó un consorcio microbiano nativo adaptado a los contaminantes, el consorcio esta formado por bacterias y hongos. Este consorcio fue evaluado mediante una celda electroquímica, previamente. Para el estudio de la biodegradación, se utilizó un biorreactor air-lift de 4L de volumen total, se mantuvo un flujo de aire de 1 vvm. Se inoculó 1×10^6 células/mL a una muestra de agua contaminada por hidrocarburos, que presentó la mayor concentración. Durante 15 días, se realizó un monitoreo constante de la concentración de hidrocarburos y biomasa, tomando muestras a intervalos regulares para analizar la evolución del proceso.

Resultados

Los resultados obtenidos en el biorreactor air-lift permitieron interpretar la dinámica del proceso de degradación de hidrocarburos. La correlación observada entre el crecimiento de la biomasa microbiana se puede observar en la Figura 1., y la disminución de la concentración de hidrocarburos en las muestras de agua de Pedro Escobedo es un resultado clave (ver Fig. 2). Esto confirma que el consorcio microbiano nativo fue el agente principal en la descomposición de los contaminantes.

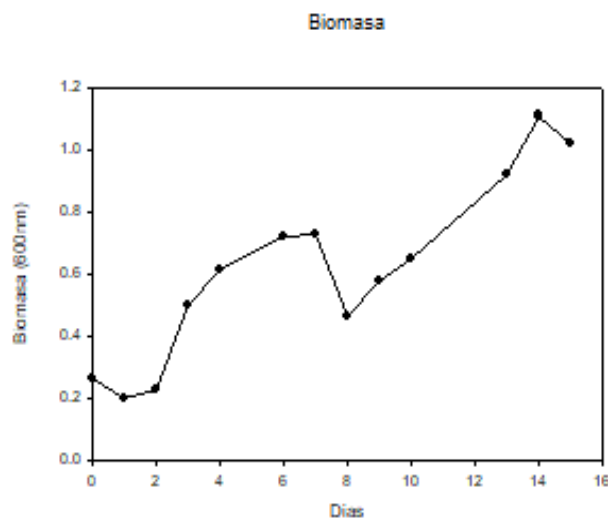


Fig. 1. Cinética de crecimiento del consorcio nativo durante la degradación de hidrocarburos en un biorreactor air-lift.

La efectividad del biorreactor air-lift se destacó en la mejora de la transferencia de masa. La agitación generada por la inyección de aire no sólo mantuvo los microorganismos en suspensión, sino que también facilitó el contacto entre los microorganismos y los hidrocarburos (Li, Ganlu, et al. 2022), los cuales tienden a ser poco solubles. Este tipo de análisis es crucial, ya que la limitación en la transferencia de masa es un obstáculo común en la biorremediación de contaminantes hidrofóbicos (Cheng et al., 2023).

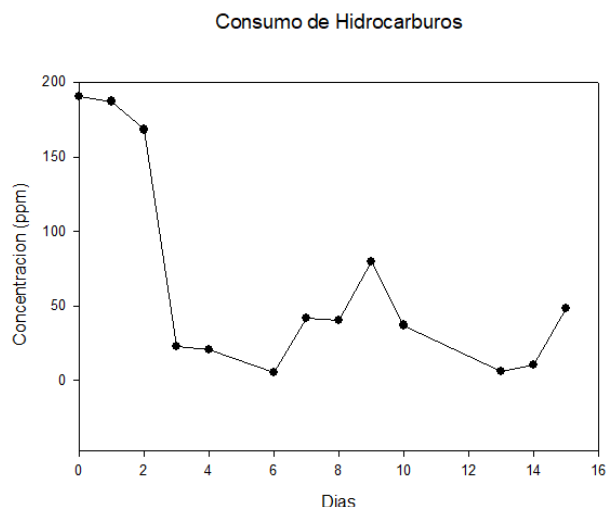


Fig. 2. Consumo de hidrocarburos en muestra de agua real contaminada, en un biorreactor air-lift.

El uso de un consorcio microbiano nativo es de particular importancia, ya que demuestra la capacidad de los microorganismos de un ecosistema específico para adaptarse y degradar los contaminantes de su propio entorno, además del uso previo de una celda electroquímica para la mejora de la degradación (Patel et al. 2022). Esta estrategia representa un enfoque sostenible y prometedor en comparación con la introducción de cepas foráneas, ya que evita posibles desequilibrios ecológicos. Los resultados de este estudio refuerzan y respaldan la viabilidad de los biocatalizadores en biorreactores air-lift como una tecnología escalable y efectiva para la biorremediación, sentando las bases para su aplicación en proyectos de mayor magnitud y contribuyendo a la solución de una problemática ambiental local.

Discusión y conclusiones

Los resultados de esta investigación demuestran la viabilidad y efectividad del uso de un consorcio microbiano nativo en un biorreactor air-lift para la degradación de hidrocarburos. La disminución observada en las concentraciones de estos contaminantes en las muestras de agua, correlacionada con el aumento de la biomasa microbiana, confirma que la biodegradación activa con un consorcio nativo previamente estimulado con

una celda electroquímica, es una estrategia eficaz para la remediación ambiental.

Una de las contribuciones más destacadas de este estudio es la validación del papel fundamental del biorreactor air-lift en la mejora de la transferencia de masa. La inyección de aire no solo facilitó la mezcla y el contacto entre los microorganismos y los hidrocarburos, sino que también mantuvo condiciones aerobias que son esenciales para la degradación de muchos compuestos orgánicos complejos (Sui, Xin, et al. 2021).

Los aspectos relevantes derivados de la investigación incluyen el éxito del uso de un consorcio microbiano adaptado al entorno local, lo que sugiere una mayor probabilidad de éxito en aplicaciones a escala mayor y una menor necesidad de manipulación externa del ecosistema. En conclusión, este estudio no solo aborda una problemática ambiental significativa, sino que también provee las bases para el desarrollo de estrategias innovadoras y sostenibles para la gestión y remediación de sitios contaminados con hidrocarburos. La combinación de biocatalizadores nativos y la tecnología de biorreactores air-lift representa una solución prometedora y escalable para futuros proyectos de saneamiento ambiental.

Agradecimientos

Al patrocinio del proyecto FONFIVE (FQU-2024-14), de la Universidad Autónoma de Querétaro, por el apoyo brindado para la realización de la investigación.

Referencias Bibliográficas

- L. Chen, Y. Wang, H. Liu, et al., "Surfactant-enhanced bioremediation of petroleum-contaminated soil and microbial community response: A field study," *Chemosphere*, vol. 319, (2023). doi: 10.1016/j.chemosphere.2023.137870
- R. Das, M. P. Kazy, "Microbial bioremediation of soils contaminated with petroleum hydrocarbons," *Discover Soil*, vol. 2, no. 1, (2024). doi: 10.1007/s44378-024-00004-5
- G. Li, X. Wang, Y. Zhang, et al., "Mass transfer, gas holdup, and kinetic models of batch and continuous fermentation in a novel rectangular

dynamic membrane airlift bioreactor," *Engineering*, vol. 13, pp. 153-163, (2022). doi: 10.1016/j.eng.2021.12.018

A. Patel, R. K. Sharma, M. Singh, et al., "Recent advances in electrochemical methods for petroleum hydrocarbon remediation: A comprehensive review," *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 10, no. 3, (2022). doi: 10.1016/j.jece.2022.107892

X. Sui, L. Zhang, R. Wang, et al., "Remediation of petroleum-contaminated soils with microbial and microbial combined methods: Advances, mechanisms, and challenges," *Sustainability*, vol. 13, no. 16, pp. 9267, (2021). doi: 10.3390/su13169267

K. Yue, Z. Li, H. Zhang, et al., "A review on analytical methods of petroleum hydrocarbons in water and sediment of aquatic systems," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 621, no. 1, (2021). doi: 10.1088/1755-1315/621/1/012010

Suplementación de calcio con microesferas biopoliméricas en un modelo de osteoporosis

Lourdes Heredia Márquez¹, Isela Rojas Molina², Leticia García Aquilar², Diana Jéssica Pérez Olvera⁴, Ezequiel Hernández Becerra⁵

¹ Licenciatura en Químico Farmacéutico Biólogo. Facultad de Química, Universidad Autónoma de Querétaro, Cerro de las Campanas S/N, Santiago de Querétaro 76017, Querétaro, Mexico. Datos de contacto: lheredia15@alumnos.uaq.mx

² Laboratorio de Investigación Química y Farmacológica de Productos Naturales, Facultad de Química, Universidad Autónoma de Querétaro, Cerro de las Campanas S/N, Santiago de Querétaro 76017, Querétaro, Mexico. Datos de contacto: jirojasmolina@gmail.com

⁴ Programa de Maestría en Ciencias Químico Biológicas, Facultad de Química, Universidad Autónoma de Querétaro, Cerro de las Campanas S/N, Santiago de Querétaro 76017, Querétaro, Mexico.

⁵ Escuela de Bachilleres, Plantel Sur. Universidad Autónoma de Querétaro, Cerro de las Campanas S/N, Santiago de Querétaro 76017, Querétaro, Mexico.

Resumen

Los tratamientos actuales para la prevención de la osteoporosis se asocian con fracturas femorales atípicas. Los avances recientes resaltan el creciente interés en el uso de como el mucílago de *Opuntia ficus-indica* (MOF), el xiloglucano (XLG) de *Tamarindus indica* y lactosuero (Whey) para la obtención de microesferas como transportadoras y fuentes de calcio (Ca) en el organismo. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de dietas suplementadas con Ca, utilizando microesferas biopoliméricas a base de MOF-Whey y XLG-Whey como sistemas transportadores de Ca, sobre la biodisponibilidad de este mineral en ratas

ovariectomizadas como modelo de osteoporosis. Se determinó el contenido de Ca, P, la relación Ca/P, el grosor trabecular (Tb·Th), grosor cortical (Ct·Th), separación trabecular (Th·Sp) y propiedades microestructurales (cristalinas) del hueso femoral en los sujetos experimentales. Los resultados mostraron que el grupo SHAM (sin deficiencia de estrógenos) y el grupo alimentado con la dieta suplementada con microesferas a base de lactosuero-mucílago (LMCC) mostraron un mayor contenido de Ca, mayor Tb·Th, Ct·Th, menor Th·Sp y mayor calidad cristalina presentado diferencias significativas ($p<0.05$) con respecto al resto de los grupos experimentales. Estos datos sugieren que el grupo SHAM y el grupo LMCC presentan menor riesgo de fractura. Se concluye que las microesferas de lactosuero-mucílago contribuyen a mejorar la salud ósea en los sujetos con osteoporosis.

Palabras clave: Calcio, fósforo, microesferas, hueso, microarquitectura, osteoporosis, microestructura

Summary

Current pharmacological treatments for the prevention of osteoporosis have been associated with atypical femoral fractures. Recent advances emphasize the growing interest in the use of microspheres derived from natural biopolymers, such as *Opuntia ficus-indica* mucilage (MOF), *Tamarindus indica* xyloglucan (XLG), and whey protein, as carriers and sources of calcium (Ca). The aim of this study was to evaluate the effects of Ca-supplemented diets employing biopolymeric microspheres formulated from MOF-WHEY and XLG-WHEY as Ca delivery systems on the bioavailability of this mineral in ovariectomized rats, a widely used model of osteoporosis. The experimental evaluation included the determination of Ca and P content, Ca/P ratio, trabecular thickness (Tb·Th), cortical thickness (Ct·Th), trabecular separation (Tb·Sp), and microstructural

(crystalline) properties of femoral bone. The results demonstrated that both the SHAM group (non-ovariectomized and without estrogen deficiency) and the group receiving whey–mucilage microspheres (LMCC) exhibited significantly higher Ca content, increased Tb·Th and Ct·Th, reduced Tb·Sp, and enhanced crystalline quality compared with the other experimental groups ($p < 0.05$). These findings indicate that the SHAM and LMCC groups are associated with a lower risk of fracture. In conclusion, whey–mucilage microspheres contribute to improving bone quality and reducing fracture risk in the context of estrogen deficiency–induced osteoporosis.

Keywords: calcium; phosphorus; microspheres; bone; microarchitecture; osteoporosis; microstructure

Introducción

El Ca es un mineral muy importante para el organismo, ya que contribuye a la resistencia estructural de los huesos y es el quinto elemento más abundante en el cuerpo humano, El 99 % de este mineral se encuentra en el esqueleto en forma de hidroxapatita (Lin et al., 2020).

La menopausia se define como el fin de la menstruación, tras 12 meses consecutivos de amenorrea debido a una disminución de la producción de estrógenos; cuyo síntoma más común es la osteoporosis (Torres-Jiménez y Torres-Rincón, 2018). La osteoporosis es una enfermedad caracterizada por la reducción de la masa ósea y la alteración de la arquitectura ósea, provocando un aumento de la fragilidad en el hueso (Akkawi y Zmerly, 2018).

El aporte de Ca de los suplementos a base de sales de Ca y la vitamina D es muy reducida, aunado a que su biodisponibilidad por parte del organismo es baja. Por otro lado, los medicamentos como los biofosfonatos se asocian con diversos efectos secundarios (Ayub et al., 2021).

El interés creciente en el uso de polímeros naturales (polisacáridos) en forma de micro y/o nanopartículas para nuevas formulaciones de fármacos y aditivos alimentarios, radica en su amplia disponibilidad, bajo costo y biodegradabilidad (Peng et al., 2020). Estas partículas son transportadores innovadores para la administración de fármacos por su capacidad de adherirse estrechamente a las superficies de las mucosas, prolongando el tiempo de residencia en el sitio de absorción y permitiendo efectos terapéuticos sostenidos (Ding y Li, 2017).

Estos polisacáridos son resistentes a la digestión enzimática en el tracto gastrointestinal superior. Sin embargo, en el colon son fermentados por la microbiota intestinal produciendo ácidos grasos de cadena corta (AGCC) que mejoran la absorción de minerales y contribuyen a la salud ósea al inhibir la actividad osteoclastogénica (Tang y Li, 2021).

Además, la proteína del lactosuero para la obtención de microesferas ofrece una fuente de Ca rentable y biodisponible, representando una alternativa sostenible y accesible de dicho mineral (Schong y Famelart, 2018).

Objetivo

Evaluar el efecto de dietas suplementadas con calcio, administradas a través de microesferas biopoliméricas derivadas de complejos proteína-polisacárido, como sistemas transportadores de calcio sobre la mineralización, microarquitectura y microestructura del hueso femoral de ratas ovariectomizadas como modelo de osteoporosis.

Metodología

Elaboración de las dietas experimentales

Las dietas experimentales se prepararon acorde a los requerimientos de la dieta AIN-93M (Reeves et al., 1993) adicionando mezclas de vitaminas y minerales sin calcio. El contenido de calcio en todas las dietas se ajustó a 5 g/kg de dieta. La fuente de

calcio en el grupo control fue CaCO_3 y en el resto de las dietas experimentales se ajustó con el de los biopolímeros, microesferas y CaCO_3 .

Sujetos experimentales

Se utilizaron 28 ratas hembra adultas Wistar de 2 meses de edad, las cuales fueron sometidas a una cirugía de ovariectomía como modelo de postmenopausia, a excepción del grupo SHAM (grupo con cirugía simulada y sin deficiencia de estrógenos). El cuidado y manejo de los animales se realizó conforme a la NOM-062-ZOO, 1999.

Grupos experimentales

Los sujetos de estudio se clasificaron aleatoriamente en 10 grupos conformados por 4 ratas cada uno: 1) Grupo control con dieta AIN-93M (Ctrl), 2) grupo con dieta AIN-93M cuyo contenido de Ca se ajustó con citrato de calcio (CCa), 3) grupo con dieta AIN-93M adicionada con una mezcla de lactosuero-xiloglucano (LXMix), 4) grupo con dieta AIN-93M adicionada con microesferas obtenidas a partir de lactosuero-xiloglucano por coacervación compleja (LXCC), 5) grupo con dieta AIN-93M adicionada con xiloglucano (XLG), 6) grupo con dieta AIN-93M adicionada con lactosuero (Whey), 7) grupo con dieta AIN-93M adicionada con mezcla de lactosuero-mucílago (LMMix), 8) grupo con dieta AIN-93M adicionada con microesferas obtenidas a partir de lactosuero-mucílago por coacervación compleja (LMCC), 9) grupo con dieta AIN-93M adicionada con mucílago (MOF) y, 10) grupo SHAM alimentados con la dieta AIN-93M. La duración del experimento fue de 9 semanas, posterior a ello las ratas fueron eutanizadas por exposición a CO_2 como agente eutanásico y posterior decapitación.

Determinación el contenido de calcio y fósforo en el fémur

El análisis del contenido de Ca y P se realizó en los fémures de los sujetos experimentales por espectrofotometría de plasma acoplado a masas empleando un equipo ICP-EOS (Hernández-Becerra et al., 2020).

Evaluación de las propiedades morfológicas (microarquitectura) del fémur

Se analizaron los siguientes parámetros: separación trabecular (Tb.Sp), grosor trabecular (Tb.Th) y el grosor cortical (Ct.Wi) en un microscopio electrónico de barrido. Previo a los análisis los fémures se sometieron a un pretratamiento y se analizaron con la metodología reportada por Hernández-Becerra et al. (2020).

Análisis de las propiedades estructurales del fémur mediante difracción de rayos X

El análisis cristalográfico de los huesos del fémur se llevó a cabo utilizando un equipo de difracción de rayos X empleando una longitud de onda de 1.5406 Å, operado a 35 kV y 15 mA con la metodología descrita por Hernández-Becerra et al. (2020).

