CONCYTEQ
CONSEJO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DEL ESTADO DE QUERÉTARO

Nthe

Nthe, palabra *ñañhò* (otomí) que significa "vínculo" o "enlace" (se pronuncia "enté")

ISSN 2007-9079

Revista electrónica de difusión científica, tecnológica y de innovación del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro



ISSN 2007 - 9079 , Edición especial, noviembre - 2026

Impulso 360

Trayectorias que comienzan

POLITÉCNICA SANTA ROSA
Bilingual International Sustainable University

TRAMVET

CONCYTEQ
CONSEJO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DEL ESTADO DE QUERÉTARO

Nthe

Publicación del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro

Directorio

PRESIDENTE
Lic. Mauricio Kuri González

VICEPRESIDENTE
Dra. Martha Elena Soto Obregón

DIRECTOR GENERAL
Dr. Enrique Rabell García

SECRETARIO
Lic. René Martínez Fernández

DERECHOS DE AUTOR Y DERECHOS CONEXOS. Año 17, edición especial, noviembre 2026. *Nthe* es una publicación cuatrimestral editada por el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro (CONCYTEQ): calle Luis Pasteur Sur núm. 36, col. Centro; CP 76000; tel. (442) 214 3685; www.concyteq.edu.mx; nthe@concyteq.edu.mx. Editor responsable: Felipe de Jesús Esperón Valenzuela. Reserva de derechos al uso exclusivo núm. 04-2018-111410321700-203; ISSN 2007-9079, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: Felipe de Jesús Esperón Valenzuela: calle Luis Pasteur Sur núm. 36, col. Centro; CP 76000. Fecha de última modificación: noviembre de 2026

*N*the ha sido aprobada para su inclusión en el Índice del Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal (LATINDEX)

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

Se autoriza la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación siempre y cuando se cite la fuente.

Coordinadores
Dr. Christian Jonathan Ángel Rueda
Dra. Flora Emperatriz Mercader Trejo

Edición y Diseño de la Publicación
Lic. Felipe de Jesús Esperón Valenzuela

Nthe, Publicación del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro:
http://nthe.mx/

Luis Pasteur Sur núm. 36
Col. Centro, CP 76000
Tel. 52 (442) 214 3685 / 212 7266, ext. 105
Querétaro, Qro., México

Consejo editorial

Investigadores nacionales

Dr. Alejandro Manzano Ramírez
Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, unidad Querétaro

Dra. Flora Mercader Trejo
Universidad Politécnica de Santa Rosa Jáuregui

Dr. Sergio Barrera Sánchez
Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey, campus Querétaro

Dra. Martha Cruz Soto
Universidad del Valle de México, campus Querétaro

Dra. Gabriela Calderón Guerrero
Facultad de Psicología, Universidad Autónoma de Querétaro

Dr. Víctor Castaño Meneses
Centro de Física Aplicada y Tecnología Avanzada de la UNAM, campus Juriquilla

Dr. Rolando Salinas García
Unidad Multidisciplinaria de Estudios Sobre el Trabajo, Universidad Autónoma de Querétaro

Dr. Miguel Martínez Madrid
Instituto Mexicano del Transporte, SCT

Dr. Daniel Hiernaux Nicolás
Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, Universidad Autónoma de Querétaro

Dr. Gabriel Corral Velázquez
Facultad de Ciencias Políticas y Sociales, Universidad Autónoma de Querétaro

Dr. Salvador Echeverría Villagómez
Centro Nacional de Metrología

Dr. Alberto Traslosheros Michel
Universidad Aeronáutica en Querétaro

Dra. Alejandra Urbiola Solís
Facultad de Contaduría y Administración, Universidad Autónoma de Querétaro

Dr. Jöns Sánchez Aguilar
Instituto Tecnológico de Querétaro, Tecnológico Nacional de México

Dr. Octavio López Millán
Instituto Tecnológico de Hermosillo

Dra. Marcela Hernández Romo
Universidad Autónoma Metropolitana, unidad Iztapalapa

Mtra. Martha Díaz Muro
Instituto Tecnológico de Hermosillo, Tecnológico Nacional de México

Dr. Sergio Sandoval Godoy
Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, Sonora

Dr. Martín Alfonso Gutiérrez López
Universidad Autónoma de Querétaro

Dr. Jorge Raúl Palacios Delgado
Universidad del Valle de México, campus Querétaro

Dra. María Guadalupe Ordaz Cervantes
Universidad Autónoma de Querétaro

Mtra. Eva Leticia Ortiz Ávalos
Universidad Nacional Autónoma de México

Dra. Adriana del Carmen Gallegos Melgar
CONACYT - COMIMSA

Dra. Ana Isabel Moreno Calles
Universidad Nacional Autónoma de México
Escuela Nacional de Estudios Superiores, Morelia.

Dra. Olivia Solís Hernández
Universidad Autónoma de Querétaro

Externo

Dr. Víctor Hugo Muciño Quintero
Universidad de West Virginia, EUA

CC BY NC SA

La revista electrónica *Nthe* es financiada en su totalidad por el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro en el marco del presupuesto autorizado el día 23 de diciembre de 2025. (Publicado en el periódico oficial del estado de Querétaro, La Sombra de Arteaga).

Poder Ejecutivo del Estado de Querétaro
Secretaría de Educación
Querétaro Juntos, Adelante.
CONCYTEQ Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro

Comentario *Nthe*

La generación y aplicación del conocimiento científico y tecnológico constituyen elementos fundamentales para impulsar el desarrollo de nuestra sociedad. En un contexto caracterizado por profundas transformaciones científicas, digitales y educativas, resulta indispensable promover espacios de reflexión, investigación e intercambio académico que contribuyan a comprender los desafíos actuales y a construir alternativas para atender las necesidades del entorno.