Resultados y Discusión

Determinación el contenido de calcio y fósforo en el fémur

En la Tabla 1 se muestra el contenido de Ca y P en el hueso de los grupos experimentales. La pérdida de calcio fue significativamente mayor ($p < 0.05$) en el grupo control cuya disminución resultó aproximadamente un 30 % con respecto al grupo SHAM. Así mismo, el grupo LMCC presentó menor pérdida de Ca en hueso en comparación con el resto de los grupos experimentales. Por otra parte, la mayoría de los estudios sobre las propiedades óseas no muestran cambios

significativos en la concentración de fósforo en el fémur (Kaczmarczyk-Sedlak et al., 2013); sin embargo, el grupo control también presentó mayores pérdidas de este mineral en comparación con el grupo SHAM.

Se han reportado valores de la relación Ca/P ósea en el rango de 1 a 3 en diferentes cepas de ratas a diferentes edades; planteando que un valor mayor a 2 es indicativo de un deterioro de la salud ósea (Cao y Gregori, 2024). En este estudio, todos los grupos experimentales a excepción del grupo Ctrl mostraron valores dentro de este rango; destacando que la relación Ca/P estequiométrica impacta en las propiedades mecánicas del hueso.

Tabla 1. Contenido de calcio, fósforo y relación Ca/P del hueso femoral en los sujetos alimentados con las dietas experimentales

Grupo	Ca	P	Ca/P
LXCC	21.10 ± 0.25 ^b	16.10 ± 1.33 ^d	1.31 ± 0.10 ^b
LMCC	24.64 ± 0.35 ^d	15.95 ± 1.10 ^d	1.54 ± 0.20 ^d
Ctrl	17.10 ± 0.28 ^a	4.80 ± 0.50 ^a	3.56 ± 0.40 ^g
SHAM	25.53 ± 0.30 ^e	15.92 ± 1.10 ^d	1.60 ± 0.20 ^{de}
CCa	20.70 ± 0.20 ^b	17.45 ± 1.70 ^e	1.18 ± 0.10 ^a
MOF	22.73 ± 0.40 ^c	12.68 ± 1.10 ^b	1.79 ± 0.20 ^f
XLG	21.25 ± 0.21 ^b	17.71 ± 1.50 ^f	1.20 ± 0.12 ^a
Whey	22.87 ± 0.30 ^c	16.33 ± 1.80 ^d	1.40 ± 0.10 ^c
LXMix	22.89 ± 0.32 ^c	13.69 ± 1.20 ^c	1.67 ± 0.20 ^e
LMMix	22.47 ± 0.23 ^c	17.96 ± 1.40 ^g	1.25 ± 0.12 ^b

Los valores expresan el promedio ± DS de los grupos experimentales (n=5), letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadística significativa ($p \leq 0.05$) con la prueba de Tukey.

Evaluación de las propiedades morfológicas (microarquitectura) del fémur

El grosor del hueso cortical, separación trabecular y el grosor cortical se modificó significativamente en todos los grupos experimentales ($p < 0.05$), como

se muestra en la Tabla 2. En este sentido se ha señalado que el hueso trabecular es metabólicamente más activo que el hueso cortical; sin embargo, cualquier alteración en la microarquitectura ósea tiene un impacto importante en su resistencia a las fracturas (Kim et al., 2013). Se detectó que los grupos con mayor grosor trabecular mostraron una menor separación trabecular, y viceversa. Los grupos con mayor grosor y menor separación trabecular fueron el grupo SHAM y el LMCC; por el contrario, los grupos Ctrl y XLG presentaron las trabéculas más delgadas y la mayor separación trabecular; por lo tanto, una disminución en el grosor y aumento en la separación trabecular implican un mayor riesgo a la fractura (Hernández-Becerra et al., 2017). El grosor cortical fue mayor ($p < 0.05$) en el grupo SHAM y LMCC. Un mayor grosor cortical se asocia con mayor rigidez y resistencia a la fractura, particularmente en huesos largos como el fémur (Endo et al., 2020). En términos generales, los valores de la microarquitectura del hueso fueron consistentes con los reportados previamente para ratas de la misma edad y cepa (Zhang et al., 2015; Hsu et al., 2016)

Tabla 2. Grosor trabecular, separación trabecular y grosor cortical observados en la zona de la epífisis y diáfisis del fémur de los sujetos alimentados con las dietas experimentales

Grupo	Grosor trabecular (µm)	Separación Trabecular (µm)	Grosor Cortical (µm)
LXCC	90.52 ± 7.40 ^b	15.63 ± 1.14 ^e	506.66 ± 9.50 ^b
LMCC	111.17 ± 8.50 ^g	13.08 ± 0.82 ^b	593.81 ± 8.20 ^g
Ctrl	75.44 ± 6.70 ^a	17.73 ± 0.72 ^f	499.93 ± 7.60 ^a
SHAM	121.19 ± 11.30 ^h	12.26 ± 1.35 ^d	619.52 ± 12.30 ^h
CCa	95.29 ± 8.40 ^e	17.41 ± 1.10 ^f	515.71 ± 10.70 ^c
MOF	104.41 ± 7.60 ^f	14.15 ± 0.91 ^c	545.18 ± 9.50 ^f
XLG	74.46 ± 8.80 ^a	16.90 ± 1.19 ^e	522.33 ± 11.50 ^d
Whey	94.04 ± 7.50 ^{de}	17.05 ± 1.17 ^f	548.12 ± 11.10 ^e
LXMix	92.18 ± 6.70 ^{bc}	15.65 ± 1.15 ^d	545.18 ± 8.45 ^f
LMMix	94.53 ± 10.50 ^{cd}	19.89 ± 1.20 ^c	548.12 ± 13.40 ^f

Los valores expresan el promedio $\pm$ DS de los grupos experimentales (n=5), letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadística significativa ($p \leq 0.05$) con la prueba de Tukey.

Análisis de las propiedades estructurales del fémur mediante difracción de rayos X

En la Tabla 3 se puede observar que los huesos del fémur de todos los grupos experimentales muestran un tamaño de cristal de hidroxiapatita (HAP), componente mayoritario del hueso, muy similar al reportado por Hernández-Becerra et al. (2020) en ratas ovariectomizadas.

Tabla 3. Ancho de pico a la altura media (FWHM) y tamaño de los cristales de hidroxiapatita (HAP) en el hueso del fémur de los sujetos experimentales.

Grupo	FWHM (grados)	Tamaño de cristal (nm)
LXCC	0.42038 $\pm$ 0.0052 ^{bc}	19.30 $\pm$ 0.21 ^e
LMCC	0.49356 $\pm$ 0.0179 ^g	16.50 $\pm$ 0.13 ^b
Ctrl	0.38302 $\pm$ 0.0096 ^a	21.20 $\pm$ 0.10 ^g
SHAM	0.53698 $\pm$ 0.0146 ^h	15.10 $\pm$ 0.11 ^a
CCa	0.41137 $\pm$ 0.0086 ^b	19.80 $\pm$ 0.18 ^f
MOF	0.43173 $\pm$ 0.0091 ^d	18.80 $\pm$ 0.15 ^{de}
XLG	0.42164 $\pm$ 0.0082 ^c	19.30 $\pm$ 0.20 ^e
Whey	0.44553 $\pm$ 0.0105 ^e	18.20 $\pm$ 0.17 ^d
LXMix	0.46755 $\pm$ 0.0059 ^f	17.40 $\pm$ 0.21 ^c
LMMix	0.42959 $\pm$ 0.0052 ^d	18.90 $\pm$ 0.14 ^{de}

Los valores expresan el promedio $\pm$ DS de los grupos experimentales (n=5), letras diferentes en la misma columna indican diferencia estadística significativa ($p \leq 0.05$) con la prueba de Tukey.

El grupo SHAM (cirugía simulada y sin deficiencia de estrógenos) y el grupo LMCC (alimentados con la dieta suplementada con microesferas a base de mucílago-lactosuero), presentaron los tamaños de cristal más pequeños; en tanto que los grupos Ctrl (control) y CCa (suplementados con citrato de calcio) presentaron un tamaño de HAP más grande. En este sentido, se ha señalado que el aumento en

el tamaño del cristal de HAP es el resultado del reemplazo del ion Ca de la HAP por iones de radio atómico con valores diferentes a los iones de Ca, disminuyendo la calidad ósea debido al aumento de defectos puntiformes en la red cristalina de HAP (Costa et al., 2009), lo cual caracteriza a la osteopenia y la osteoporosis. Así mismo, se ha reportado que las microesferas proporcionan una liberación sostenida y localizada de calcio, mejoran la diferenciación osteogénica, y crean un entorno físico-químico favorable que puede reducir la incorporación de iones competidores como el Mg, Sr, Zn etc. (Shi et al., 2021).

Conclusiones

Los resultados derivados de este trabajo demostraron que las microesferas obtenidas a partir de lactosuero-mucílago mediante el método de coacervación compleja, mejoraron significativamente la salud ósea en ratas con deficiencia de estrógenos, en comparación con el grupo de ratas alimentadas con la dieta suplementada con las microesferas obtenidas a partir de xiloglucano-lactosuero, incluyendo los grupos alimentados con las dietas suplementadas con los biopolímeros de manera individual (mucílago, xiloglucano y lactosuero) y en mezcla sin ser sometidos al proceso de coacervación.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo otorgado por el Fondo para el Fortalecimiento de la Investigación, Vinculación y Extensión (FONFIVE-UAQ-2024, Proyecto FQU202419), el cual permitió la realización de este trabajo de investigación. También se agradece al Comité Organizador del Programa Veranos de la Ciencia UAQ 2025, por el soporte económico concedido a la estudiante Lourdes Heredia Márquez durante su estancia de investigación en dicho programa.

Referencias bibliográficas

Akkawi, I., Zmerly, H. "Osteoporosis: Current Concepts", Joints, Vol. 6, Issue 2, pp.122-127, 2018.

Ayub, N., Faraj, M., Ghatan, S., et al. "The treatment gap in osteoporosis", J. Clin. Med., Vol.10, Issue 13, pp. 3002, 2021.

Cao J.J., and Gregoire B. R. "Calcium Deficiency Decreases Bone Mass without Affecting Adiposity in Ovariectomized Rats Fed a High-Fat Diet. Nutrients", Vol. 16, pp. 478-791, 2024. Disponible en <https://doi.org/10.3390/nu16040478> [consultado en 2025]

Costa, A.C.F.M., Lima, M.G, Lima, L.H.M.A., et al. "Hidroxiapatita: obtenção, caracterização e aplicações", Rev. Eletr. Mat. Proc., Vol. 4, pp. 29-38, 2009.

Ding, C., Li, Z. "A review of drug release mechanisms from nanocarrier systems", Mat. Sci.Engin., Vol. 76, pp. 1440-1453, 2017.

Endo D, Ogami-Takamura K, Imamura T. "Reduced cortical bone thickness increases stress and strain in the female femoral diaphysis analyzed by a CT-based finite element method: Implications for the anatomical background of fatigue fracture of the femur", *Bone Rep.* 12, Vol. 13:100733, 2020.

Hernández B. E., Gutiérrez C. E., Del Real, A., et al. "Bone Mineral Density, Mechanical, Microstructural Properties and Mineral Content of the Femur in Growing Rats Fed with Cactus *Opuntia ficus indica* (L.) Mill. (Cactaceae) Cladodes as Calcium Source in Diet", *Nutrients*, Vol.9, Issue 2, pp. 108, 2020.

Hernandez B. E., Mendoza A. M., Jiménez M.D., et al. "Effect of Nopal (*Opuntia ficus indica*) Consumption at Different Maturity Stages as an Only Calcium Source on Bone Mineral Metabolism in Growing Rats". *Biol Trace Elem Res.*, Vol 194, Issue 1, pp. 168-176, 2020.

Hsu P.Y., Tsai M.T., Wang S.P., et al. "Cortical Bone Morphological and Trabecular Bone Microarchitectural Changes in the Mandible and Femoral Neck of Ovariectomized Rats". *PLoS ONE*, Vol 11, Issue 4, 2016. Disponible en [doi:10.1371/journal.pone.0154367](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0154367) [consultado en 2025]

Ilona K.S., Weronika W., Maria Z., et al. "Effect of Formononetin on Mechanical Properties and Chemical Composition of Bones in Rats with Ovariectomy-Induced Osteoporosis". *Hindawi*, pp. 1-10, 2013. Disponible en <http://dx.doi.org/10.1155/2013/457052> [consultado en 2025]

Kim, C., Park, D. "The effect of restriction of dietary calcium on trabecular and cortical bone mineral density in the rats". *J. Exerc. Nutr. Biochem.*, Vol. 17, pp. 123–131, 2013. Disponible en [doi:10.5717/jenb.2013.17.4.123](https://doi.org/10.5717/jenb.2013.17.4.123) [consultado en 2025]

Lin, X., Patil, S., Gao, Y., Qian, A. "The Bone Extracellular Matrix in Bone Formation and Regeneration". *Fron.Pharm.*, Vol 11, pp. 757, 2020

NOM (Norma Oficial Mexicana) 062-ZOO-1999. Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio.

Peng Y., Chen L., Ye S. et al. "Research and development of drug delivery systems based on drug transporter and nano-formulation". *Asian Journal of Pharmaceutical Sciences*, Vol. 15, Issue 2, pp. 220-236, 2020

Reeves P.C., Nielsen V.H., Fahey, G.C. "AIN-93 purified diets for laboratory rodents: final report of the American Institute of Nutrition ad hoc writing committee on the reformulation of the AIN-76A rodent diet". *J. Nutr.*, Vol.123, pp. 1941, 1993.

Schong, E., Famelart, M.H. "Dry heating of whey proteins leads to formation of microspheres with useful functional properties", *Food Res. Int.*, Vol.113, pp. 210-220, 2018.

Shi, H., Zhou, Z., Li, W., et. al. "Hydroxyapatite Based Materials for Bone Tissue Engineering: A Brief and Comprehensive Introduction", *Crystals*, Vol. 11, Issue 2, pp. 149, 2021. Disponible en <https://doi.org/10.3390/cryst11020149> [consultado en 2025]

Tang R., Li L. "Modulation of Short-Chain Fatty Acids as Potential Therapy Method for Type 2 Diabetes Mellitus", *Can. J. Infect. Dis. Med. Microbiol.* 6632266, 2021.

Torres J. A., Torres R. J. "Climaterio y menopausia", *Rev Fac Med (México)*, Vol. 61, Issue 2, pp. 51-58, 2018.

Zhang, R., Gong, H., Zhu, D., et al. "Multi-level femoral morphology and mechanical properties of rats of different ages", *Bone*, Vol. 76, pp. 76-87, 2015. Disponible en <https://doi.org/10.1016/j.bone.2015.03.022> [consultado en 2025]

Pedagogía jurídica y metodología de la investigación jurídica: perspectivas en la profesionalización en docentes de derecho

Autora y Asesora:

Autoría: Maria Guadalupe Estrada Bautista
Estudiante de la Facultad de Derecho, Universidad Autónoma de Querétaro.

Correo electrónico: luppitabautist1@gmail.com / mestrada05@alumnos.uaq.mx

Asesora: Dra. Elizabeth Mendoza Morales,
Coordinadora de la Maestría en Enseñanza del Derecho, Titular y responsable de la Cátedra de Investigación Pedagogía Jurídica y Metodología de la Investigación, Jurídica Docente e Investigadora, Facultad de Derecho, Universidad Autónoma de Querétaro.

Correo electrónico: elizabeth.mendoza@uaq.mx

Resumen

El presente proyecto busca fortalecer la profesionalización y la formación de docentes de derecho mediante la aplicación de estrategias pedagógicas y metodologías de investigación jurídica

basadas en la investigación-acción. La propuesta considera un diagnóstico del contexto educativo actual, la identificación de áreas de mejora en las prácticas docentes, y el diseño de intervenciones formativas que promuevan la actualización académica y la innovación en el aula. Se espera que el proyecto contribuya al desarrollo de competencias didácticas, investigativas y críticas en los docentes, con el fin de mejorar la calidad educativa y fomentar una enseñanza del derecho más dinámica, reflexiva y acorde con las demandas sociales contemporáneas.

Abstract

This project aims to strengthen the professionalization and training of law teachers through the application of pedagogical strategies and legal research methodologies based on action research. The proposal includes a diagnosis of the current educational context, the identification of improvement areas in teaching practices, and the design of formative interventions that promote academic updating and classroom innovation. The project is expected to contribute to the development of teaching, research, and critical skills among teachers, in order to improve educational quality and foster a more dynamic, reflective, and socially responsive law education.

Palabras clave

Pedagogía jurídica, investigación acción, formación docente, derecho, metodología de investigación

Keywords

Legal pedagogy, action research, teacher training, law, research methodology

Introducción

En el contexto actual de la educación superior en derecho, resulta fundamental fortalecer las competencias docentes a través de enfoques pedagógicos innovadores y metodologías de investigación que respondan a los retos sociales y jurídicos contemporáneos. Este proyecto surge de la necesidad de actualizar y profesionalizar la labor de los docentes de derecho, promoviendo un aprendizaje significativo y reflexivo que fomente el pensamiento crítico, la investigación y la aplicación práctica del conocimiento jurídico.



F1. Relación entre pedagogía jurídica, investigación acción y formación docente.

Objetivos

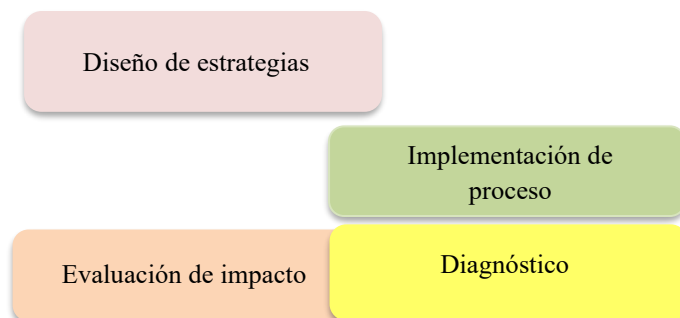
Objetivo general: Fortalecer la profesionalización y formación de docentes de derecho mediante la aplicación de la pedagogía jurídica y la metodología de investigación acción, con el fin de elevar la calidad educativa y responder a los retos actuales de la enseñanza superior.

Objetivos específicos:

1. Diseñar estrategias de actualización y capacitación docente con base en la pedagogía jurídica y en modelos innovadores de enseñanza universitaria, que incluyan el uso de TIC, aprendizaje colaborativo y evaluación por competencias.
2. Implementar procesos de investigación acción que permitan la reflexión crítica, el análisis de la práctica

docente y la mejora continua de las técnicas educativas.

3. Evaluar el impacto de las estrategias implementadas en el desempeño docente, en la innovación pedagógica y en el aprendizaje significativo de los estudiantes de derecho.



F2. Ciclo de investigación acción aplicado a la docencia de derecho.

Metodología

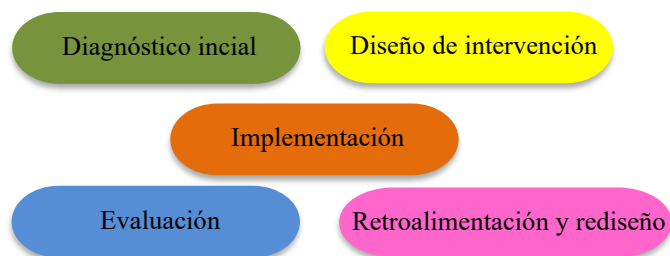
La investigación se desarrollará bajo el **enfoque de investigación acción** (Kemmis y McTaggart, retomado por experiencias en educación superior), lo que permitirá articular la teoría pedagógica con la práctica docente en ciclos sucesivos de reflexión, acción y evaluación.

- **Enfoque cualitativo:** entrevistas semiestructuradas, grupos focales con docentes y análisis de planes de estudio y materiales didácticos.
- **Enfoque cuantitativo:** aplicación de cuestionarios y rúbricas de desempeño para medir la evolución de las competencias docentes y el impacto en los estudiantes.

- **Fases del proceso:**

1. Diagnóstico (identificación de necesidades pedagógicas).
2. Diseño de intervención (estrategias de formación y actualización docente).
3. Implementación (talleres, seminarios y acompañamiento docente).
4. Evaluación (análisis de impacto en la práctica docente y en los resultados de aprendizaje).
5. Retroalimentación y rediseño (ajuste de estrategias para continuidad y sostenibilidad).

Mismo que la creación de un plan estratégico para la creación de un programa dirigido a aquellos docentes que estén interesados en fortalecer su experiencia como docentes.



F3. Fases del programa de formación docente en Derecho.

El plan está diseñado para motivar y acompañar a los profesores de derecho que deseen actualizar y perfeccionar sus técnicas de enseñanza. Consta de cinco fases:

1. Diagnóstico inicial

Aplicación de encuestas y entrevistas para identificar intereses, necesidades y retos pedagógicos.

Análisis de prácticas docentes actuales (uso de TIC (tecnologías de información y comunicación), estrategias didácticas, formas de evaluación).

2. Diseño del programa de formación

Elaboración de un **currículo de capacitación docente**, con módulos como:

- *Pedagogía jurídica y didáctica universitaria.*
- *Metodologías activas: aprendizaje basado en casos, problemas y clínica jurídica.*
- *Uso de tecnologías digitales en la enseñanza del derecho.*
- *Evaluación por competencias y retroalimentación efectiva.*

Definición de duración, modalidad (presencial/virtual/mixta) y recursos didácticos.

3. Implementación del programa

1. Talleres, seminarios y diplomados impartidos por especialistas en pedagogía y derecho.
2. Creación de comunidades de práctica donde los docentes compartan experiencias y materiales.
3. Acompañamiento con tutorías pedagógicas y observación de clases para retroalimentación.

4. Evaluación y retroalimentación

Evaluación continua de cada módulo mediante encuestas de satisfacción, autoevaluación y observación de desempeño docente.

Medición del impacto en el aprendizaje de los estudiantes (comparando resultados antes y después del programa).

5. Consolidación y sostenibilidad

Documentación de buenas prácticas docentes.

1. Publicación de experiencias y resultados en foros académicos (inspirado en PAPIME y COMIE).
2. Creación de una **red de formación docente en derecho** que permita dar continuidad al programa y fortalecer la colaboración entre instituciones.

Este modelo metodológico se inspira en las propuestas de fortalecimiento a la docencia de la **DGAPA-UNAM (PAPIME)**, en los enfoques de formación docente universitaria (CUAED-UNAM) y en las reflexiones del **COMIE** sobre innovación educativa.

01	Competencias didácticas
02	Innovación pedagógica
03	Investigación aplicada
04	Mejora de aprendizaje
05	Docentes fortalecidos

F4. Fases de impacto esperado en la formación docente.

Resultados

Se prevé que los docentes participantes fortalezcan sus competencias didácticas e investigativas, adopten metodologías activas en sus clases, y desarrollen una mayor capacidad para vincular la teoría jurídica con la práctica profesional. Asimismo, se espera que las estrategias implementadas generen un impacto positivo en el aprendizaje de los estudiantes y en la calidad de la enseñanza del derecho.

Discusión y conclusiones

El fortalecimiento de la formación docente en derecho es clave para responder a los cambios en el entorno jurídico y social; la pedagogía jurídica, combinada con la investigación acción, ofrece una vía efectiva para actualizar y mejorar las prácticas docentes, fomentando un aprendizaje más

significativo y adaptado a las demandas contemporáneas.

Agradecimientos

Agradezco profundamente la oportunidad y la experiencia de haber formado parte del **Verano de la Ciencia de la UAQ**, espacio que me permitió enriquecer mi formación académica y personal a través del aprendizaje y la investigación.

De manera especial, expreso mi gratitud a la **Dra. Elizabeth Mendoza Morales**, quien con su motivación e impulso me incitó a participar en este proyecto y me brindó su valiosa asesoría y acompañamiento durante el desarrollo de esta investigación; su guía y confianza fueron fundamentales para llevar a cabo esta investigación, el cual representa un paso importante en mi crecimiento como estudiante de derecho y futura profesional.

Referencias bibliográficas

Morales, E. M., & Ureta, K. E. M. (2023). Acerca del derecho a la educación superior en México. Una perspectiva desde los retos e interacciones en el derecho constitucional y la administración pública en el Estado Mexicano. *Iustitia*, (22), 1. Disponible en: <https://revistas.ustabuca.edu.co/index.php/IUSTITIA/article/view/3021/2175>

Morales, E. M., & Ureta, K. E. M. (2019). El constructivismo en el ámbito jurídico al margen de la enseñanza y el aprendizaje del derecho en México. *Vitam. Revista de Investigación en Humanidades*, (2), 4-23. Disponible en: <https://revistavitam.mx/index.php/vitam/article/view/24/6>

Rafael Yépez Zambrano, Carlos Herrera Acosta, Estefanía Yépez Salguero, “La investigación jurídica como método de enseñanza, herramienta pedagógica

y estrategia de desarrollo integral”, *Biblioteca Jurídica Virtual, Instituto de Investigaciones Jurídicas, UNAM*, pp. 709–722. Disponible en <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/13/6350/41.pdf> [consultado en 2025]

Zaira Navarrete Cazales, Armando Alcántara Santuario, Zaida María Celis García, “Formación de profesores y actualización docente en la UNAM”, *Memoria electrónica del 17º Congreso COMIE (Área temática: Procesos de Formación)*, pp. 1–9. Disponible en <https://www.comie.org.mx/congreso/memoriaelectronica/v17/doc/1937.pdf> [consultado en 2025].

UNAM – DGAPA, “PAPIIME – Programa de Apoyo para la Profesionalización del Profesorado en la Enseñanza”, *sitio web institucional*, disponible en <https://dgapa.unam.mx/index.php/fortalecimiento-a-la-docencia/papime> [consultado en 2025].

SEMS (Subsecretaría de Educación Media Superior), “Programa de Formación, Capacitación y Actualización de Maestras y Maestros en la NEM de la Educación Media Superior”, *Registro de Desarrollo Profesional Docente (SEMS)*. Disponible en <https://registro.desarrolloprofesionaldocente.sems.gob.mx/> [consultado en agosto de 2025].

Secretaría de Educación Pública (SEP), “Estrategia Nacional de Formación Continua de Profesores de Educación Básica y Media Superior”, Portal de la SEP (GOB.mx). Disponible en <https://www.gob.mx/sep/acciones-y-programas/estrategia-nacional-de-formacion-continua-de-profesores-de-educacion-basica-y-media-superior-22968> [consultado en agosto de 2025].

Facultad de Derecho, Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), “Actividades – Planeación”, *Sitio*

web de la Facultad de Derecho (UAQ). Disponible en <https://derecho.uaq.mx/index.php/docentes/coord-planeacion/act-planeacion> [consultado en agosto de 2025].

Cobos Campos, Amalia Patricia, “Nuevas estrategias, herramientas y técnicas en la enseñanza del derecho frente a la pandemia”, *Biblioteca Jurídica Virtual, UNAM*, pp. 1–18. Disponible en <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/16/7560/14.pdf> [consultado en agosto de 2025].

CUAED, UNAM, “Formación docente en las universidades”, *publicación institucional (CUAED, UNAM)*, disponible en <https://cuaed.unam.mx/publicaciones/libro-formacion-docente-universidades/> [consultado en agosto de 2025].

Ebelia Mendoza Cortez, “La enseñanza del derecho desde la didáctica: formando un nuevo docente, un mediador del conocimiento”, *Biblioteca Jurídica Virtual, Instituto de Investigaciones Jurídicas, UNAM*, pp. 1–15. Disponible en <https://archivos.juridicas.unam.mx/www/bjv/libros/13/6227/20a.pdf> [consultado en agosto de 2025].

Extracción y purificación de DNA genómico en muestras fecales de ratón con obesidad inducida.

Paulina Lizbeth Carmona – Vargas,
Carlos Alberto Morales-Rocha, Perla
Viridiana Ocampo-Anguiano y Santiago
Marisela Ahumada - Solórzano.
santiago.marisela.ahumada@uaq.mx

Resumen

La obesidad es una patología con alta prevalencia que constituye un factor de riesgo para múltiples enfermedades crónicas. Se ha establecido una correlación directa entre esta condición y alteraciones en el bacterioma intestinal. Por lo que su análisis se ha posicionado como una herramienta fundamental para dilucidar la influencia de factores dietéticos en la salud intestinal. El objetivo principal de este estudio es estandarizar un protocolo eficiente y reproducible para la extracción de ADN genómico a partir de muestras fecales de ratones inducidos a obesidad y tratados con un suplemento de origen natural.

Este método tiene como fin proporcionar ADN de alta calidad y pureza, apto para análisis moleculares avanzados, como la secuenciación masiva del bacterioma intestinal. La correcta estandarización de este protocolo es crucial para garantizar la fiabilidad y comparabilidad de los resultados en la evaluación de los cambios en la composición y diversidad

del bacterioma intestinal en el contexto de la obesidad.

Palabras clave: Bacterioma intestinal, obesidad, ADN genómico.

Abstract

Obesity is a highly prevalent pathology and a risk factor for multiple chronic diseases. A direct correlation has been established between this condition and alterations in the intestinal microbiome, the analysis of which is a fundamental tool to elucidate how dietary factors influence intestinal health. The primary goal of this study is to standardize an efficient and reproducible protocol for the extraction of genomic DNA from fecal samples of mice. This method is designed to provide high-quality and pure DNA, suitable for advanced molecular analysis, such as massive 16S sequencing of the intestinal microbiome, in the context of obesity. Correct protocol standardization is crucial to ensure the reliability and comparability of results in the evaluation of changes in the composition and diversity of the intestinal bacteriome

Key words: Intestinal bacteriome, obesity, genomic DNA.

Introducción

El exceso de grasa corporal es reconocido actualmente como uno de los retos más importantes de salud pública en el mundo, dada su magnitud, la rapidez de su incremento y el efecto negativo que ejerce sobre la salud de la población que lo padece (Cuevas y Ryan, 2022). La obesidad es una enfermedad sistémica, crónica y multicausal que afecta a toda la población, es el principal factor de riesgo

para el desarrollo de enfermedades no transmisibles o crónico degenerativas como la diabetes tipo 2, la hipertensión arterial, dislipidemias, enfermedades cardiovasculares, osteoarticulares, ciertos tipos de cáncer, entre otras (Morales, 2019).

El exceso de grasa corporal es un proceso gradual que suele iniciarse en la infancia y la adolescencia, a partir de un desequilibrio entre la ingesta y el gasto energético. Su origen se vincula con factores genéticos y ambientales que determinan un trastorno metabólico que conduce a la acumulación de grasa corporal más allá del valor esperado según el género, la talla y la edad. La alta prevalencia del sobrepeso y obesidad está relacionada con los hábitos alimentarios y el modo de vida. En los últimos años, el consumo de dietas tradicionales basadas en alimentos ricos en proteínas, vitaminas y minerales de origen animal o vegetal ha sido reemplazada por productos con alto contenido energético y de grasas, particularmente saturadas, sodio y azúcares (Campos-Nonato et al., 2023).

En México, la prevalencia combinada de sobrepeso y obesidad afecta al 36% de la población infantil entre 5 a 11 años, porcentaje que representa cerca de 4 millones de menores. Por otra parte, estas enfermedades afectan a 38 de cada 100 adolescentes de entre 12 a 19 años mientras que en adultos la prevalencia combinada de sobrepeso y obesidad afecta a 8 de cada 10 personas. Estas cifras ubican a México en la segunda posición mundial en obesidad, superado solamente por Estados Unidos (Barquera et al., 2024).

El desarrollo de la obesidad, caracterizado por el consumo excesivo de grasas y azúcares, genera acumulación de tejido

adiposo y altera el metabolismo. Este proceso afecta la microbiota intestinal, disminuyendo la diversidad microbiana y promoviendo la disbiosis (Ocampo-Anguiano et al., 2024).

La microbiota intestinal, un ecosistema dinámico y diverso, regula la homeostasis intestinal e inmunitaria (Bretto et al., 2025).

Bacterias como *Ruminococcus brommi* degradan el moco intestinal, mientras que *Bacteroides fragilis* aumenta la expresión de proteínas de unión estrecha en el epitelio, fortaleciendo la barrera intestinal y reduciendo la permeabilidad. Sin embargo, el consumo de grasas y fructosa disminuye bacterias benéficas como *Bifidobacterium* y *Lactobacillus*, lo que agrava la disbiosis. La pérdida de estas bacterias afecta negativamente la producción de ácidos grasos de cadena corta (AGCC), esenciales para la salud intestinal (Tan R, et al., 2021, Jegatheesan et al., 2016).

Estudios como el de Ridaura et al., (2013) han mostrado que la microbiota de individuos obesos presenta una mayor expresión de genes bacterianos relacionados con la producción de aminoácidos de cadena ramificada (BCAA), como valina, leucina e isoleucina. Estos BCAA están asociados con resistencia a la insulina y características metabólicas de la obesidad. En contraste, la microbiota de individuos delgados favorece la digestión de polisacáridos y la fermentación en AGCC como butirato y propionato, que reducen la inflamación y mejoran el metabolismo energético.

La dieta juega un papel crucial en la composición y funcionalidad de la microbiota, dietas ricas en carbohidratos complejos favorecen bacterias productoras de AGCC, mientras que

dietas altas en grasas saturadas y proteínas incrementan metabolitos relacionados con inflamación y obesidad. Por ejemplo, el consumo de fibra y compuestos fenólicos, como los presentes en un suplemento enriquecido a base de hoja de frijol (BL), ha demostrado beneficios significativos en modelos animales alimentados con dieta alta en grasa y fructosa (HFFD). Estudios recientes indican que la suplementación con BL reduce la acumulación de grasa visceral, mejora la sensibilidad a la insulina, disminuye los triglicéridos y fortalece la barrera intestinal al reducir la permeabilidad intestinal y la endotoxemia, así como la inflamación sistémica (Becerril et al., 2022; Ocampo-Anguiano et al., 2024).

Estos hallazgos resaltan el papel crítico del microbioma en la regulación metabólica y su potencial como diana terapéutica.

Metodología

Para la extracción y purificación de ADN genómico de las heces, se siguió la metodología descrita a continuación.

Se esterilizó todo el material requerido en autoclave a las condiciones de 15 PSI, 121 °C durante 25 min con la finalidad de eliminar por completo cualquier forma de vida microbiana. Se pesaron 150 mg de muestra fecal. Se realizó una homogeneización mecánica con nitrógeno líquido en un mortero y se transfirió al tubo de lisis ZR bashing bead, se agregaron 750 µl de tampón de lisis y se agitó en vortex durante 5 min a velocidad constante. Posteriormente, los tubos fueron centrifugados en una microcentrífuga a 10,000 xg por 1 min, recuperándose hasta 400 µl del

sobrenadante, se transfirió el volumen a un filtro Zymo-Spin™ III-F y se centrifugó a 8,000 xg por 1 min.