En este sentido, la presente edición especial de la revista Nthe, realizada en colaboración con la Universidad Politécnica de Santa Rosa, Coordinada por el Dr. Christian Jonathan Ángel Rueda y la Dra. Flora Emperatriz Mercader Trejo, reúne una diversidad de trabajos que reflejan el compromiso de investigadores, docentes y estudiantes con la generación de conocimiento y la innovación desde distintas áreas del saber. Los artículos que integran este número abordan temas de especial relevancia, como la incorporación de la inteligencia artificial en los procesos educativos, el uso de entornos digitales inmersivos, las metodologías activas de aprendizaje, la inclusión educativa, la aplicación de tecnologías emergentes y el desarrollo de soluciones científicas y técnicas ante problemáticas concretas.

De manera particular, esta edición permite reconocer cómo la investigación trasciende los espacios académicos para vincularse con experiencias y necesidades reales. Las aportaciones relacionadas con la formación en ciencias, la salud, la biotecnología, la accesibilidad y la mejora de los entornos educativos muestran la importancia de articular el conocimiento teórico con su aplicación práctica, favoreciendo el desarrollo de capacidades, el pensamiento crítico y la construcción de propuestas innovadoras.

Asimismo, los trabajos reunidos invitan a reflexionar sobre los retos que acompañan la transformación tecnológica. La inteligencia artificial y las herramientas digitales representan oportunidades significativas para ampliar las posibilidades de aprendizaje, investigación y desarrollo; sin embargo, su aprovechamiento requiere una visión crítica, incluyente y responsable, en la que el conocimiento, la creatividad y el criterio humano mantengan un papel central.

Desde esta perspectiva, el CONCYTEQ refrenda su compromiso con la difusión de la investigación científica y tecnológica, así como con el fortalecimiento de una comunidad académica que encuentra en la colaboración interdisciplinaria una vía para generar propuestas de impacto. Cada contribución representa una oportunidad para compartir experiencias, abrir nuevas líneas de investigación y fortalecer el diálogo entre las instituciones de educación superior, los centros de investigación y la sociedad.

Invitamos a nuestros lectores a recorrer las páginas de esta edición y descubrir en sus aportaciones nuevas perspectivas, conocimientos y posibilidades de colaboración. Estamos convencidos de que la ciencia, la tecnología y la educación, cuando se desarrollan con responsabilidad y sentido social, constituyen pilares esenciales para construir un futuro con mayores oportunidades y bienestar para todas y todos.

Dr. Enrique Rabell García
Director General del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro

Presentación

Investigar también es aprender a transformar

La presente edición especial de Nthe representa una valiosa oportunidad que el Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro (CONCYTEQ) brinda para visibilizar, compartir y proyectar el trabajo de estudiantes, docentes e investigadores comprometidos con la generación de conocimiento, la innovación y la atención de problemáticas de nuestro entorno.

En este marco, la Universidad Politécnica de Santa Rosa Jáuregui encuentra un espacio privilegiado para dar continuidad a sus esfuerzos de formación y acompañamiento a la investigación. Entre ellos, la 8.ª Jornada de Redacción de Artículos Científicos constituyó un espacio de encuentro, reflexión y fortalecimiento de la escritura científica.

Esta edición especial permite que parte de ese esfuerzo académico trascienda el momento formativo y encuentre en Nthe un espacio de divulgación y vinculación con una comunidad más amplia. Por ello, expresamos nuestro reconocimiento al CONCYTEQ por abrir esta posibilidad de colaboración y por fortalecer, mediante la difusión científica y tecnológica, las oportunidades para quienes construyen sus trayectorias en la investigación.

Las páginas que siguen dan cuenta de esa riqueza. Confluyen trabajos sobre inteligencia artificial, entornos digitales inmersivos, inclusión, metodologías activas, ciencias de la salud, biotecnología, desarrollo sostenible y soluciones científico-tecnológicas vinculadas con necesidades concretas. La diversidad temática expresa una misma vocación: generar conocimiento con rigor, responsabilidad y sentido social.

Cada artículo representa una trayectoria que comienza o se fortalece. Publicar un avance no significa presentar una investigación inconclusa, sino reconocer el valor del proceso, someter las ideas al diálogo académico y construir mejores preguntas para las siguientes etapas. Celebramos la disposición de las autoras y los autores para revisar, argumentar, ajustar y compartir su trabajo con una comunidad más amplia.

Deseamos que esta edición inspire a nuevas generaciones a comprender que investigar no es únicamente producir resultados: es aprender a observar con mayor profundidad, cuestionar responsablemente, colaborar y convertir la incertidumbre en una oportunidad de conocimiento.

Que Impulso 360 sea, para cada autora y autor, no un punto de llegada, sino el comienzo de nuevas preguntas, colaboraciones y posibilidades..

Dr. Christian Jonathan Ángel Rueda
Dra. Flora Emperatriz Mercader Trejo
Coordinadores

CONCYTEQ
CONSEJO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DEL ESTADO DE QUERÉTARO

Nthe

Publicación del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro

ÍNDICE

Beyond the Algorithm: Teacher Assumptions, Technological Orchestration, and Register Coordination in University Algebra and Geometry 1
Ricardo Rivera Carrillo
Martin Joaquin Aguilar Muñoz
Christian Jonathan Angel Rueda
Cecilia Hernández Garciadiego
José Alfredo Gaytán Díaz
Universidad Marista de Querétaro
Universidad Politécnica de Santa Rosa Jáuregui
Facultad de Ingeniería
Universidad Autónoma de Querétaro