El filtrado se mezcló con 1200 µl de buffer de lisis genómico, y de esta solución se cargó una alícuota de 800 µl en una columna Zymo-Spin™ IICR, centrifugando a 10,000 xg por 1 min, se descartó el líquido eluido y se repitió este último paso. Se lavó la columna con 200 µl de DNA pre-wash-buffer y posteriormente se añadió 500 µl de g-DNA wash buffer, en ambos casos centrifugando 1 min a 10,000 xg. El ADN se eluyó añadiendo 100 µl de DNA elution buffer a la columna, seguido de una centrifugación de 30 seg a 10,000 xg. En paralelo se preparó un nuevo filtro Zymo-Spin™ III-HRC con 600 µl de prep solution, centrifugado a 8,000 xg por 3 min. Finalmente, el ADN obtenido se purificó con una última centrifugación del eluido a través del filtro, 16,000 xg por 3 min.

Se evaluó la pureza del ADN genómico en un espectrofotómetro nanodrop, revisando que los valores de los ratios a 260/280 nm (proteínas) y 230/260 (sales, químicos y detergentes) nm fueran cercanos o iguales a 2, indicativos de pureza. Para proceder con la secuenciación, es necesario contar con un volumen total mínimo 30 µl de ADN a una concentración de 20 ng/µl y presentar una pureza con ratios 260/280 mayores a 1.7 y 260/230 mayores a 2.0.

Resultados.

Tabla 1. Conjunto de datos de la lectura en nanodrop del gDNA purificado.

Muestra	Concentración de ADN (ng/μl)	Contaminantes A260/A280	Contaminantes A260/A230
1	37.6	1.94	1.39
2	39.3	1.99	0.65
3	65	1.94	1.58
4	52	1.95	1.42
5	23.1	2.1	0.59
6	51.9	1.95	1.37
7	63	1.93	1.56

Tabla 2. Valores estadísticos para estandarización de los datos.

	Media	Desviación Estándar	Coefficiente de variación
Concentración de ADN (ng/μl)	47.41 ng/μL	15 ng/μL	31.7%
Contaminantes A260/A280	1.97	0.06	3%
Contaminantes A260/A230	1.22	0.42	34.4%

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Ec. 1 Fórmula de desviación estándar

Donde:

s = desviación estándar de la muestra
xi = cada valor individual de la muestra

$\bar{x}$ = media de la muestra
n = tamaño de la muestra
n - 1 = grados de libertad

$$CV = \frac{DE}{Media} \times 100$$

Ec. 2 Fórmula de coeficiente de variación

El coeficiente de variación toma valores entre 0 y 1. Si el coeficiente es próximo al 0 (CV bajo), significa que existe poca variabilidad en los datos y es una muestra muy compacta. En cambio, si tienden a 1 (CV alto) es una muestra muy dispersa y la media pierde confiabilidad. Cuando el coeficiente de variación supera el 30% (0.3) la media es poco representativa y se considera alto (Serra, 2020).

El coeficiente de variación de la concentración de ADN de las 7 repeticiones es de 31.7% (Tabla 2), este porcentaje indica una alta dispersión de los datos con relación a la media. Esto sugiere que la cantidad de ADN recuperada varió considerablemente entre las extracciones con un rango de 41.9 ng/μl. La alta variabilidad observada puede deberse a varios factores del protocolo, como la eficiencia de la lisis celular, recuperación durante la precipitación o pérdidas en los pasos de lavado. A pesar de la variabilidad, todas las extracciones produjeron concentraciones de ADN genómico aceptable (> 20 ng/μl) indicando que el protocolo es funcional aunque requiere ajustes para mejorar reproducibilidad y consistencia de la concentración.

La pureza asociada a DNA/RNA (A260/A280) es consistente y adecuada (Tabla 2) ya que el 100% de las muestras se encuentran dentro del rango aceptable

(1.8 - 2.0), la media fue 1.97 ± 0.06 y CV del 3%, esto indica una menor dispersión, lo cual brinda resultados confiables y reproducibles, además cumple con el requerimiento solicitado para enviar a secuenciar.

Por el contrario, los valores de A260/A230 obtenidos en todas las extracciones presentaron una media de 1.22 ± 0.42 , correspondiente a un coeficiente de variación del 34.4%, esto indica una alta dispersión de los datos, sugiriendo mejorar la técnica de extracción para obtener resultados confiables. Considerando que el valor óptimo de A260/A230 para gADN puro es cercano a 2.0, los resultados indican que el 100% de las extracciones contienen contaminación residual significativa, provenientes de sales, detergentes o buffers utilizados en la extracción y por tanto aún no cumplen los requisitos para enviar a secuenciar.

Conclusiones

El protocolo de extracción de ADN genómico (gADN) demostró ser reproducible, logrando una concentración adecuada y una pureza aceptable de ácidos nucleicos. No obstante, se observó variabilidad en la concentración final de gADN y la presencia de contaminantes químicos residuales, lo que indica que la pureza química del ADN no es homogénea ni óptima. Para mejorar la calidad de las muestras, se requiere optimizar el proceso de lavado y purificación a fin de eliminar por completo la presencia de contaminantes como sales, tampones y detergentes, lo

cual es crucial para la fiabilidad de análisis moleculares subsecuentes, como la secuenciación para determinar los cambios en la diversidad del microbioma intestinal favorecidos por el suplemento de BL como tratamiento en obesidad.

Agradecimientos. Al equipo del Laboratorio de Inv. Interdisciplinaria en Biomedicina, FCN, UAQ, campus Juriquilla donde se realizó este proyecto. Apoyo financiero FOPER-2025-FCN 04064.

Referencias

A. Becerril-Campos., P. V. Ocampo-Anguiano, C. Mondragón-Jacobo, et al., “*Phaseolus vulgaris* L. leaves increase short-chain fatty acid (SCFA) production, ameliorating early metabolic alterations” *Plant Foods for Hum Nutr*, 77, 1–6. (2022) Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11130-022-00992-1> (consultado en 2025)

A. Cuevas y D. Ryan., “Obesidad: la otra pandemia del siglo XXI” *Festima Lente: World Obesity Federation* (2022). Disponible en: <https://doi.org/10.21149/14809>. (consultado en 20 (consultado 25)

B. R. Serra, . (2020, March 3). *Coeficiente de variación de Pearson*. Universo Formulas. Disponible en: <https://www.universoformulas.com/estadistica/descriptiva/coeficiente-variacion-pearson/#:~:text=Si%20el%20coeficiente%20es%20pr%C3%B3ximamente%20coeficiente%20no%20tiene%20unidades.>

C. Morales-Fuhrman. “*Intervención en Novo Nordisk Leaders*”. *Playa del Carmen, Quintana Roo, México*. Disponible en: <https://bit.ly/3caHvWp> (consultado el 2025)

E. Bretto, M. Urpi-Ferreruela, G. R. Cassanova, B. González-Suárez., “The Role of Gut Microbiota in Gastrointestinal Immune Homeostasis and Inflammation: Implications for Inflammatory Bowel Disease” *Biomedicine*, 13(8), 1807 (2025) Disponible en:

<https://doi.org/10.3390/biomedicines13081807>.
(consultado en 2025).

I. Campos-Nonato, O. Galván-Valencia, L. Hernández-Barrera, et al., “Prevalencia de obesidad y factores de riesgo asociados en adultos mexicanos: resultados de la Ensanut 2022.” *Salud Pública de México* 65, s238–s247, (2022). Disponible en: <https://doi.org/10.21149/14809> (consultado en 2025).

Minitab, Acerca de las hipótesis nula y alternativa. (2025). Disponible en <https://support.minitab.com/es-mx/minitab/help-and-how-to/statistics/basic-statistics/supporting-topics/basics/null-and-alternative-hypotheses/>

P. V. Ocampo-Anguiano, R. Camacho-Reynoso, A. M. Olvera-Ramírez N. E. Rocha-Guzmán., et al, (2024). “*Ingestion of Bean Leaves Reduces Metabolic Complications and Restores Intestinal Integrity in C57BL/6 Mice with Obesity Induced by a High-Fat and High-Fructose Diet*”. *Nutrients*, 26. (2024) Disponible en: <https://doi.org/10.3390/nu16030367>

consultado en 2025)

R. Tan, H. Dong, Z. Chen, M. Jin, J. Yin, H. Li, D. Shi, Y. Shao, H. Wang, T. Chen, D. Yang, J. Li., “Intestinal Microbiota Mediates High-Fructose and High-Fat Diets to Induce Chronic Intestinal Inflammation” *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 11, 654074 (2021). Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fcimb.2021.654074>. (Consultado en 2025).

S. Barquera, L. Hernández - Barrera, C. Oviedo-Solís, et al., “Obesidad en adultos”, *Salud Pública de México*, 2024. Disponible en: <https://doi.org/10.21149/15863> (consultado en 2025)

V. Ridaura et al. (2013). *Gut microbiota from twins discordant for obesity modulate metabolism in mice*. *Science*, 341(6150). Disponible en:

Incremento del fósforo disponible en composta madura

Rebeca Xilotl Jurado¹, Ireri A. Carbajal Valenzuela¹, Ramón G. Guevara González², Adrián E. Ortega Torres².

1. Facultad de Química, Universidad Autónoma de Querétaro, Cerro de las Campanas S/N, Las Campanas, Santiago de Querétaro 76010, México.
2. Posgrado en Biosistemas, Centro de Investigaciones Aplicadas en Biosistemas (CIAB), Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro, Campus Amazcala, Carretera Chichimequillas, S/N km 1, El Marqués 76265, México.

Correos electrónicos

Rebeca Xilotl Jurado: rexilotl@gmail.com

Ireri A. Carbajal Valenzuela: ireri.carbajal@uaq.mx

Ramón G. Guevara González: ramon.guevara@uaq.mx

Adrián E. Ortega Torres: adrianesotorres@gmail.com

Resumen

El fósforo (P) es el segundo nutriente más importante para la vida vegetal, sin embargo, en el suelo tiende a formar compuestos insolubles que las plantas no pueden absorber fácilmente. Su principal fuente agrícola proviene de depósitos de roca fosfórica finitas, un recurso no renovable concentrado en solo cinco países, y donde su valor ha incrementado hasta 800%. Los fertilizantes químicos fosfatados son la solución más común, pero solo alrededor del 5% del P aplicado es aprovechado por las plantas, el resto se fija al interactuar con Al, Ca y Fe, limitando su disponibilidad. Esta situación impacta la capacidad de contribución de nuestros productores en lo que concierne a la soberanía alimentaria de México. Una alternativa sostenible para mejorar la disponibilidad de P son los microorganismos solubilizadores y mineralizadores, capaces de liberar formas inorgánicas de P mediante la producción de ácidos

orgánicos y enzimas. En ese sentido, el compostaje se considera una estrategia prometedora para mejorar la estructura, fertilidad y la disponibilidad del P en suelo. Sin embargo, en composta madura solo se ha logrado liberar el 15% de P, dejando un potencial de aprovechamiento del 85%. Con esta propuesta se pretende incrementar el P disponible en las compostas maduras mediante el uso de consorcios de microorganismos nativos y elicitados por nanoestructuras de óxido de sílice. El objetivo es que la acción en consorcio en sinergia libere al menos hasta un 30% de P disponible de la composta madura.

Palabras clave: solubilización de fósforo, consorcio microbiano, nanopartículas de sílice, composta, elicitación bacteriana

Abstract

Phosphorus (P) is the second most important nutrient for plant life; however, in soil, it tends to form insoluble compounds that plants cannot easily absorb. Its main agricultural source comes from finite phosphate rock deposits, a non-renewable resource concentrated in only five countries, where its value has increased by up to 800%. Chemical phosphate fertilizers are the most common solution, but only about 5% of the applied P is utilized by plants, while the rest becomes fixed through interactions with Al, Ca, and Fe, limiting its availability. This situation affects the ability of Mexican producers to contribute to national food sovereignty. A sustainable alternative to improve P availability is the use of solubilizing and mineralizing microorganisms, which can release inorganic forms of P through the production of organic acids and enzymes. In this regard, composting is considered a promising strategy to enhance soil structure, fertility, and P availability. However, in mature compost, only 15% of P has been released so far, leaving an 85% potential yet to be utilized. This proposal aims to increase the available P in mature compost by using consortia of native microorganisms elicited by silicon oxide nanostructures. The objective is that the synergistic action within the consortium will release at least 30% of the available P from mature compost.

Keywords: phosphorus solubilization, microbial consortium, silica nanoparticles, compost, bacterial elicitation

Introducción

El fósforo (P) es el segundo nutriente más importante para las plantas, es esencial para su desarrollo y crecimiento, sin embargo, en suelos es altamente reactivo y tiende a formar compuestos insolubles que las plantas no pueden absorber fácilmente. Su principal fuente en la agricultura son los depósitos de roca fosfórica, un recurso no renovable que se concentra en sólo cinco países. Esta distribución desigual, junto con el aumento de la demanda global, ha provocado que su valor aumente hasta un 800%, dificultando el acceso para muchos agricultores (Rittman et al., 2011; Cordell y Neset, 2014). La solución más común y de fácil acceso, son los fertilizantes químicos fosfatados, se estima que en su aplicación sólo el 5% queda disponible para las plantas ya que rápidamente se fija en el suelo limitando su disponibilidad (Pande et al., 2017). Aunado a esto, el P interacciona fácilmente con elementos como Al, Ca y Fe, lo que representa un problema ya que las plantas solo pueden absorberlo en formas inorgánicas como ortofosfatos y polifosfatos (Cordovés-Herrera et al., 2013). Una alternativa sostenible son los microorganismos solubilizadores de fósforo (MSP), capaces de liberar el fósforo fijado en el suelo mediante la producción de ácidos orgánicos que disuelven a los minerales que lo inmovilizan para obtener fosfatos como $H_2PO_4^-$ y $H_2PO_4^{2-}$ (Ulla, 2012). También existen los microorganismos mineralizadores que transforman las formas orgánicas del fósforo en inorgánicas a través de enzimas fosfatasas y fitasas (Castro-Barquero & Vargas-Barrante 2019).

El compostaje es un proceso biológico de los microorganismos que transforma a los residuos orgánicos en composta rica en nutrientes. Este producto, mejora las propiedades del suelo al incrementar su contenido de materia orgánica, mejorar su estructura, la retención de agua y nutrientes, y estimular la actividad microbiana (Sela, 2020). Este proceso consta de cuatro fases: dos

mesofílicas, una termofílica y la maduración (Meena et al., 2021). Durante las fases mesofílicas, predominan bacterias heterótrofas que producen ácidos orgánicos y son parte fundamental en el ciclo del fósforo (Fernández & Rodríguez, 2005). Sin embargo, hasta ahora solo se ha logrado liberar un 15% del P contenido en composta madura, lo que indica que hay un remanente del 85% aún no aprovechado.

Por otro lado, la elicitación microbiana es un proceso que busca estimular la respuesta fisiológica en los microorganismos por medio de agentes eustresores, generando una respuesta que se traduce en la producción de metabolitos secundarios o enzimas de interés biotecnológico (Quintana, 2017). En este sentido, las nanopartículas como agentes elicitors han tenido relevancia ya que por su tamaño, estructura y reactividad, pueden inducir estas respuestas. Ferrusquía-Jimenez et al. (2022) demostraron que la aplicación de nanopartículas de óxido de sílice (SiO_2) 100 ppm a *Bacillus cereus*-Amazcala, mejora la solubilización de fósforo y aumenta la actividad enzimática antioxidante, actuando como eustresor sin dañar a la bacteria.

En este contexto, se propone incrementar el fósforo disponible en compostas maduras, mediante el empleo de un consorcio nativo elicitado con NPs de (SiO_2), que va a permitir liberar al menos un 30% del P y va a contribuir a resolver problemáticas ambientales y sociales que afectan a comunidades rurales y pequeños productores.

Objetivos

Realizar la elicitación de un consorcio solubilizador de fósforo, por medio de nanopartículas de óxido de sílice (NP SiO_2) y medir su capacidad de liberar fósforo en composta madura.

Identificar la morfología macroscópica y microscópica del consorcio.

Medir la capacidad del consorcio elicitado y sin elicitar, para liberar P disponible en la composta madura.

Metodología

1. Crecimiento y aislamiento de microorganismos.
Se trabajó con 4 cepas de microorganismos de las etapas de solubilización y mineralización. Estas fueron previamente aisladas por el equipo de trabajo, a partir de muestras de composta en fases mesofílicas. Las cepas se cultivaron en medio agar LB mediante la técnica de estriado por agotamiento y se incubaron a temperatura ambiente. Posteriormente, se realizaron dos rondas de resiembras en condiciones similares para obtener cultivos completamente aislados.

2. Tinción de Gram

Se prepararon frotis bacterianos a partir de cultivos frescos de las cepas aisladas. La tinción se realizó siguiendo el método de Gram. Inicialmente, se aplicó cristal violeta durante 30 segundos, seguido de lugol durante un minuto para fijar el colorante. Posteriormente, se realizó una decoloración utilizando etanol al 95% durante 20 segundos y se enjuagó con agua destilada. A continuación se aplicó safranina como colorante de contraste durante un minuto, y finalmente se lavaron los frotis nuevamente con agua. Las muestras teñidas se observaron al microscopio óptico en los objetivos 40X y 100X con aceite de inmersión. Como control positivo se utilizó *Clavibacter*, una bacteria gram positiva, para verificar la efectividad del procedimiento.