Immersive Artificial Intelligence in Education: Presences, Absences, and Possible Futures 8
Martín Joaquín Aguilar Muñoz
Christian Jonathan Ángel Rueda
Ricardo Rivera Carrillo
José Alfredo Gaytán Díaz
Universidad Marista de Querétaro
Universidad Politécnica de Santa Rosa Jáuregui

Gamificación y aprendizaje significativo en Terapia Física: una experiencia innovadora en la enseñanza de la biomecánica 14
Igor Salinas-Sánchez
Susana Lara-Aguilar
Sacbé Arenas-Vargas
Universidad Politécnica de Santa Rosa Jauregui
División Preparatoria, Tecnológico de Monterrey
Centro de Estudios Superiores del Bajío

Integración de Inteligencia Artificial Generativa con Roblox Studio para la Generación Procedural de Contenido en Entornos Virtuales de Aprendizaje 21
Jorge Luis Medellín Martínez
Martin Joaquin Aguilar Muñoz
Christian Jonathan Angel Rueda
Ricardo Rivera Carrillo
José Alfredo Gaytán Díaz
Universidad Politécnica de Santa Rosa Jáuregui
Universidad Marista de Querétaro

Inteligencia artificial e inclusión en entornos STEAM: hacia la soberanía epistémica y la continuidad académica en la educación técnica latinoamericana 30
Elí Husim Ruiz Cruz
Conalep Roberto Ruiz Obregón, Querétaro

Experiencia con modelos 3D y realidad aumentada auditiva en la enseñanza de nomenclatura orgánica 37
Esbeidy Zorina Sáenz Bretón Mora
Martin Joaquin Aguilar Muñoz
Flora Emperatriz Mercader Trejo
José Alfredo Gaytán Díaz
Christian Jonathan Ángel Rueda
Universidad Politécnica de Santa Rosa Jáuregui
Universidad Marista de Querétaro

Aceites esenciales en el desarrollo de protectores solares: aplicaciones, retos y perspectivas futuras 45
GC Anaya Moreno
GA Santos Cruz
M Trejo Chacón
KD Vélez Cervantes
RA González Lugo
NB Olguín López
División de Química y Energías Renovables, Universidad Tecnológica de San Juan del Río

Caracterización de concretos celulares con contenidos de surfactantes empleados como base del aditivo 52
Amparo Reséndiz Gómez
Carlos A. Juaristi Romero
Raúl García García
Ángel Marroquín De Jesús
Saturnino García García
Raúl Asher García Uribe
Lourdes Vital López
División de Química y Energías Renovables, Universidad Tecnológica de San Juan del Río
Instituto Nacional de México Campus Huichapan (ITESHU)
Universidad Tecnológica de Tamaulipas Norte

CONCYTEQ
CONSEJO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DEL ESTADO DE QUERÉTARO

Nthe

Publicación del Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Querétaro

ÍNDICE

Síntesis y caracterización de películas bioplásticas a partir de pectina de *Citrus sinensis* y extracto fenólico de *Bougainvillea glabra*
63
Emilio Cruz Barrón
Alexandra Laguna García
Mayte Mendoza Márquez
Andrés Dector Espinoza
Julio Cesar Lemus Hernández
Sandra Soto Álvarez
Juan Manuel Olivares Ramírez
Raúl García García
Diana María Amaya Cruz
Zulma Flor Estrella Chavero
División de Química y Energía Sostenible,
Universidad Tecnológica de San Juan del Río

Desarrollo de una pintura ecológica basada en mucílago de *Opuntia ficus-indica* y biocargas minerales de residuos orgánicos
67
Zulma Flor Estrella Chavero
Anahí Bocanegra Hernández
Ángela Samantha Martínez Chaparro
Andrea Abigail Serrano Vázquez
Andrés Dector Espinoza
Hada Concepción Oaxaca Jiménez
Sandra Soto Álvarez
Juan Manuel Olivares Ramírez
Raúl García García
Francisco J. Jiménez Grajales
Universidad Tecnológica de San Juan del Río
SECIHTI - División de Química y Energía Sostenible
Centro de las Artes de Querétaro, Centro Cultural UNAM Querétaro

Evaluación de la actividad antibacteriana de los biosurfactantes producidos por Bacillus spp. frente a Escherichia coli en espinaca (Spinacia oleracea)
72
María José Ibarra Bonilla
Juan Ramiro Pacheco Aguilar
Facultad de Química
Universidad Autónoma de Querétaro

Desarrollo de croquetas para canes con insuficiencia renal crónica
83
Sandra Soto Álvarez
América Alejandra Cervantes Martínez
Emmanuel Adán Ferrer Carranza
Laura Arisbed López Morales
Diana Samantha Arias Olvera
Zulma Flor Estrella Chavero
Hada ConcepciónOaxaca Jiménez
Andrés Dector Espinoza
Amaya Cruz Diana M.
Universidad Tecnológica de San Juan del Río
Universidad Autónoma de Querétaro

Elaboración de néctar de mango enriquecido con pectina extraída de cáscara de mango
89
Sandra Soto Álvarez
Marina Guadalupe Briseño Ávila
Evelin Herrera Jaramillo
María Dolores Rodríguez Anaya
Zayra Quetzali Zea Ángeles
Zulma Flor Estrella Chavero
Julio Cesar Lemus Hernández
Andrés Dector Espinoza
Diana Dector
Universidad Tecnológica de San Juan del Río
SECIHTI

Aplicación del Diagrama de afinidad en la identificación de la problemática de los sanitarios del Cetis 105 mediante el Aprendizaje basado en Proyectos
94
Verónica Ángeles Hernández
Oswaldo Israel Cruz Martínez
Rubén Góngora
Centro de Estudios Tecnológicos industrial y de servicios No. 105