3. Activación de las cepas

Las cuatro cepas aisladas de la composta se activaron individualmente en tres tubos Eppendorf con 1 ml de caldo LB y se mantuvieron a temperatura ambiente por 24 horas.

4. Tratamiento de las cepas

Se prepararon dos medios de caldo PDB: uno con nanopartículas de óxido de sílice (SiO_2) SBA15 en 100 ppm y otro sin nanopartículas. Las cepas previamente activadas se centrifugaron y se añadieron como se muestra en la siguiente tabla. Estas se dejaron en incubación con agitación a 200 rpm por 24 horas.

Tabla 1. Planteamiento de los tratamientos elicitados y sin elicitar.

Medio	Tratamiento	Clave
	Consortio elicitado	TCE
	Sobrenadante elicitado	TSE

PDB con NP SiO_2	Consortio + Sobrenadante Elicitados	TCSE
PDB sin NP SiO_2	Consortio	TC
	Sobrenadante	TS
	Consortio + Sobrenadante	TCS

5. Aplicación en composta

La composta fue previamente tamizada con una malla de 0.29 mm para obtener una textura homogénea. Se colocaron 50 g de composta en platos de unicel, distribuyéndola uniformemente a lo largo de la superficie del plato. A cada plato se le aplicó el tratamiento correspondiente en una proporción 1:1 (p/v), equivalente al 20% del volumen total y se mezcló bien hasta homogenizar la mezcla. Los tratamientos se aplicaron por triplicado y posteriormente se llevaron a analizar en el laboratorio de suelos del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) para determinar el P Olsen liberado en la composta.

Resultados

A continuación se enlistan los resultados morfológicos de las cepas aisladas. Se clasificaron y codificaron de acuerdo a las fases mesofílicas (F1=fase 1 y F3= fase 3), y al medio de crecimiento (P= pikovskaya, N=neutro, A=ácido y B=básico).

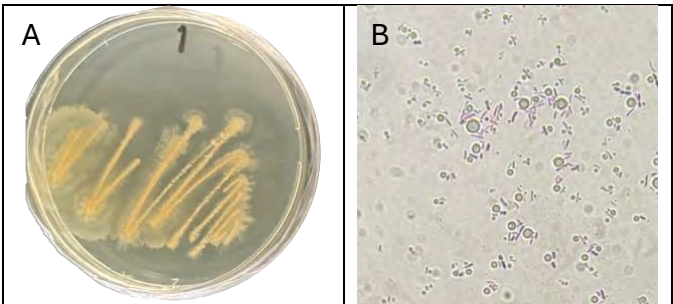


Fig 1. Morfología macroscópica (A) y tinción de gram (B) de la cepa solubilizadora 1-F1P

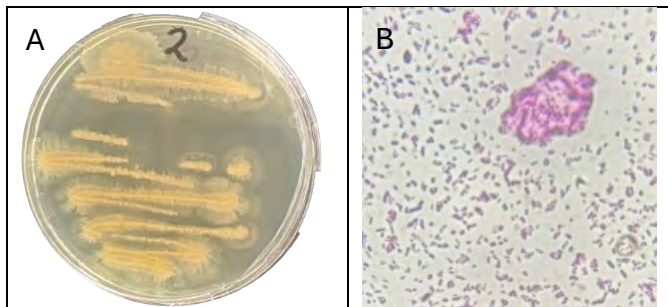


Fig 2. Morfología macroscópica (A) y tinción de gram (B) de la cepa solubilizadora 2-F3P

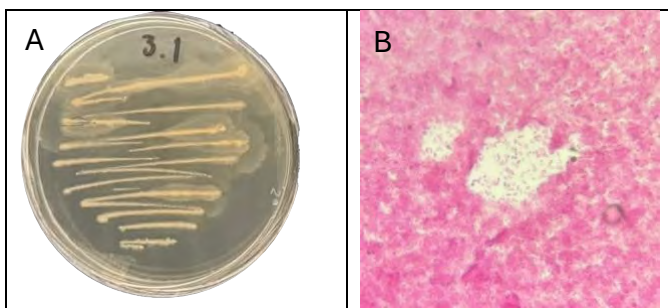


Fig 3. Morfología macroscópica (A) y tinción de gram (B) de la cepa mineralizadora 3.1-F3N

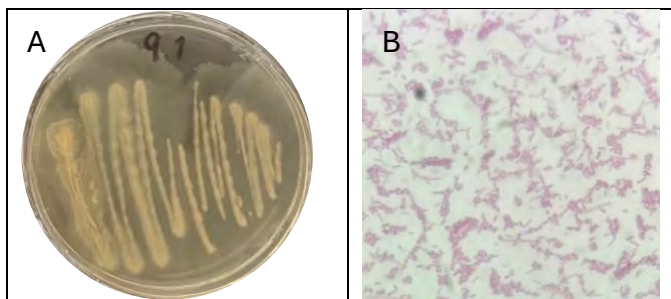


Fig 4. Morfología macroscópica (A) y tinción de gram (B) de la cepa mineralizadora 9.1-F1B

Las cuatro cepas aisladas mostraron características fisiológicas similares, tanto en morfología como en la tinción de gram, lo que sugiere que pertenecen al mismo grupo taxonómico. Con la ayuda del control positivo, se confirmó que las cuatro corresponden al género *Bacillus*. En las Fig. 1 y 2, correspondientes a las cepas solubilizadoras, la tinción de gram evidenció una coloración morada, indicando que son bacterias gram positivas. Sin embargo, para las cepas mineralizadoras en Fig. 3 y 4, las bacterias se tiñeron de rosa, lo que significa que fueron gram negativas. Esta diferencia de tinción se debe a la composición de la pared celular: las gram positivas poseen una capa gruesa de peptidoglicano que retiene el cristal violeta,

mostrando un color morado; mientras que las gram negativas tienen una pared celular más delgada y una membrana externa que no retiene este colorante por lo que se tiñen con la safranina.

Los resultados del análisis del INIFAP se muestran a continuación. Se calculó el porcentaje de fósforo de Olsen para determinar la cantidad de fósforo disponible que queda en la composta después de la aplicación de los tratamientos. El color azul representa los tratamientos elicitados con NP SiO_2 , el naranja los tratamientos sin elicitar y el verde el control que en este caso se utilizó agua destilada. Se utilizan las claves de la Tabla 1 para nombrar a los tratamientos.

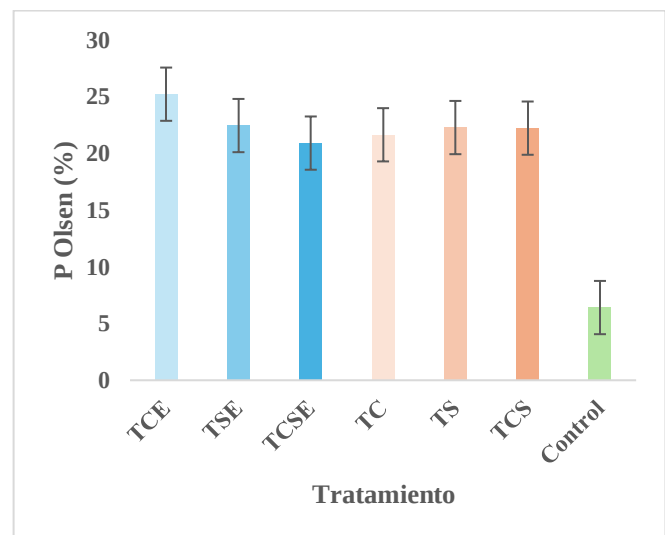


Fig 5. P disponible en composta madura.

Discusión

Diversos estudios han demostrado que los consorcios solubilizadores comúnmente están formados por bacterias como *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Staphylococcus* y *Enterobacter*, en las que predominan las gram negativas en ambientes rizosféricos y de compostaje (Chen et al., 2024). Sin embargo, también se ha documentado la presencia de *Bacillus* spp. como buenos solubilizadores, destacando su resistencia, su capacidad de esporulación y producción de enzimas fosfatasas y ácidos orgánicos (Pan & Cai, 2023). En este sentido, el hecho de que haya una diferencia morfológica en bacterias solubilizadoras y mineralizadoras se puede

asociar a las condiciones de crecimiento, el medio de cultivo y el metabolismo de las bacterias. Las gram positivas suelen ser más tolerantes a las condiciones ambientales, mientras que las gram negativas pueden destacar en procesos enzimáticos de la mineralización.

En este estudio, se evaluó el efecto de los tratamientos con y sin elicitación sobre la liberación de P en composta madura (Fig 5). La importancia de incluir el sobrenadante como tratamiento independiente, radica en su riqueza enzimática y metabólica secretados por las bacterias durante su crecimiento, como fosfatasa y ácidos orgánicos, que juegan un papel importante en la liberación del P. En suelo, solo el fósforo inorgánico (Pi) puede ser absorbido por las plantas; los MSP contribuyen liberando Pi a partir de P inmovilizado mediante la producción de ácidos orgánicos y de fósforo orgánico (Po) a través de enzimas como fosfatasa (Ortega-Torres et al., 2021).

Los resultados mostraron que los tratamientos elicitados presentaron una mayor liberación de P que los no elicitados. El consorcio elicitado (TCE) alcanzó el valor más alto, con aproximadamente 25% de P disponible, lo que indica que la exposición de los microorganismos a las NPs SiO_2 estimuló su actividad solubilizadora. En segundo lugar el sobrenadante elicitado (TSE) liberó cerca del 22% de P, lo que confirma que las enzimas y compuestos producidos en presencia de las NPs también contribuyen significativamente. Por otro lado, los tratamientos sin elicitar (TC, TS y TCS) mostraron valores similares de liberación en un rango del 21-22%, mientras que el control se mantuvo muy debajo (7%). Al comparar estos resultados con lo reportado por Ortega-Torres (2021), quien obtuvo un 12.7% de Pi utilizando *Pseudomonas*, se confirma que la elicitación con NPs y el uso de *Bacillus* potencian significativamente la solubilización de fósforo. Esto refuerza que utilizar cepas nativas contribuye en obtener mejores resultados y al construir el consorcio solubilizador y elicitarlas, aumenta sinérgicamente la efectividad de reciclar el P, siendo uno de los primeros trabajos en reportar esta liberación en composta madura.

Conclusión

Se esperaba liberar hasta un 30% de P disponible en composta madura, nosotros logramos liberar un 25% que sigue siendo un buen porcentaje de liberación a lo que se ha reportado en la literatura. Se demostró que las NPs SiO_2 actúan como eficaces elicitores, potenciando la capacidad solubilizadora del consorcio microbiano. Sin embargo, se recomienda realizar análisis estadísticos adicionales para confirmar la significancia de las diferencias observadas y caracterizar mejor los mecanismos involucrados. Así mismo, determinamos la morfología de las bacterias presentes en el consorcio y se comprobó la naturaleza como MSP.

Agradecimientos

Agradezco al CIAB, Campus Amazcala, así como al Dr. Ramón Guevara por la oportunidad y las facilidades otorgadas. Así mismo, expreso mi profundo agradecimiento a la Dra. Ileri Carbajal y el Dr. Adrián Ortega por su valiosa orientación, apoyo y acompañamiento durante el desarrollo de este proyecto.

Referencias

- Castro-Barquero, L., & Vargas-Barrante, P. (2019). *Aislamiento y evaluación de microorganismos solubilizadores de fósforo de Andisoles de Costa Rica*. Agronomía Costarricense, Vol. 43, Núm. 1, Pp. 47-68. <https://doi.org/10.15517/rac.v43i1.35649>
- Chen, X., Zhao, Y., Huang, S., Peñuelas, J., Sardans, J., Wang, L., & Zheng, B. (2024). Genome-based identification of phosphate-solubilizing capacities of soil bacterial isolates. *AMB Express*, 14(1), 85. <https://doi.org/10.1186/s13568-024-01745-w>
- Cordell, D.; Neset, T. S.S.; 2014; Phosphorus vulnerability: A qualitative framework for assessing the vulnerability of national and regional food systems to the multidimensional stressors of phosphorus scarcity; *Global Environment Change*; 24:108-122
- Cordovés-Herrera, M., Sáenz-Coopat, T., & Cabello-Balbín, A. (2013). ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar. REDALYC, 47, 31-37. <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223114970009.pdf>
- Fernández, M. T., & Rodríguez, H. (2005). El papel de la solubilización de fósforo en los biofertilizantes microbianos. ICIDCA. Sobre Los Derivados de La Caña de Azúcar, 47, 31-37. <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120688005.pdf>
- Ferrusquía-Jiménez, N. I., González-Arias, B., Rosales, A., Esquivel, K., Escamilla-Silva, E. M., Ortega-Torres, A. E., & Guevara-González, R. G.

(2022). Elicitation of *Bacillus cereus*-Amazcala (B.c-A) with SiO₂ Nanoparticles Improves Its Role as a Plant Growth-Promoting Bacteria (PGPB) in Chili Pepper Plants. *Plants* (Basel, Switzerland), 11(24), 3445. <https://doi.org/10.3390/plants11243445>

Meena, A., et al. (2021). Composting: Phases and Factors Responsible for Efficient and Improved Composting. *Agriculture & Food*.

Ortega-Torres, A.E.; Rico-García, E.; Guzmán-Cruz, R.; Torres-Pacheco, I.; Tovar-Pérez, E.G.; Guevara-González, R.G. Addition of Phosphatases and Phytases to Mature Compost to Increase Available Phosphorus: A Short Study. *Agronomy* 2021, 11, 2555. <https://doi.org/10.3390/agronomy11122555>

Pan, L., & Cai, B. (2023). Phosphate-solubilizing bacteria: Advances in their physiology, molecular mechanisms and microbial community effects. *Microorganisms*, 11(12). <https://doi.org/10.3390/microorganisms11122904>

Pande, A., Pandey, P., Mehra, S., Singh, M., & Kaushik, S. (2017). Phenotypic and genotypic characterization of phosphate solubilizing bacteria and their efficiency on the growth of maize. *Journal, Genetic Engineering & Biotechnology*, 15(2), 379–391. <https://doi.org/10.1016/j.jgeb.2017.06.005>

Quintana, S. C. (2017). Evaluación de la producción de paclitaxel en cultivos celulares de *Taxus globosa* (Schltdl) elicitados con metil jasmonato y ácido salicílico. Unam.Mx. <https://tesiunamdocumentos.dgb.unam.mx/ptd2017/mayo/0759084/0759084.pdf>

Rittmann, Bruce E.; Mayer, Brooke; Westerhoff, Paul; Edwards, Mark; 2011; Capturing the lost phosphorus; *Chemosphere*; 84:846-853.
Sela, I. G. (2020, January 13). Composta – que es y cómo utilizarla correctamente. *Cropaia*. <https://croipaia.com/es/blog/composta-que-es/>

Ulla, E. (2012). Microorganismos solubilizadores de fosfato en dos regiones agroecológicas de la provincia de Tucumán. *Revista Agronómica del Noroeste Argentino*. 32. 31-40.

Estudio del comportamiento de *Salmonella enterica* en un modelo gastrointestinal *in vitro*

Santiago García Huerta, Angélica Godínez Oviedo.

Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Química C.U. Cerro de las Campanas s/n. Col. Las Campanas, C.P. 76010, Querétaro, Qro.

sgarcía97@alumnos.uaq.mx

Resumen

Salmonella enterica es un patógeno que causa enfermedades transmitidas por alimentos y es de gran importancia en la salud pública a nivel mundial. Las cepas varían en la virulencia lo que dificulta predecir su efecto en la población. Este proyecto buscó realizar una simulación *in vitro* del tracto gastrointestinal humano para analizar la sobrevivencia de *S. enterica*. Para ello, cepas de este microorganismo con distintos niveles de virulencia se evaluaron en un modelo experimental que simula tres etapas del tracto digestivo (boca, estómago e intestino) y se determinó su sobrevivencia en cada una de las etapas simuladas de este proceso. Se encontró una diferencia significativa ($p < 0.05$) en la reducción del patógeno entre las cepas de alta virulencia y las de moderada y baja virulencia tras la fase estomacal, siendo estas dos últimas las más reducidas.

Palabras clave: *Salmonella entérica*, dinámica de comportamiento, virulencia, simulación *in vitro* gastrointestinal.

Summary

Salmonella enterica is a pathogen that causes foodborne illnesses and is of great importance to

public health worldwide. The strains vary in virulence, which makes it difficult to predict their impact on the population. This project aimed to perform an *in vitro* simulation of the human gastrointestinal tract to analyze the survival of *S. enterica*. To achieve this, strains of the microorganism with different levels of virulence were evaluated in an experimental model that simulates three stages of the digestive tract (mouth, stomach, and intestine), and their survival was assessed at each simulated stage of the process. A significant difference ($p < 0.05$) was found in pathogen reduction between the highly virulent strains and those with moderate and low virulence after the stomach phase, with the latter two showing the greatest reduction.

Keywords: *Salmonella enterica*, behavior dynamics, virulence, *in vitro* gastrointestinal simulation.