Beyond the Algorithm: Teacher Assumptions, Technological Orchestration, and Register Coordination in University Algebra and Geometry

Ricardo Rivera Carrillo | Universidad Marista de Querétaro | ricardo.rivera@umq.maristas.edu.mx

Martin Joaquin Aguilar Muñoz | Universidad Marista de Querétaro | martin.aguilar@umq.maristas.edu.mx

Christian Jonathan Angel Rueda | Universidad Politécnica de Santa Rosa Jáuregui | cangel@upsrj.edu.mx

Cecilia Hernández Garciadiego | Facultad de Ingeniería – UAQ | cecilia.hernandez@uaq.mx

José Alfredo Gaytán Díaz | Universidad Politécnica de Santa Rosa Jáuregui | agaytan@upsrj.edu.mx

Resumen

Este artículo sintetiza 15 textos publicados (11 empíricos y 4 teóricos) entre 2019 y 2024 para mapear, sin indagar directamente a los docentes, cómo los supuestos docentes sostienen la práctica de registro único en la enseñanza universitaria de álgebra y geometría, limitando la conversión entre representaciones. Analizado desde la teoría de las representaciones semióticas de Duval (2006), el estudio se organiza en tres ejes: (1) supuestos docentes (creencias formalistas que reducen las matemáticas a algoritmos), (2) mediación tecnológica (uso instrumental de GeoGebra o CAS sin diseño didáctico explícito), y (3) dificultades representacionales (fallas en la coordinación de registros no congruentes). Entre los hallazgos destacan: (a) una brecha en la investigación mexicana (ningún estudio empírico reciente vincula supuestos docentes, representación semiótica y tecnología en cursos universitarios), (b) la persistencia del modelo "pizarrón-fórmula" a pesar de la disponibilidad tecnológica, y (c) el uso de herramientas digitales como visualizadores en lugar de mediadores de conversión. Se propone que el diseño de entornos de enseñanza-aprendizaje debe partir de interrogar los supuestos ocultos sobre lo que cuenta como actividad matemática legítima, antes de incorporar tecnología. El artículo concluye con una hipótesis de diseño: ¿bajo qué condiciones didácticas la tecnología (incluyendo entornos inmersivos 3D) obliga a los estudiantes a coordinar registros? Este trabajo se alinea con los objetivos de New Trends in Higher Education al problematizar la formación docente en educación superior, más allá del entrenamiento instrumental en herramientas digitales.

Palabras clave: representaciones semióticas, supuestos docentes, conversión de registros, tecnología educativa, álgebra universitaria

Abstract

This narrative-critical review synthesizes 15 published texts (11 empirical, 4 theoretical) from 2019 to 2024 to map, rather than survey directly, how teacher assumptions sustain single-register practice in university algebra and geometry instruction, constraining conversion across representations. Analyzed through Duval's semiotic representation theory, the corpus is organized around three themes: teacher assumptions, technological mediation, and representational difficulties. Preliminary findings reveal a persistent board-and-formula model, instrumental technology use, and a significant gap in Mexican research: no recent empirical study links teacher assumptions, semiotic representation, and technology in undergraduate mathematics. Technology does not guarantee register conversion when underlying teacher assumptions go unexamined. Building this review displaced the initial question of how to use technology toward a design hypothesis: under what didactic conditions does technology actually compel students to coordinate registers?

Keywords: semiotic representations, teacher assumptions, register conversion, educational technology, university algebra

1. Introducción

Engineering and science undergraduate curricula typically declare conceptual understanding as a goal for algebra and geometry courses. Yet classroom evidence documents practices centered on algebraic treatments, with limited conversion toward graphical or geometric registers (Ar & Mahmud, 2019; Bossé, Adu-Gyamfi & Cheetham, 2011). Duval (2006) argues that mathematical comprehension emerges when students coordinate at least two registers and perform non-congruent conversions between them. Non-congruence, the absence of direct correspondence between significant units across two registers, accounts for a large share of reported difficulties in calculus and linear algebra (Caglayan, 2018).

This difficulty is not purely cognitive. Moschkovich (2002) situates the construction of meaning across registers in learners' and teachers' particular communities of practice rather than in universal cognitive structures. Research on teacher beliefs and underlying assumptions indicates (hereafter, assumptions) that university faculty tend to hold formalist conceptions of mathematics as a finished, rigorous, and applicable body of knowledge. These conceptions steer instructional practice away from semiotic exploration and toward algorithmic execution (Hernandez-Moreno et al., 2020; Martinez-Sierra et al., 2019). Hernandez-Moreno et al. (2020) and Martinez-Sierra et al. (2019) supply that situated starting point: they document Mexican faculty's own professed and implicit beliefs, not an imported template, and the remaining literature is mapped here as international contrast rather than as a substitute for local evidence. Such assumptions coexist with favorable attitudes toward technology, yet do not necessarily translate into instructional designs that problematize representation. Çetinbaş (2022) found that preservice teachers' multi-representational fluency is low and correlates with formalist conceptions. Moretti and Thiel (2012) describe ensino hermético — Portuguese for "hermetic teaching" — as a practice that forecloses conversion by privileging one register, typically algebraic. Together, Duval (2006) and Moschkovich (2002) form this review's theoretical spine: Duval identifies the cognitive mechanism, non-congruent conversion between registers, that comprehension requires, while Moschkovich accounts for why that conversion fails to occur in the situated practice of particular teachers and students rather than treating it as a universal cognitive gap.

Alongside this, integration of GeoGebra, CAS, and dynamic environments has expanded manipulation possibilities (Zengin, 2019; Zulnaidi & Zakaria, 2012). Even so, several studies report that software tends to verify or illustrate algebraic results rather than to prompt tasks demanding explicit conversion (Dockendorff & Solar, 2018; Santos-Trigo, 2008). Technology operates as an amplifier of the dominant register when didactic orchestration is absent (Pedersen et al., 2021). Nwabueze (2006) had already noted that technological format does not guarantee change when classroom structure follows a traditional board-and-formula pattern, a term used here for expository practice centered on single-register algebraic treatment (Trigueros & Ursini, 2003). At the far end of this spectrum, three-dimensional immersive digital environments (EDIT), a concept formalized by Angel Rueda et al. (2018) to categorize virtual worlds that integrate dynamic spatial and multimodal representation, extend these possibilities considerably, yet their didactic integration faces the same unexamined assumptions this study documents whenever explicit orchestration is absent.

Mexican mathematics education has a robust research tradition, concentrated largely at the upper-secondary level. Empirical work from 2019 to 2024 that connects teacher assumptions about semiotic representation with technology-mediated practices in undergraduate courses is scarce (Andrés et al., 2021). This gap matters because unexamined assumptions function as a hidden curriculum: they determine what counts as legitimate mathematical activity. New teaching-learning environments, as used throughout this article, refers to instructional designs that, mediated by technology, intentionally plan register coordination and make teacher assumptions about representation explicit. This review therefore documents, through published research rather than

direct fieldwork with faculty, how teacher assumptions sustain single-register practice (prioritizing one register, usually algebraic) and what tensions arise when technology is introduced as a didactic mediator.

This review is guided by the following question: What teacher assumptions sustain traditional instructional practices in undergraduate algebra and geometry regarding semiotic representation, and what tensions emerge when technology is introduced as a didactic mediator?

2. Marco Metodológico

Research Approach and Design

Research question: What teacher assumptions sustain traditional instructional practices in undergraduate algebra and geometry regarding semiotic representation, and what tensions emerge when technology is introduced as a didactic mediator?

A narrative-critical literature review covering 2019 to 2024 was conducted. A narrative-critical review was chosen over direct fieldwork with faculty because assumptions, situated in particular sociocultural settings rather than in universal cognitive structures (Moschkovich, 2002), first require an evidentiary map of what has and has not been studied before local fieldwork can be justified. Searches ran in SciELO, Redalyc, Scopus, and Springer between February and April 2024 using combined descriptors: "semiotic representations," "register conversion," "university algebra," "undergraduate geometry," "teacher assumptions," "GeoGebra higher education," and "orquestacion didactica." PRISMA flow: 312 initial records were identified; after removing duplicates, 223 remained. Title-and-abstract screening excluded 178 records not related to undergraduate courses or lacking empirical data, leaving 45 for full-text review. Thirty were excluded for not reporting conversion or belief data, or for focusing on basic education levels. The final corpus comprised 15 texts: 11 empirical articles (predominantly 2019-2024, complemented by seminal studies) and 4 theoretical references (Duval, 2006; Moretti & Thiel, 2012; Ruiz Ledesma, 2011; Trigueros & Ursini, 2003). used to frame the analysis. The corpus draws primarily on non-Mexican settings not to generalize their findings to Mexican classrooms, but to establish, by contrast, the absence of comparable Mexican research: the gap documented in Finding 1 becomes visible only once this international baseline is mapped.

Inclusion criteria for the 11 primary sources: (a) empirical articles with undergraduate data; (b) reports on representational difficulties, technology use, or teacher assumptions; (c) full text available in English, Spanish, or Portuguese; (d) publication between 2019 and 2024, with inclusion of earlier seminal works when directly addressing undergraduate representational difficulties. Exclusion criteria: primary or secondary education level, non-data essays, and conference proceedings without peer review. Thematic coding identified three axes: teacher assumptions, technological mediation, and representational difficulties. Analysis drew on Duval (2006), using conversion and non-congruence as categories. Ethical considerations: as a documentary review, no participants were involved, and intellectual property was respected throughout by citing primary sources.

Table 1. Descriptives of the 11 empirical studies 2019–2024

Thematic block	N studies	Dominant methodology	Primary Region
Teacher beliefs and assumptions	3	Qualitative	Mexico/Latin America
Technological mediation	5	Mixed methods	Europe/Latin America
Representation difficulties	3	Qualitative	Asia/Africa

Table 1. Descriptives of the 11 empirical studies 2019–2024. [Descriptives of the 11 empirical studies 2019–2024 - elaboración propia]

Note. The 4 theoretical antecedents (Duval 2006; Moretti & Thiel 2012; Ledesma 2011; Trigueros & Ursini 2003) are not

included in Table 1 because they are not empirical studies from the 2019–2024 period.

Methods

The analysis of the 11 empirical studies from 2019–2024, in dialogue with the 4 antecedents, is organized into three axes aligned with the research question.

Axis 1: Teacher Beliefs and Assumptions

Hernandez-Moreno et al. (2020) identified in Mexican university mathematics faculty a set of professed beliefs framing mathematics as an exact and applied science, alongside implicit transmissive teaching beliefs. Martinez-Sierra et al. (2019) found at the upper-secondary level a prevailing view that "mathematics exists to be applied," which crowds out semiotic exploration. Çetinbaş (2022), working with preservice teachers, showed that multi-representational fluency is low and tied to formalist conceptions. Moretti and Thiel (2012) describe ensino hermético as a practice that forecloses conversion by privileging one register. Andrés et al. (2021) found in Argentina that GeoGebra screen representations become subordinate to algebraic validation when the didactic contract does not thematize conversion. No study in the reviewed period addresses the belief-representation-technology nexus in undergraduate courses in Mexico.