Introducción

Las enfermedades transmitidas por alimentos representan un problema de salud pública mundial, siendo *S. enterica* uno de los principales patógenos causantes de estas (Schlundt, 2017). Dentro de esta especie existe una enorme variabilidad genética y fenotípica que dificulta las estimaciones de riesgo y la implementación de estrategias efectivas para su control. Aunque los avances en secuenciación genómica han permitido identificar factores de virulencia, la correlación entre la información genotípica y fenotípica sigue siendo un desafío. La virulencia y capacidad de supervivencia de *S. enterica* puede depender de su material genético, pero también de características fenotípicas que pueden moldearse con el tiempo en respuesta a condiciones ambientales y de hospedero, lo que hace aún más complejo su estudio y predicción (Yuk & Schneider, 2006).

Las Nuevas Metodologías de Enfoque (*New Approach Methodologies*, NAMs) engloban una variedad de herramientas avanzadas, como modelos computacionales *in silico*, ensayos *in vitro*, tecnologías ómicas, *in chemico* y alternativas *in vivo*. Estas metodologías ofrecen información más

específica sobre la exposición a riesgos químicos y biológicos en seres humanos, al tiempo que disminuyen la necesidad de experimentación con animales, alineándose con las regulaciones emergentes. Todas estas metodologías son acordes a los principios de las 3R en investigación (reemplazo, reducción y refinamiento), proporcionando enfoques basados en la comprensión de los procesos biológicos, lo que permite una extrapolación más precisa de los datos obtenidos experimentalmente a los seres humanos (Manful et al., 2023). En este sentido, los enfoques de metodologías *in vitro* también ofrecen la ventaja de mantener factores específicos regulados con rigurosidad (FAO/WHO, 2003).

Objetivo de esta investigación es utilizar un modelo *in vitro* que simule al tracto gastrointestinal humano considerando un sistema de tres etapas principales, boca, estómago e intestino, para observar la dinámica de comportamiento de distintas cepas de *S. enterica* con distintos perfiles genómicos de virulencia, lo cual es un factor innovador que no es considerado en la mayoría de estudios similares, donde únicamente se evalúan distintas cepas sin conocer sus características (den Besten et al., 2018; Haddad et al., 2018). Los conocimientos derivados de esta investigación podrían contribuir a una mejor comprensión de los mecanismos que determinan la patogenicidad de *S. enterica*, y, en última instancia, ayudarnos a encontrar mejores alternativas para la prevención de enfermedades transmitidas por los alimentos.

Objetivo

Evaluar la sobrevivencia de cepas de *Salmonella enterica* categorizadas por nivel de virulencia a partir de sus datos genómicos en un sistema de simulación *in vitro* del tracto gastrointestinal humano.

Metodología

Se seleccionaron 12 cepas de *S. enterica* resistentes a 100 ppm de rifampicina y clasificaron de acuerdo a la presencia o ausencia de 13 genes de virulencia como lo indica Godínez-Oviedo, A. (2022) en tres niveles

de virulencia, siendo 8 cepas de nivel bajo, 2 de nivel moderado y 2 de nivel alto. La evaluación de la sobrevivencia de las cepas seleccionadas se desarrolló simulando el comportamiento del patógeno en tres fases, boca, estómago e intestino con soluciones simuladas como lo establece Minekus, et al., (2014).

Se inocularon 2.5mL de agua destilada estéril con 100µL de una suspensión de *S. enterica* (1×10^9 UFC/mL). Posteriormente se le añadieron 2.5mL de solución de saliva artificial pH 7.0 ± 0.2 (15.1 mM KCl, 3.7 mM KH_2PO_4 , 13.6 mM NaHCO_3 , 0.15 mM $\text{MgCl}_2(\text{H}_2\text{O})_6$, 0.06 mM $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, 1.5 mM $\text{CaCl}_2(\text{H}_2\text{O})_2$) y se homogeneizó durante 5 minutos para simular condiciones mecánicas de masticación.

A la mezcla agua-saliva se le adicionaron 5mL de jugo gástrico artificial pH 2.0 ± 0.2 (6.9 mM KCl, 0.9 mM KH_2PO_4 , 25 mM NaHCO_3 , 47.2 mM NaCl, 0.12 mM $\text{MgCl}_2(\text{H}_2\text{O})_6$, 0.5 mM $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, 0.15 mM $\text{CaCl}_2(\text{H}_2\text{O})_2$) y 0.055 g de pepsina y se incubó en un baño con agitación (150 rpm) durante 2 horas a 37 °C.

Finalmente, a la mezcla agua-saliva-jugo gástrico se le adicionaron 10mL de solución intestinal artificial pH 7.0 ± 0.2 (6.8 mM KCl, 0.8 mM KH_2PO_4 , 85 mM NaHCO_3 , 38.4 mM NaCl, 0.33 mM $\text{MgCl}_2(\text{H}_2\text{O})_6$, 0.6 mM $\text{CaCl}_2(\text{H}_2\text{O})_2$) con 0.006 g de bilis de buey y 0.0052g de pancreatina, y nuevamente se incubó en un baño con agitación (150 rpm) durante 2 horas a 37 °C.

En cada una de las fases (boca, estómago e intestino) se realizó el recuento de *S. enterica*, mediante la técnica de extensión en superficie empleando agar AST suplementado con 100 ppm de rifampicina y las placas se incubaron a 35 °C por 24 h.

Se calcularon las reducciones de cada una de las cepas evaluadas en cada fase, y se realizó un análisis ANOVA para determinar si la virulencia tiene algún efecto significativo sobre el comportamiento en la simulación gástrica.

Resultados

En las figuras 1-3 se pueden observar los resultados de los recuentos de *S. enterica* tras el término de cada una de las fases simuladas, donde de manera general se observó una reducción logarítmica considerable al término de la etapa estomacal, y una recuperación tras la etapa intestinal.

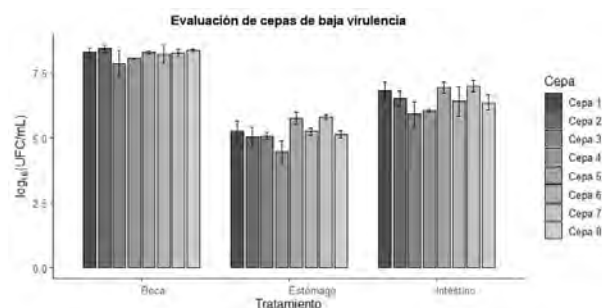


Fig.1 Sobrevivencia en LogUFC/mL de las cepas de baja virulencia de *S. enterica* en las tres etapas del sistema in vitro del tracto gastrointestinal.

En cuanto a las 8 cepas de baja virulencia analizadas, se obtuvieron valores de reducción desde los 3.41 ± 0.09 LogUFC/mL para la cepa 7, hasta 4.41 ± 0.63 LogUFC/mL para la cepa 4 en la etapa de boca-estómago. Posteriormente, en la etapa estómago-intestino se obtuvieron valores de aumento de *S. enterica* de entre 0.84 ± 0.36 LogUFC/mL para la cepa 3, hasta 1.60 ± 0.39 LogUFC/mL.

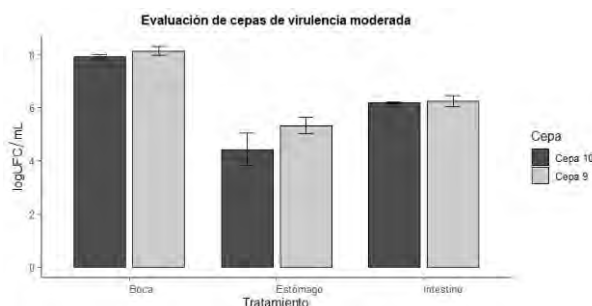


Fig.2 Sobrevivencia en LogUFC/mL de las cepas de virulencia moderada de *S. enterica* en las tres etapas del sistema in vitro del tracto gastrointestinal.

Para las 2 cepas de virulencia moderada, se obtuvieron valores de reducción de 3.75 ± 0.29 LogUFC/mL y 4.41 ± 0.55 LogUFC/mL en la etapa boca-estómago, y un aumento de 0.91 ± 0.23

LogUFC/mL y 1.74 ± 0.60 LogUFC/mL para las cepas 9 y 10 respectivamente.



Fig.3 Sobrevivencia en LogUFC/mL de las cepas de alta virulencia de *S. enterica* en las tres etapas del sistema in vitro del tracto gastrointestinal

Y finalmente, los valores de reducción en la fase boca-estómago de las cepas de alta virulencia fueron de 3.35 ± 0.16 LogUFC/mL y 3.49 ± 0.45 LogUFC/mL, mientras que los valores de aumento en la fase estómago-intestino fueron de 1.38 ± 0.08 LogUFC/mL y 1.16 ± 0.10 LogUFC/mL para las cepas 11 y 12 respectivamente.

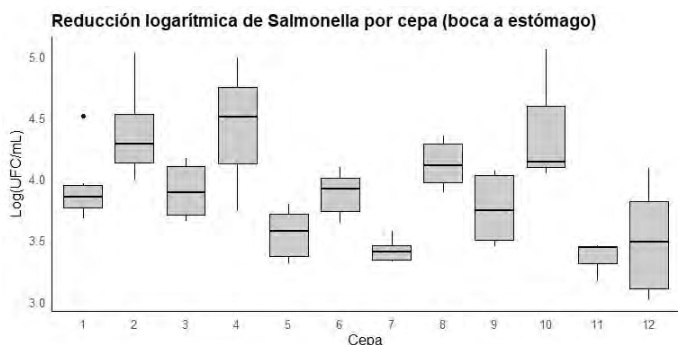


Fig.4 Reducción en LogUFC/mL de las cepas evaluadas en la fase estomacal.

La virulencia tuvo un efecto significativo sobre la reducción del patógeno en la fase estomacal (ANOVA, $p < 0.05$). Las cepas de alta virulencia tuvieron una reducción menor a las cepas de moderada y baja virulencia, estas dos últimas con valores mayores de reducción muy similares entre ellas.

En el caso del aumento que se observó al término de la fase intestinal, no se encontró ninguna diferencia significativa, teniendo todas las cepas indistintamente

de su nivel de virulencia, una recuperación muy similar tras esta fase.

Discusión

La reducción que se observa del patógeno tras la fase estomacal es resultado de una combinación de factores, entre ellos las condiciones ácidas resultantes del HCl de los jugos gástricos y la actividad bactericida de la pepsina (Martinsen et al. 2005). Similar a este estudio, Godínez-Oviedo et al (2024) y Cavestri et al. (2022) encontraron que cepas de alta virulencia clasificadas de la misma manera por características genéticas, tuvieron una mejor capacidad de supervivencia al término de una fase gástrica simulada. A pesar de que ambos estudios mencionados analizaron una mayor cantidad de cepas del patógeno, esto nos indica que la relación encontrada en este estudio es relevante ya que concuerda con otros autores.

A pesar de que no se encontraron diferencias significativas en la etapa intestinal del tracto digestivo, se observó un aumento del microorganismo lo que indica la rápida capacidad de recuperación del patógeno en la etapa intestinal donde ocurre la infección, pudiendo ser objeto de futuros estudios.

Otra consideración relevante de este estudio es la fase de la Salmonella en la boca, específicamente durante la masticación. El tracto digestivo humano consta de múltiples etapas, como el paso por la boca, esófago, estómago, intestino delgado e intestino grueso (McDonald et al. 2018). Sin embargo, la mayoría de los estudios solo toma en cuenta dos de estas etapas: la gástrica y la intestinal (Seixas et al 2014; Aviles et al 2013). Al considerar la fase oral, estamos incorporando una condición adicional que replica de manera más cercana lo que ocurre en un organismo vivo, lo que nos permite obtener resultados más representativos al modelo humano.

Conclusiones

La virulencia tiene un efecto en la capacidad de sobrevivir del *S. enterica* en las condiciones

simuladas del tracto gastrointestinal simulado, siendo las cepas más virulentas las que fueron mayormente capaces de sobrevivir. A pesar de encontrar otros trabajos que encontraran resultados similares, para mejorar la confiabilidad de los datos obtenidos sería ideal analizar un número mayor de cepas de cada categoría.

Agradecimientos

Agradezco a la Dra. Angélica por el aprendizaje y guía que me ha aportado, además de que hiciera posible la realización de este proyecto. También agradezco al equipo de trabajo e investigadores del laboratorio LECRIMA por su apoyo y supervisión brindada.

Referencias bibliográficas

- Schlundt, J., 2017. Food safety. In: International Encyclopedia of Public Health. Elsevier, pp. 153–159. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803678-5.00161-2>.
- Yuk, H.G., Schneider, K.R., 2006. Adaptation of Salmonella spp. in juice stored under refrigerated and room temperature enhances acid resistance to simulated gastric fluid. Food Microbiol. 23, 694–700. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2005.12.003>.
- Godínez-Oviedo, A., Cabrera-Díaz, E., Palacios-Marmolejo, A., Pérez-Covarrubias, O. B., Vargas-Daniel, R. C., Tamplin, M. L., Bowman, J. P., & Hernández-Ilturriaga, M. (2022). Detection, quantification, and characterization of Salmonella enterica in mango, tomato, and raw chicken purchased in the central region of Mexico. J Food Sci, 87, 370–382. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16003>
- Minekus, M., Alminger, M., Alvito, P., Ballance, S., Bohn, T., Bourlieu, C., Carrière, F., Boutrou, R., Corredig, M., Dupont, D., Dufour, C., Egger, L., Golding, M., Karakaya, S., Kirkhus, B., Le Feunteun, S., Lesmes, U., Macleerzanka, A., MacKie, A., Marze, S., McClements, D.J., M'énard, O., Recio, I., Santos, C.N., Singh, R.P., Vegarud, G.E., Wickham, M.S.J., Weitschies, W., Brodkorb, A., 2014. A standardised static in vitro digestion method suitable for food-an international consensus. Food Funct. 5, 1113–1124. <https://doi.org/10.1039/c3fo60702j>.
- Manful, M. E., Ahmed, L., & Barry-Ryan, C. (2023). New Approach Methodologies (NAMs) for safety testing of complex food matrices: A review of status, considerations, and regulatory adoption. In Trends in Food Science and Technology (Vol. 142). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104191>

FAO/WHO, 2003. Hazard characterization for pathogens in food and water.
<https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42693/9241562374.pdf>. (Accessed 30 April 2020).

den Besten, H. M. W., Amézquita, A., Bover-Cid, S., Dagnas, S., Ellouze, M., Guillou, S., ... Membré, J. M. (2018). Next generation of microbiological risk assessment: Potential of omics data for exposure assessment. *International Journal of Food Microbiology*, 287 <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2017.10.006>

Martinsen, T.C., Bergh, K., Waldum, H.L., 2005. Gastric juice: a barrier against infectious diseases. *Basic Clin. Pharmacol. Toxicol.* 96, 94–102. <https://doi.org/10.1111/j.1742-7843.2005.pto960202.x>.

Cavestri, C., Savard, P., Fliss, I., Emond-Rh'eault, J.G., Hamel, J., Kukavica-Ibrulj, I., Boyle, B., Daigle, F., Malo, D., Bekal, S., Harris, L.J., Levesque, R.C., Goodridge, L., LaPointe, G., 2022. Salmonella enterica subsp. enterica virulence potential can be linked to higher survival within a dynamic in vitro human gastrointestinal model. *Food Microbiol.* 101 <https://doi.org/10.1016/j.fm.2021.103877>

Godínez-Oviedo, A., Tamplin, M. L., Bowman, J. P., & Hernández-Iturriaga, M. (2024). Effects of intrinsic characteristics of Salmonella enterica strains isolated from foods and humans, and their interaction with food matrices during simulated gastric conditions. *J Food.* 413. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16003>

McDonald, E.K., Rasmussen, H., Forsyth, C., Keshavarzian, A., 2018. The in vivo foundations for in vitro testing of functional foods. *Funct. Foods Beverages* 15–51. <https://doi.org/10.1002/9781118823309.ch2>.

Seixas, R., Gabriel, M., Machado, J., Tavares, L., Bernardo, F., Oliveira, M., 2014. Effect of simulated gastrointestinal conditions on biofilm formation by Salmonella 1,4, [5],12:i:-. *Sci. World J.* <https://doi.org/10.1155/2014/153956>, 2014.

Aviles, B., Klotz, C., Smith, T., Williams, R., Ponder, M., 2013. Survival of Salmonella enterica serotype Tennessee during simulated gastric passage is improved by low water activity and high fat content. *J. Food Protect.* 76, 333–337. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-12-280>.

Discriminación por orientación sexual e identidad de género en México

Santiago Martínez García
smartinez122@alumnos.uaq.mx
Beatriz Rosas Rodríguez
beatriz.rosas@uaq.mx

Abstract

Discrimination against the LGBTIQ+ community in Mexico is a persistent problem, exacerbated by heteronormative sociocultural contexts. This study aimed to quantify the likelihood that LGBTIQ+ individuals perceive discrimination, considering that in states where equal marriage is rejected, the percentage of perceived discrimination is higher. Using a regression model with data from the National Survey on Sexual and Gender Diversity (ENDISEG) 2021 by INEGI, the results revealed that bisexual people have an 84% higher probability of being discriminated against compared to heterosexual individuals. Likewise, residing in states with higher levels of rejection toward equal marriage increases the overall probability of experiencing discrimination. Contrary to expectations, being gay or having another non-heteronormative orientation in these states showed an attenuating effect on perceived discrimination, suggesting potential resilience strategies or even indicating that a significant portion of the LGBTIQ+ population may not publicly share their identity or preferences due to the persistent stigma faced by the community. This study therefore calls for a critical examination and challenges to heteronormative ideology. These findings should serve as a reference for understanding the inequality and discrimination confronted by the LGBTIQ+ community, urging further action toward societal change.