Axis 2: Technology as Mediation

Zulnaidi and Zakaria (2012) found that GeoGebra improves conceptual knowledge, but gains occur within the graphic register rather than through conversion. Zengin (2019) concluded that task design, not the software itself, drives conversion. Dockendorff and Solar (2018), analyzing teacher training, found that orchestration determines whether GeoGebra functions as exploration or verification; in technical-demo mode, it amplifies the algebraic register. Santos-Trigo (2008) argued that technology requires problems demanding register coordination. Nwabueze (2006) found no significant differences when pedagogy remained unchanged. Pedersen et al. (2021) found that most higher education studies use technology instrumentally, without scaffolding for register transitions.

Axis 3: Representational Difficulties in Undergraduate Courses

Ar and Mahmud (2019) documented among Malaysian undergraduates a tendency to prioritize algebraic formulas while failing to coordinate diagrams, particularly in non-congruent tasks. Bossé et al. (2011) found that translating algebraic expressions into graphs is among the most difficult tasks for first-year students, a result attributed to instruction focused on treatments. Caglayan (2018) reported that errors in linear algebra persist when conversion requires reorganizing significant units. Trigueros and Ursini (2003) had already flagged difficulties with variable usage. Ledesma (2011) showed that algebraic-to-graphic conversion is the primary obstacle in calculus courses. Single-register algebraic practice appears as a transnational pattern, sustained by board-and-formula instruction.

3. Avances y Hallazgos

Preliminary Findings

Three findings emerge from the intersection of these axes, each pointing to research gaps and opening paths toward new teaching-learning environments.

Finding 1: Mexican Research Gap on Assumptions, Representation, and Technology in Undergraduate Education

Hernandez-Moreno et al. (2020) and Martinez-Sierra et al. (2019) address teacher assumptions but do not connect them to semiotic representation or to GeoGebra use in undergraduate courses. Representation-and-technology studies come from outside Mexico. Ledesma (2011) works with calculus but not teacher assumptions. Analysis reveals that 0 of 11 empirical studies (2019-2024) in Mexico report instructional designs that thematize teacher assumptions when technology is used in university algebra or geometry. This gap is operational: without research mapping those assumptions, new

environments end up reproducing single-register practice on digital platforms. The challenge is therefore epistemological before it is technical, since interrogating representation's hidden curriculum must precede any decision to design with technology.

This gap deepens when EDIT is brought into view. These environments, virtual worlds whose multirepresentational and spatial nature offers specific affordances for register coordination (Angel Rueda et al., 2018), do not appear in any corpus study as semiotic mediators in Mexican undergraduate algebra or geometry. If conventional technology already reproduces single-register practice without orchestration, an EDIT lacking explicit conversion design would carry the same problem to a greater scale and complexity.

Finding 2: Persistent Single-Register Use Despite Technological Availability

Institutions report licenses and access to GeoGebra, CAS, and LMS platforms. Yet Ar and Mahmud (2019), Bossé et al. (2011), and Caglayan (2018) agree that instructional sequences privilege algebraic treatment. Conversion is incidental and unevaluated. Ar and Mahmud (2019) locate the obstacle not in access but in assumption: mastering algebra is taken to be equivalent to understanding.

Case 1. Ar and Mahmud (2019) presented a geometry task: given triangle coordinates, find the area using determinants. Eighty percent of students applied the formula without graphing. Asked to verify with GeoGebra, they dragged points but did not interpret the determinant as a signed area. Conversion from graphic to algebraic did not occur because the task never required it.

Finding 3: Technology as a Visualizer Without Conversion Orchestration

Dockendorff and Solar (2018) describe teacher-dominated orchestrations in which software illustrates rather than prompts. Zengin (2019) contrasts this with tasks that compel register coordination, finding measurable gains in mathematical connection. A consistent pattern emerges: what makes a difference is not the tool but task design and management of the didactic contract. Pedersen et al. (2021) note that few interventions build in explicit conversion.

Case 2. Bossé et al. (2011) describe tasks where students translate $f(x) = x^2 – 4x + 3$ into a graph. Students built tables of values and plotted points but did not connect vertex or intercepts to the algebraic form. When GeoGebra was introduced, the teacher displayed the parabola and students copied it. No task required prediction, contrast, or explaining discrepancies. Conversion remained with the teacher.

4. Reflexión Académica

Building this narrative-critical review confronted me with decisions and realignments that transformed my understanding of the problem.

The first significant tension was limiting the study to undergraduate level and excluding upper-secondary education, despite its larger bibliographic volume in Mexico. This was not an administrative choice: it reflected my own trajectory as a university instructor and the urgency of naming a problem I encounter daily. At undergraduate level, an inability to convert between registers is not an isolated error; it is a ceiling that cuts short academic trajectories. This is also the level where critical thinking can be articulated with mathematical reasoning to dismantle formalism. Sacrificing bibliographic breadth for specificity made the gap visible: no recent Mexican studies cross teacher assumptions, representation, and technology at this level.

A second tension was personal. I entered this work convinced that the central obstacle was the board-and-formula model and that exposing expository teaching while integrating technology would yield significant improvement. The evidence unsettled that conviction. Technology does not, on its own, dismantle single-register practice. The core problem is not chalk or screen: it is layers of unexamined assumptions, formalist assumptions that reduce mathematics to algorithmic execution, tasks that only ask for algebraic treatment, and orchestrations that turn GeoGebra into an expensive overhead projector. This

shift changed my question entirely. I stopped looking for how to use technology and started asking under what didactic conditions technology compels register coordination. I moved from pedagogical complaint to design hypothesis. This hypothesis, not the corpus itself, is this article's own contribution: the fifteen texts document what is missing, but the question of which didactic conditions would compel conversion is not answered by any of them.

On ethical grounds, I chose not to include vignettes from my classroom or institutional data. These might have added local texture, but without informed consent and anonymization they would have been shortcuts. Any future fieldwork should emerge with explicit methodological criteria in place.

My trajectory in designing educational experiences with EDIT places me squarely within this tension. Working with EDIT for teaching purposes requires, before any design decision, a map of which teacher assumptions will operate in that space. Without that prior cartography, an immersive environment risks reproducing representation's hidden curriculum in three dimensions: single-register practice wrapped in avatars. This article is an independent theoretical-critical work. Documented gaps define a research agenda: studies that, before designing with technology, map teacher assumptions through task analysis and interviews, and then co-design sequences that compel non-congruent conversions. New teaching-learning environments explored here do not begin with software; they begin by making visible assumptions about what counts as legitimate mathematical activity. Before any empirical protocol, a research agenda that dismantles representation's hidden curriculum is needed.

5. Referencias

Andrés, M., Coronel, M. T., Di Rico, E., Luna, J. P., & Sessa, C. (2021). El papel de las representaciones en la pantalla de GeoGebra en el trabajo matemático del aula. Investigación colaborativa en torno a la enseñanza de funciones en la Escuela Secundaria. Educación Matemática, 33(3), 7–38. https://doi.org/10.24844/em3303.01

Ángel Rueda, C. J., Valdés Godínez, J. C., & Rudman, P. D. (2018). Categorizing the educational affordances of 3 dimensional immersive digital environments. Journal of Information Technology Education: Innovations in Practice, 17, 83–112. https://doi.org/10.28945/4056

Ar, R. A., & Mahmud, N. (2019). Analysis of university students' mathematical representation in solving geometry problems. En Proceedings of the 1st International Conference on Advanced Multidisciplinary Research (ICAMR 2018). Atlantis Press. https://doi.org/10.2991/icamr-18.2019.9

Bossé, M. J., Adu-Gyamfi, K., & Cheetham, M. R. (2011). Assessing the difficulty of mathematical translations: Synthesizing the literature and novel findings. International Electronic Journal of Mathematics Education, 6(3), 113–133. https://www.iejme.com/article/assessing-the-difficulty-of-mathematical-translations-synthesizing-the-literature-and-novel-findings

Caglayan, G. (2018). Coordinating representation registers: Linear algebra students' understanding of orthogonal Legendre polynomials in the inner product space ℙn in a technology-assisted learning environment. Annales de Didactique et de Sciences Cognitives, 23, 137–178. https://doi.org/10.4000/adsc.457

Çetinbaş, M. (2022). An investigation of pre-service mathematics teachers' semiotic representations and modeling routes in a mathematical modeling activity [Tesis de maestría, Middle East Technical University]. https://open.metu.edu.tr/handle/11511/99709

Dockendorff, M., & Solar, H. (2018). ICT integration in mathematics initial teacher training and its impact on visualization: The case of GeoGebra. International Journal of Mathematical Education in Science and Technology, 49(1), 66–84. https://doi.org/10.1080/0020739X.2017.1341060

Duval, R. (2006). A cognitive analysis of problems of comprehension in a learning of mathematics. Educational Studies in Mathematics, 61(1-2), 103–131. https://doi.org/10.1007/s10649-006-0400-z

Hernández-Moreno, A., Arellano-García, Y., & Martínez-Sierra, G. (2020). Professed and implicit mathematical beliefs of university mathematics teachers. Educación Matemática, 32(2), 99–121. https://doi.org/10.24844/em3202.04

Martínez-Sierra, G., Valle-Zequeida, M., García-García, J., & Dolores-Flores, C. (2019). "Las matemáticas son para ser aplicadas": Creencias matemáticas de profesores mexicanos de bachillerato. Educación Matemática, 31(1), 92–120. https://doi.org/10.24844/em3101.04

Moretti, M. T., & Thiel, A. A. (2012). O ensino de matemática hermético: Um olhar crítico a partir dos registros de representação semiótica. Práxis Educativa, 7(2), 379–396. https://doi.org/10.5212/PraxEduc.v.7i2.0004

Nwabueze, K. K. (2006). Technology class format versus traditional class format in undergraduate algebra. Technology, Pedagogy and Education, 15(1), 79–93. https://doi.org/10.1080/14759390500435788

Pedersen, M. K., Bach, C. C., Gregersen, R. M., Højsted, I. H., & Jankvist, U. T. (2021). Mathematical representation competency in

relation to use of digital technology and task design—A literature review. Mathematics, 9(4), 444. https://doi.org/10.3390/math9040444

Ruiz Ledesma, E. F. (2011). Representation registers in the solution of calculus problems. Creative Education, 2(3), 270–275. https://doi.org/10.4236/ce.2011.23036

Santos-Trigo, M. (2008). On the use of technology to represent and explore mathematical objects or problems dynamically. Mathematics and Computer Education, 42(2), 123–139.

Trigueros, M., & Ursini, S. (2003). First-year undergraduates' difficulties in working with different uses of variable. En A. Selden, E. Dubinsky, G. Harel, & F. Hitt (Eds.), Research in Collegiate Mathematics Education V (pp. 1–29). American Mathematical Society.