Resumen

La discriminación hacia la comunidad LGBTIQ+ en México es un problema persistente, agravado por los contextos socioculturales heteronormativos. Este trabajo tuvo como objetivo cuantificar la probabilidad de que las personas de la comunidad LGBTIQ+ perciban discriminación, considerando que en estados donde se rechaza el matrimonio igualitario es mayor el porcentaje de percepción de discriminación.

Utilizando un modelo de regresión con datos de la Encuesta Nacional sobre Diversidad Sexual y de Género (ENDISEG) 2021 del INEGI, los resultados revelaron que las personas bisexuales tienen 84% mayor probabilidad de ser discriminados respecto a alguien heterosexual. Así mismo, residir en entidades federativas con mayor nivel de rechazo al matrimonio igualitario, incrementa la probabilidad general de ser discriminado o discriminada. Contrario a lo esperado, ser gay o tener otra orientación en estos estados mostró un efecto atenuante, sugiriendo posibles estrategias de resiliencia o inclusive una señal de que una gran parte de la población LGBTIQ+ no comparten públicamente su identidad o preferencias por el mismo estigma que se tiene a la comunidad LGBTIQ+. Por ello se exhorta con este trabajo hacer crítica y cuestionamientos a la ideología heteronormativa. Considerando los futuros resultados como referencia de la desigualdad de condiciones y discriminación que enfrenta la comunidad LGBTIQ+.

Introducción

La diversidad de las diferentes maneras de orientación sexual e identidad de género han estado expuestas a diferentes etiquetas y categorías. Hoy en día formalmente se reconoce a las disidencias sexuales como parte de la comunidad LGBTIQ+.

Existen determinaciones al momento de identificarse, ya sea por expresión de género u orientación sexual; como persona queer, género fluido, u otra expresión. En adelante se utilizará el término de comunidad LGBTIQ+.

Oxfam Intermón (2025) refiere a la comunidad LGTBIQ+ como “El colectivo LGTBIQ+ engloba a lesbianas, gays, bisexuales, personas trans, intersexuales, queer y otras identidades no normativas”.

La discriminación es la acción de segregar a cierto grupo de personas por particularidades específicas; el rechazo y la exclusión provocan condiciones desiguales y desfavorables al grupo excluido. El Consejo Nacional para Prevenir la Discriminación (CONAPRED, 2007) menciona que “La discriminación es una práctica cotidiana que consiste en dar un trato desfavorable o de desprecio innecesario a determinada persona o grupo, que a veces no percibimos, pero que en algún momento la hemos causado o recibido”.

En México, existe discriminación hacia grupos debido a su origen étnico o nacional, edad, discapacidad, condición social, económica o identidades sexuales. En este contexto, la comunidad LGTBIQ+ (lesbiana, gay, bisexuales, transgénero, intersexuales, queer y otras identidades) ha sufrido discriminación de forma consistente. Casi el 80% de las personas que se auto reconocieron con una orientación o identidad no normativa antes de los 18 años presenciaron burlas hacia otras personas por ser LGTBIQ+, y el 90% tuvo que esconder su orientación o identidad (Mendoza-Pérez, López-Barrientos, Lozano-Verduzco, 2024).

Para hacer énfasis en la estructura del rechazo por no encajar con la heteronormatividad, es indispensable mencionar que la heteronormatividad hace referencia a aquello que se encuentra dentro del sistema binario establecido, reforzado por la idea de roles de género. Se define heteronormativo como aquello que encaja en los estándares del sexo y su constructo social Serrato Guzmán & Balbuena Bello (2015) así como Vásquez Santibáñez & Carrasco Gutiérrez (2017) coinciden en que un sistema social, cultural e institucional que asume y privilegia la heterosexualidad como la única orientación sexual válida y natural, estableciendo roles de género binarios (masculino/femenino) como norma obligatoria. Este marco excluye o invisibiliza otras

identidades y expresiones de género u orientaciones sexuales no heterosexuales.

Las personas no pertenecientes a lo heteronormativo, al no formar parte, suelen ser sujetos de discriminación. Serrato Guzmán & Balbuena Bello, (2015) mencionan que se da por sentado que la heterosexualidad es la única orientación sexual válida, normal y socialmente aceptada y por ello, el código de la heteronormatividad ha quedado pretendidamente grabado en los sujetos, y con ello, a los homosexuales se les mantendrá en los márgenes del clóset. En ello se realiza la primera actividad que excluye y discrimina a la comunidad LGTBIQ+, manteniéndoles dentro del “closet” por no cumplir con los estándares heteronormativos. De acuerdo con Vásquez Santibáñez y Carrasco Gutiérrez (2017), los roles impuestos en la sociedad, como polos opuestos, bajo el dominio de lo heteronormativo, hacen que todo lo demás quede exento de contar con las mismas oportunidades y conlleve a vivencias con mayores presiones y prejuicios.

Como parte de la cotidianidad las personas queer se enfrentan a agresiones y miradas que juzgan y que pueden ser producto de los prejuicios y la desinformación de la población fuera de los grupos LGTBIQ+. Sin embargo, la realidad puede ser más grave a través de discursos de odio acompañados de múltiples acciones violentas, como agresiones físicas e incluso la muerte. Por ello, el interés de resaltar la problemática y reportar datos.

Como mencionan Ortiz-Hernández Luis y García Torres María Isabel (2004) la violencia dirigida hacia los bisexuales, las lesbianas y los homosexuales definida como violencia por odio, difiere de la violencia cotidiana. La violencia por odio son acciones con las que se intenta dañar o intimidar a las personas debido a su raza, etnia, orientación sexual u otro estatus de grupo minoritario.

El objetivo de este documento es analizar la probabilidad de que las personas con diferente orientación sexual e identidad de género sufran discriminación en México. Para realizar el análisis se utilizó la Encuesta Nacional sobre Diversidad Sexual y de Género 2021 realizada por INEGI.

Marco teórico

La pertinencia del trabajo habita en antiguos trabajos, estudios sobre discriminación de la comunidad LGBTQ+. Al analizar diferentes documentos en el que se calcula la probabilidad de sufrir discriminación al ser parte de la comunidad LGBTQI+. Los trabajos recuperados fueron investigaciones aplicadas en Inglaterra e Italia.

El primer artículo con una regresión logit verifica que las mujeres LGBTQ (incluidas las personas transgénero) tuvieron una menor probabilidad que los hombres LGBTQ de reportar discriminación institucional al solicitar empleo, buscar igualdad salarial o ascensos, al intentar votar o participar en política, y al ser tratados injustamente por los tribunales (Casey et. al., 2019).

La segunda referencia resalta en su análisis, igualmente la percepción de victimización a lesbianas, gays y bisexuales en Nápoles, Italia. Con el uso de regresiones logarítmicas se analizaron las variables dicotómicas de orientación sexual. Como resultado se obtuvo que las lesbianas, en comparación con las bisexuales, tenían casi el doble de probabilidades de experimentar un episodio de victimización (Pelullo et al., 2013).

La tercera referencia de encuentra que las minorías sexuales probabilidad de 148% mayor de ser discriminado (Mattingly et. al., 2025).

Autores advierten la situación actual de la discriminación a la comunidad LGBTQI+, sobre todo en América Latina y México. De acuerdo con INEGI (2025) en México en 2021 se estima que el 5.1% de la población de 15 años y más se autoidentifican LGBTQI+, lo que equivale a 5 millones de personas. El 81.8 % se asume parte de esta población por su orientación sexual, 7.6 %, por su identidad de género y 10.6 %, por ambas. Tanto por cuestiones de identidad de género o de preferencia sexual, parte de la población queer ha experimentado situaciones discriminantes, de acoso e incluso de violencia. En la

actualidad, es necesario seguir implementando trabajos que se dediquen a reportar las vivencias de la comunidad LGBTQI+, ya que es aún complejo encontrar información de otras investigadoras e investigadores mexicanas que se enfoquen en el tema. Trabajos como el de Ortiz-Hernández, L., & García Torres, M. I. (2005) reportan los efectos de la discriminación que viven las personas gays, lesbianas y bisexuales, pero se enfocan en la discriminación por orientación sexual y no cubren discriminación por identidad de género.

La CONAPRED (2023) reporta que en un diagnóstico, siete de cada diez personas con orientaciones sexuales, identidades y expresiones de género no normativas declararon haberse sentido discriminadas en espacios educativos, y la mitad manifestó haber vivido, por lo menos una vez, situaciones de acoso, hostigamiento o discriminación en el trabajo.

Metodología

Se conoce en grosso modo la problemática general de discriminación hacia la comunidad LGBTQI+, y los efectos de la discriminación en otros países. El objetivo de este documento es analizar la probabilidad de que las personas con diferente orientación sexual e identidad de género sufran discriminación en México.

La hipótesis de investigación es que la comunidad LGBTQI+ experimenta discriminación, la cual es mayor en las entidades federativas que tienen tratos que repelan la comunidad de la LGBTQI+.

Se implementará investigación cuantitativa en una regresión logit, usando el programa EViews. Con el fin de representar de manera porcentual la percepción de discriminación a miembros de la comunidad LGBTQI+. Los datos se obtuvieron de dos fuentes: la Encuesta Nacional sobre Diversidad Sexual y de Género 2021 y la ENADIS 2022, realizadas por INEGI. Para conocer a la comunidad LGBTQI+, la encuesta ENDISEG 2021 proporcionó datos de orientación sexual e identidad de género. Mientras que la ENADIS 2022 reportó qué tan de acuerdo está con que las parejas del mismo sexo puedan contraer matrimonio civil.

La encuesta ENDISEG 2021 tiene una de 44,189 observaciones válidas, representativas de las 32 entidades federativas.

Dada la naturaleza de los datos se decidió hacer una regresión logit de las variables dummy. En el caso de esta investigación, se utilizaron variables obtenidas del cuestionario de la Encuesta Nacional sobre Diversidad Sexual y de Género (ENDISEG) 2021. En el apartado de Orientación sexual se pregunta la orientación al encuestado (pregunta 81_A), determinando la orientación sexual de la muestra, con las respuestas: gay u homosexual, bisexual, otra (pansexual, asexual). En el apartado identidad de género, se les pregunta cuál es su género a quienes es distinto al de nacimiento (pregunta 9_10), determinando la identidad de género, con las respuestas: transgénero o transexual, queer.

La ecuación 1 representa una regresión logit (Gujarati y Porter, 2010) que específicamente explica el modelo.

$$\log \frac{p}{1-p} = \beta_0 + \beta_1 \text{lesb} + \beta_2 \text{gay} + \beta_3 \text{bi} + \beta_4 \text{otro} + \beta_5 \text{nmg} \\ + \beta_6 \text{nmg}(\text{lesb}) - \beta_7 \text{nmg}(\text{gay}) + \beta_8 \text{nmg}(\text{bi}) \\ + \beta_9 \text{nmg}(\text{otro}) + \beta_{10} \text{trans} + \beta_{11} \text{queer} \\ + \beta_{12} \text{nmg}(\text{trans}) + \beta_{13} \text{nmg}(\text{queer}) + u$$

Ecuación 1

La variable Y es la probabilidad ser discriminado, cuando la persona ha sufrido cualquier tipo de discriminación. Que es uno en caso afirmativo y cero en caso contrario. Cada una de las variables independientes en cada categoría de orientación sexual, e identidad de género se da el valor 1 si es afirmativo y cero de no serlo. Se omitió la categoría de referencia para las personas heterosexuales.

La variable de referencia es heterosexual, por lo que se analizará la probabilidad de que cada una de las categorías fuera discriminado, respecto a la categoría heterosexual.

Con la encuesta ENADIS 2021 se determinaron las entidades federativas donde mas del promedio nacional estaban en desacuerdo con que las parejas del mismo sexo puedan contraer matrimonio civil, es decir la variable No Matrimonio Gay (*nmg*), la cual es

1 si la entidad federativa tiene un alto porcentaje de personas encuestadas que no aprueba el matrimonio igualitario.

Se crearon nuevas variables con la intersección entre la variable *nmg* con las de orientación sexual e identidad de género para conocer cuál era la probabilidad de ser discriminado si se tiene una orientación sexual e identidad distinta a la heteronormatividad y además se viven en un estado con un alto porcentaje de personas que no aprueban el matrimonio civil entre personas del mismo sexo. Por ejemplo, *nmg *trans* cuando la persona es transexual y vive en un estado que no aprueba el matrimonio entre personas del mismo sexo.

En total, se hizo uso de 12 variables dependientes, y una variable independiente. Estas variables se exportaron al software EViews 12, especializado en análisis econométrico, para estimar el modelo de regresión logit.

La interpretación de los coeficientes se realiza en términos de probabilidades relativas u odds ratios.

La categoría de referencia es "heterosexual", a la cual se le asigna un odds ratio de 1. Esto implica que, por construcción, la probabilidad de que una persona heterosexual experimente el evento (discriminación) es el punto de comparación contra el cual se miden todos los demás grupos.

Los coeficientes estimados para las demás variables (lesbiana, gay, bisexual, etc.) se exponen en la tabla de resultados. Un odds ratio superior a 1 indica que, para ese grupo específico, la probabilidad de experimentar discriminación es mayor en comparación con el grupo heterosexual. Por el contrario, un valor inferior a 1 señala una menor probabilidad relativa (Gujarati y Porter, 2010).

Para asegurar la robustez estadística de estas estimaciones, se evalúa la significancia de cada coeficiente mediante su valor p. Siguiendo la convención estadística estándar, se establece un nivel de significancia (α) de 0.05. Por lo tanto, solo se consideraron resultados estadísticamente significativos aquellos asociados a un valor $p < 0.05$.

Resultados

En la tabla 1 se muestran los resultados de la regresión de la probabilidad de discriminación dada su orientación sexual, identidad de género y entidad de residencia.

La interpretación de los coeficientes de la regresión logística, donde la variable dependiente discriminación mide la percepción de discriminación, revela patrones significativos sobre cómo diferentes grupos LGBTQ+ experimentan la discriminación en México. Los coeficientes positivos indican una mayor probabilidad de percibir discriminación en comparación con el grupo de referencia (heterosexuales en estados que, respecto al promedio nacional, no están de acuerdo con el matrimonio igualitario), mientras que los negativos sugieren lo contrario.

Orientación sexual:

Las personas bisexuales (Bi) muestran el coeficiente más alto (0.6127), lo que indica que tienen la mayor probabilidad (84%) de percibir discriminación respecto al grupo de referencia, heterosexuales. Las personas de otra orientación tienen un coeficiente de 0.5449 y una probabilidad mayor (72%) de ser discriminados, que los heterosexuales. Las personas de otra orientación no muestran un efecto estadísticamente significativo.

Por si solo, vivir en estados donde no se acepta en su mayoría el matrimonio igualitario por parte de los encuestados (Ngm) está asociado con un aumento sustancial en la percepción de discriminación (0.2845) y una probabilidad 32% de sufrir discriminación al vivir en una.

Además, las personas con otras orientaciones como pansexual o asexual (nmg*otro: -0.6985) en estos estados reportan menos discriminación de lo esperado 50% menos discriminación (1-0.4973). Este efecto atenuante podría deberse a factores como la resiliencia comunitaria o la normalización del estigma en lugares restrictivos.

Identidad de género:

Las personas trans y queer no muestran efecto significativo en el análisis. Sin embargo, las personas queer que viven en estados donde no se acepta el matrimonio gay, por el contrario perciben mayor discriminación (nmg*queer: 0.7582 = 113% más probabilidad de discriminación respecto a heterosexuales).

Tabla 1. Elaboración propia. Resultados de regresión logit, programa Eviews.

Variable	Coeficiente	Probabilidad e^{β}	P-value
Constante	-0.6805*** (0.0114)	0.5063	0.000
Lesbiana	0.1619 (0.150)	1.1758	0.110
Gay	0.2418 (0.950)	1.2735	0.106
Bi	0.6127*** (0.690)	1.8454	0.000
Otro	0.5449*** (0.160)	1.7245	0.001
Nmg	0.2845*** (0.315)	1.3292	0.001
Nmg*L	0.0573 (0.330)	1.0590	0.900
Nmg*G	-0.4949 (0.220)	0.6097	0.250
Nmg* B	-0.2578 (0.160)	0.7728	0.100
Nmg*O	-0.6985** (0.330)	0.4973	0.035
Trans	0.1490 (0.200)	1.1617	0.460
Queer	-0.0099 (0.140)	0.9902	0.950
Nmg*T	1.2890 (0.510)	3.6321	0.300
Nmg*Q	0.7582** (0.315)	2.1345	0.016
Pseudo R ²	0.004495		

Fuente: Elaboración propia con datos de ENDISEG, 2021.

Conclusiones

Los resultados de este estudio confirman que la discriminación hacia la comunidad LGBTIQ+ en México es una situación severa y generalizada, con similitudes respecto a la literatura internacional.

En concordancia con Casey et. al., 2019 y Mattingly et., 2025, el presente trabajo reporta que las personas bisexuales en México tienen mayor probabilidad de experimentar algún tipo de discriminación respecto a heterosexuales. En México, las personas bisexuales tienen 84% mayor probabilidad de ser discriminados.

En estados con mayor rechazo al matrimonio igualitario (variable nmg), la probabilidad de discriminación aumentó para la población general LGBTIQ+ a diferencia de la literatura internacional, donde las personas trans suelen reportar altos niveles de discriminación, en México este efecto no fue estadísticamente significativo en el modelo, excepto para personas queer en estados con alto rechazo social (nmg*q: odds ratio 2.1345; 113% más discriminación). Los resultados del estudio actual están limitados a la fuente de información de los datos y la metodología de las encuestas.

Se considera que las personas trans en Mexico son personas sumamente vulnerables a la discriminación y por la misma falta de respeto y aceptación en la sociedad queer/trans mexicana con frecuencia no se identifica públicamente como alguien trans, sino como una persona con una orientación sexual distinta a la heterosexualidad (lesbiana, gay, bi u otro) por el rechazo mayor que se tiene a las personas trans.

Estos hallazgos resaltan que en contextos internacionales como dentro de Mexico la discriminación hacia la comunidad LGBTIQ+ sigue latente y sobretodo en entidades federativas donde las posturas ideológicas de las personas rechazan los derechos y vivencias de la comunidad LGBTIQ+ como lo es el matrimonio. La aparente atenuación de la discriminación en estados restrictivos podría ser una señal de infrarregistro o resistencia pasiva, lo cual requiere investigación cualitativa complementaria.

Agradecimientos

Agradecemos a la Universidad Autónoma de Querétaro la posibilidad de realizar esta investigación en el Verano de la Ciencia 2025. Y en general a la familia y amigos que forman parte de nuestra cotidianidad.

Referencias

Casey L.S., Reisner S. L., Findling M. G. , et al. (2019). Discrimination in the United States: Experiences of lesbian, gay, bisexual, transgender, and queer Americans. *Health Serv Res*, 54, 1454–1466. <https://doi.org/10.1111/1475-6773.13229>

Consejo Nacional para Prevenir la Discriminación. (2007). ¿Qué es la discriminación y cómo combatirla?. Cuadernos de la Igualdad. https://www.conapred.org.mx/wp-content/uploads/2022/07/ComoCombatirla_2004_Ax.pdf

Consejo Nacional para Prevenir la Discriminación. (2023). Discriminación en contra de las personas por su orientación sexual, características sexuales e identidad y expresión de género https://www.conapred.org.mx/wp-content/uploads/2024/02/FT_DiversidadSexual_Noviembre2023_v3.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2025). Tableros estadísticos LGBTI. <https://www.inegi.org.mx/tablerosestadisticos/lgbti/>

Mendoza-Pérez, J. C., López-Barrientos, H. A., Lozano-Verduzco, I., & Craig, S. L. (2024). Informe del diagnóstico situacional de personas LGBTQ+ de México 2023. Derechos Humanos Guanajuato. https://www.derechoshumanosgto.org.mx/images/diversidad_sexual_genero/InformedelDiagnosticoSituacionaldePersonasLGBTQdeMexico2023_.pdf

Gujarati, D. y Porter, D. (2010). *Econometría*. McGrawHill.

Ortiz-Hernández, L., & García Torres, M. I. (2005). Efectos de la violencia y la discriminación en la salud mental de bisexuales, lesbianas y homosexuales de la Ciudad de México. *Salud Pública de México*, 47(2), 132–140.

Oxfam Intermón. (2021, 17 de mayo). ¿Qué son los derechos LGTBI? <https://blog.oxfamintermon.org/que-son-derechos-lgtbi>

Pelullo CP, Di Giuseppe G, Angelillo IF (2013) Frequency of Discrimination, Harassment, and Violence in Lesbian, Gay Men, and Bisexual in Italy. *PLoS ONE* 8(8): e74446. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0074446>

Serrato Guzmán, A. N., & Balbuena Bello, R. (2015). Calladito y en la oscuridad. Heteronormatividad y clóset, los recursos de la biopolítica. *Culturales*, 3(2), 7–32. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-11912015000200005

Vásquez Santibáñez, M. B., & Carrasco Gutiérrez, A. M. (2017). Género, cuerpo y heteronormatividad: Reflexiones desde la antropología. *Interciencia*, 42(9), 616–622. <https://www.redalyc.org/journal/339/33952909011/html/>

AMOR, ROMANCE, MATRIMONIO Y TÉ

En Anna Karenina y Madame Bovary

Por Sofia Esther Gaytan Teissier, con la mentoría de la Dr. Rafaela Monje Torres.

Resumen:

En este artículo revisaremos dos obras literarias, Anna Karenina y Madame Bovary. Se hará una comparación para encontrar las diferencias entre las nociones de amor, romance, matrimonio y té en ambas novelas, implementando una metodología hermenéutica. También se revisará la biografía de los autores con el fin de entender mejor la estructura y la narrativa de sus libros.

Palabras clave: amor, matrimonio, romance y té

Abstract:

In this article we will review two literary works, Anna Karenina and Madame Bovary. A comparison will be made to find the differences between the notions of love, romance, marriage and tea in both novels, implementing a hermeneutic methodology. The authors' biographies will also be reviewed in order to better understand the structure and narrative of their books.

Keywords: love, marriage, romance and tea

La primera novela que examinaremos lleva por título Anna Karenina, publicada por primera vez en 1878, es del escritor ruso León Tolstói. Relativo al autor, sabemos que nació en 1828 en una finca al suroeste de Rusia, creció en una familia aristocrática, desgraciadamente, quedó huérfano de madre a los dos años y de padre a los nueve. Esto lo condujo a vivir en casas de varios parientes. La

frase con la que da comienzo la novela es la siguiente: “Todas las familias felices se parecen unas a otras, pero cada familia infeliz lo es a su manera” (Tolstoi, 2023, p. 6). Me parece importante resaltarlo porque Tolstói se aboca a describir, desmenuzar y analizar el amor, el matrimonio y la familia dentro de su obra.

La obra narra la historia de tres familias, cada una de ellas tiene sus particularidades. Esta novela es recordada por ser polémica para su tiempo porque narra el idilio de una mujer de la alta sociedad rusa, en esta ocasión abarcaremos no sólo la historia de Anna y Vronsky, por el contrario, la pondremos al mismo nivel de importancia que las otras dos parejas.

La primera pareja está conformada por Stiva y Dolly. Stiva es un aristócrata y funcionario de Moscú, de cuerpo robusto, bien cuidado, sonrisa bonachona, con largas y rizadas patillas y rostro agraciado. Su personalidad es liberal, bonachona, amigüera y fiestera. Mientras que Dolly es una comprometida ama de casa. Extenuada y sin atractivos, o por lo menos así se autodescribe, con el pelo escaso, el rostro sumido y enjuto, ojos grandes y asustados, que la delgadez hacía parecer saltones. Se caracteriza por ser maternal, comprensiva, empática, consejera e indulgente, se considera a sí misma como mujer de corto alcance.

El conflicto entre ellos se desarrolla por la infidelidad de Stiva con la institutriz. Este acontecimiento permite descubrir al lector la idea que tiene Stiva sobre el amor, considera que la variedad de tipos de amores es inevitable. No siente culpa de ser infiel a Dolly, solo de no ser lo suficientemente discreto. La idea de amor de Dolly está relacionada con la familia y con la educación de los hijos. Aunque los dos tienen ideas sobre el amor y la vida matrimonial diferentes, permanecen juntos, esto se debe a que comparten el concepto de

familia. Stiva se autopercebe como el proveedor del hogar, al igual que Dolly, adopta el papel de mujer abnegada y dedicada a sus hijos.

La segunda pareja y por la cual la obra recibe su nombre es Anna Karenina y Alekséi Karenin. Anna es una mujer de la alta sociedad rusa, atractiva, de cabello negro, ojos grises brillantes, ceja tupida, conocida por su elegancia y gracia. Sus características que la distinguen son la inteligencia, su gusto por la lectura de diversos temas, su personalidad encantadora y cautivadora, al final de la historia se muestra su dependencia a los opiáceos. Por su cuenta, Alekséi Karenin, funcionario del gobierno ruso, su figura es fría e imponente, al igual que la posición que ocupa en la sociedad. Físicamente cuenta con orejas que sobresalen de la composición de su rostro, grandes ojos fatigados, manos grandes y venosas. Su personalidad es racional, estricta, seria, se llega a vislumbrar un tipo de obsesión con el trabajo. Esta pareja es la más conflictiva e incluso trágica y, por tanto, la más emblemática.

El conflicto entre ellos se desarrolla por la infidelidad de Anna con el conde Vronsky, a diferencia de la infidelidad de Stiva con la institutriz, esta relación es más duradera, a tal punto que llega a ser del conocimiento público. El conde Vronsky, oficial de caballería y de familia establecida económicamente, es moreno, de complexión recia, estatura media, guapo, afable, pelo corto negro que después será calvo y con bigote. Se distingue por ser galante, valiente, bien relacionado, simpático, codo, firme y tranquilo.

Anna sabe que solo ha sentido amor por Sergio, Vronsky y la chica pelirroja a la que le enseña a leer. Ve el amor como idolatría, su amor es vehemente, excesivo y apasionado. No hay puntos medios: o ama o odia, poco a poco Vronsky se vuelve su todo. Alekséi Karenin, por su parte conside el amor como

institución, lo principal es el matrimonio religioso. Hay un deber ser detrás de la dupla matrimonial. Su manera de demostrar amor es siendo proveedor de su hogar, se le dificulta expresar y descifrar las emociones suyas y de los otros. Por su lado, Vronsky considera que el amor está relacionado con la sensibilidad y la sensualidad, antes de conocer a Anna, coqueteaba con mujeres como Kitty sin intención de casarse. Aunque mantenía ideas liberales sobre el amor, busca establecer el cariño y la pasión que le tiene a la señora Karenina, viven juntos después del nacimiento de su hija. Decide sacrificar su carrera en la milicia y mudarse al campo.

La tercera pareja está conformada por Kitty y Levin. Kitty es rubia, con hombros de doncella, delicada belleza de talle, ojos dulces y serenos. De carácter vivaz y orgulloso, posee franqueza, bondad infantil y sensibilidad. Físicamente, Levin es de complexión recia, ancho de hombros y barba rizada, él se considera a sí mismo como feo. Su personalidad es agitada, orgullosa, es trabajador, bueno, íntegro, tosco y tímido.

Su conflicto está en que cuando Levin le propuso matrimonio, Kitty tenía otro pretendiente en puerta, a saber, el conde Vronsky. Esta, al no estar segura de si el conde le pediría matrimonio, rechaza a Levin, herido decide no volver a verla. Finalmente, el conde se enreda en una aventura con Anna Karenina y deja a Kitty. Después de un tiempo, Kitty y Levin se reencuentran, más cercanos en conceptos y sentimientos, logran desarrollar su amor, que es más afín y compatible. Kitty busca hablar constantemente con su esposo y considera que su papel de esposa es estar cerca de su marido, sobre todo en la dificultad. Levin se cuestiona constantemente incluso su fe. Está en desacuerdo con la idea de amor de Stiva, para él no es comprensible cómo es que, teniendo una esposa, le apetece tener amantes. Kitty y Levin se llevan bien

y pueden formar una familia armoniosa gracias a que comparten valores y propósitos. El cuidado y la preocupación por el bienestar de su pareja se reflejan a lo largo de la obra. Un ejemplo claro es cuando Kitty se ocupa de cuidar al hermano de Levin de una muerte inminente y, en el caso de Levin, cuando la busca después de que Kitty quedó atrapada en el bosque a causa de la tormenta.

Es importante explorar los conceptos que se entremezclan con la idea del amor en la novela para recalcar que hay intereses no solo religiosos, sociales, políticos o culturales dentro de la búsqueda del amor, cada personaje denota los ideales que persiguen su idea de romance. Estos ideales favorecen o perjudican el desenlace de sus historias.

Ahora es momento de continuar con la segunda obra, *Madame Bovary*, del autor francés Gustave Flaubert, publicada en el año 1856. Esta historia, al igual que la primera, trata temas como el amor, la familia, el matrimonio, y el romance. Fue una novela polémica, prohibida por la iglesia y le costó un juicio por ofensa a la moral pública al escritor. Sobre el autor sabemos que nació en 1821, el mismo año de la muerte de Napoleón Bonaparte, es decir, le tocó vivir las tensiones políticas y sociales por la instauración de una república. A pesar de que Flaubert nunca se casó, se sabe que mantuvo una correspondencia activa con Louise Colet, poeta francesa. Podemos sospechar que este galanteo inspiró en algunos aspectos su obra.

La historia de *Madame Bovary* tiene como personajes principales a Charles y a Emma. Charles es un doctor de una provincia de Francia, su personalidad se distingue por ser un hombre apático, iluso, miedoso, lo único que demuestra voluntariamente es la absoluta adoración por su segunda esposa. Emma es hija de un campesino, criada en un convento, que ha alimentado su

existencia con el deseo de tener una vida lujosa y apasionada. No contamos con una descripción física de Charles y de Emma menciona una mujer guapa, de carácter superficial, fantasiosa, y consumida por el tedio. Ambos viven una vida aburrida, una pregunta implícita que el autor sabe contar es: ¿Qué pasa si lo que se desea no se alcanza? Cuando el entusiasmo y la esperanza se esfuman, es inevitable que continúe el tedio y la desilusión. Emma oscila entre momentos eufóricos y momentos de una tristeza profunda. Charles está fascinado con la imagen que se ha creado de Emma, pero realmente no la conoce.

Su conflicto empieza enseguida de su boda, Emma se da cuenta de que Charles es un hombre sin ambiciones, que vive una rutinaria y desmotivada existencia. La única vez que logra sentir estima por él es cuando Charles decide hacer una cirugía a un paciente y eso lo vuelve popular, pronto se percatan de que la operación fue un fracaso. Emma solo sintió un agrado por Charles cuando el éxito era posible, cuando este inevitablemente falla, lo etiqueta de mediocre. Lo deja de ver y busca la pasión y admiración en otros hombres, el primero es Rodolphe y el segundo es León, pasante de abogado y educado. Al igual que pasa con Charles, sufre un desencanto de esas relaciones provocado, sin duda, por el exceso de fantasía que proyecta en sus relaciones. Charles también abusa de la ilusión, alimenta una imagen de Emma inexistente que incluso después de su muerte lo atormenta y hace de sus últimos días una pesadumbre. Emma no tuvo la culpa de que Charles negara la realidad, lo evidente, al contrario, colocó a Emma en un pedestal del que carecía.

Otro tema al que me interesa hacer referencia en este ensayo está asociado a mi tema de tesis, me gustaría hacer una comparación entre los detalles que describen el consumo de té en *Anna Karenina* y la ausencia de la bebida en la novela de Flaubert.

El té es introducido en Francia en el s. XVII con la creencia de que podía curar la gota. En el s. XVIII se popularizó entre la aristocracia y la alta sociedad francesa. Después de la Revolución francesa, todo lo que tuviera alguna relación con las prácticas de la realeza fue rechazado, por este motivo y por el costo de importación de estas hojas, el té sufrió una disminución de su consumo. Madame Bovary fue escrita cincuenta años después de la Revolución francesa la negativa por los excesos de la realeza seguía presente. La lucha entre las clases sociales y por la destitución definitiva de la monarquía continuaban. La novela rechaza este consumo desmedido, no solo en la eliminación del consumo del té, también por la manera en la que presenta el derroche de Madame Bovary y el desenlace desafortunado que le asigna el autor, Emma muere por envenenamiento cuando se da cuenta de que será embargada por los ajustadores.

Es una situación diferente la que se presenta en la novela de Tolstói, un factor importante a considerar es la cercanía de Rusia con los países productores de té, como lo son Japón y China. La población rusa conoció el té por primera vez en el s. XVII. A partir de este momento se empezó a importar té de China a Rusia, el costo del té era muy elevado, por lo tanto, solo la clase alta y la realeza podían consumir esta bebida. Estos signos muestran la posición en la que se desarrolló la historia de Anna Karenina y reflejan la apropiación de la bebida, incluso en los momentos de mayor tensión durante la trama, los personajes toman té para conversar y propiciar la resolución de sus congojas. La ruta del té se estableció en 1689, lo que despuntó el consumo del té en Rusia y preparó el camino para la ceremonia del té rusa y la creación del samovar, un recipiente en forma de jarrón que sirve para preparar té. Abonamos a esto que Tolstói pertenecía a una familia que tenía relación con la nobleza rusa.

Los autores terminan por compartirnos y explicarnos con una sensibilidad poética que la idealización de un amor romántico conduce a momentos desafortunados en la vida de sus personajes. A los dos autores se les conoce como escritores realistas, se les denomina así porque demuestran en sus novelas los problemas del romanticismo. En su propio idioma, con biografías distintas, con circunstancias históricas diferentes, y un gusto distinto por el té, llegan a la misma conclusión. Hay una noción del amor idílico que promueve el romanticismo y aleja a los protagonistas de la realidad. Las decisiones que toman Emma, Charles, Anna y Karenin tienen un efecto colateral para con sus familias, los dos hijos de terminan por tener un desenlace aún más triste que el de sus padres.

En conclusión, la idea de romance que forman los protagonistas interviene en la experiencia de amor que esperan y a su vez en la relación matrimonial que viven y finalmente en la familia que construyen.

REFERENCIAS.

Flaubert, G. (1969). *Madame Bovary*. Barcelona, España: Editorial Vergara.

Hernández, M. J. (2019). *Historia de las primeras traducciones al español de Madame Bovary*. *Çédille*, revista de estudios franceses. Volumen (15) 253-281.
<https://cedille.webs.ull.es/15/11hernandez.pdf>

Tolstói, L. (2023). *Anna Kerenina*. Madrid, España: Alianza.



UNIVERSIDAD
AUTÓNOMA DE
QUERÉTARO