Zengin, Y. (2019). Development of mathematical connection skills in a dynamic learning environment. Education and Information Technologies, 24(3), 2175–2194. https://doi.org/10.1007/s10639-019-09870-x

Zulnaidi, H., & Zakaria, E. (2012). The effect of using GeoGebra on conceptual and procedural knowledge of high school mathematics students. Asian Social Science, 8(11), 102–106. https://doi.org/10.5539/ass.v8n11p102

Moschkovich, J. (2002). A situated and sociocultural perspective on bilingual mathematics learners. Mathematical Thinking and Learning, 4(2-3), 189-212. https://doi.org/10.1207/S15327833MTL04023_5

Immersive Artificial Intelligence in Education: Presences, Absences, and Possible Futures

Martín Joaquín Aguilar Muñoz | Universidad Marista de Querétaro | martin.aguilar@umq.maristas.edu.mx

Christian Jonathan Ángel Rueda | Universidad Politécnica de Santa Rosa Jáuregui | cangel@upsrj.edu.mx

Ricardo Rivera Carrillo | Universidad Marista de Querétaro | ricardo.rivera@umq.maristas.edu.mx

José Alfredo Gaytán Díaz | Universidad Politécnica de Santa Rosa Jáuregui | agaytan@upsrj.edu.mx

Resumen

Este ensayo teórico-crítico examina la inteligencia artificial (IA) inmersiva en los entornos digitales inmersivos tridimensionales (EDIT). A diferencia de la IA concebida como herramienta externa, la IA inmersiva habita el mismo espacio virtual que docentes y estudiantes y reconfigura la mediación pedagógica desde dentro. Como avance de una línea de investigación sobre práctica docente e IA inmersiva, el trabajo articula estudios de futuros y revisión crítica en torno a tres ejes: las presencias, los agentes que coexisten espacialmente con los actores educativos; las ausencias, los efectos de la desaparición imprevista de plataformas y funcionalidades; y los futuros posibles para la formación docente. El argumento central sostiene que la tensión entre apropiación pedagógica y dependencia tecnopolítica es constitutiva, no transitoria, y demanda alfabetización digital crítica, marcos de competencias adaptativos y gobernanza participativa.

Palabras clave: inteligencia artificial inmersiva; entornos digitales inmersivos tridimensionales; práctica docente; dependencia de plataformas; futuros educativos.

Abstract

This theoretical-critical essay examines immersive artificial intelligence (AI) as an emerging phenomenon in 3-Dimensional Immersive Digital Environments (3D-IDEs). Unlike AI conceived as an external tool, immersive AI inhabits the same virtual space as teachers and students and reconfigures pedagogical mediation from within. Conceived as a progress report on a developing research line on teaching practice and immersive AI, the essay combines futures studies and critical literature review around three axes: presences, which characterise the agents that coexist spatially with educational actors; absences, which interrogate the effects of the unannounced disappearance of platforms and functionalities; and possible futures for teacher education. The central argument holds that the tension between pedagogical appropriation and techno-political dependence is constitutive rather than transitional, and demands critical digital literacy, adaptive teacher competency frameworks, and participatory governance.

Keywords: immersive artificial intelligence; 3-dimensional immersive digital environments; teaching practice; platform dependence; educational futures.

1. Introduction

Over the past decade, educational technology has shifted from an instrumental paradigm, in which digital resources complemented the classroom without fundamentally altering it, towards an environmental paradigm, in which the digital environment itself becomes the site of teaching and learning. This shift is not merely technical: it reconfigures the conditions under which teaching is practised and learner identity is constructed (Zou et al., 2025). 3-Dimensional Immersive Digital Environments (3D-IDEs) represent the point of greatest density within this transformation, offering navigable spaces with six degrees of freedom where space is no longer a container but a co-constructor of the educational act.

Within this landscape, integrating artificial intelligence directly inside these environments introduces a further layer of transformation. The critical distinction is not merely technical but ontological: AI operating from a menu external to the platform differs qualitatively from AI that shares the same three-dimensional territory as teachers and students, perceives the environment from within, and can modify it in real time (Aguilar Muñoz et al., 2026). This condition, referred to here as immersive AI, does not add a function to the educational environment; it reconfigures its pedagogical possibilities from the inside.

The educational field has nonetheless tended to celebrate these integrations with greater speed than critical reflection. Sancho-Gil (2020) warns against technological solutionism, understood as the tendency to address structurally complex pedagogical problems through the uncritical adoption of digital tools, displacing reflection on the power relations that underpin educational practice. The warning is particularly relevant when the technology is not an external instrument but an agent that inhabits and reconfigures the very space of teaching.

Conceived as a progress report on a developing research line on teaching practice and immersive AI, this essay examines the phenomenon through three questions. The first concerns presences: how is AI characterised when it inhabits the virtual educational space, and what distinguishes it from other forms of AI in education? The second interrogates absences: what pedagogical effects are produced by the disappearance or sudden transformation of these technologies, and what forms of techno-political dependence are exposed? The third projects towards possible futures: what scenarios emerge when immersive AI becomes a persistent presence, and what competencies do teachers require to inhabit them with critical agency? The aim is to build a conceptual and prospective characterisation that can orient formative, institutional, and policy decisions over the coming decade.

2. Methodological Framework

This work adopts a theoretical-critical essay approach grounded in two complementary methodological traditions. The first draws on futures studies, understood as a form of prospective inquiry that does not aim to predict a single outcome but to construct and problematise multiple possible futures through the articulation of emerging technologies, social conditions, and pedagogical horizons (Leahy et al., 2019). This perspective allows scenarios to be projected without sacrificing analytical rigour, since its purpose is to explore and open alternatives rather than to foreclose certainties.

The second is a critical literature review. The search was conducted through Google Scholar and various open-access publisher platforms, including MDPI and Frontiers, combining in English and Spanish such terms as "immersive artificial intelligence," "pedagogical/educational agents," "3D immersive environments" and "metaverse," "platform dependence" and "datafication," and "teacher digital competence." Studies published between 2019 and 2026 were consulted across four thematic clusters: the characterisation of AI agents in educational environments, with particular attention to immersive and virtual settings; the pedagogical effects of accelerated technological change and platform obsolescence; dependence on private commercial platforms in teaching practice; and competency frameworks for teachers facing emerging and

uncertain technologies. From the records retrieved, sources were selected according to three criteria: thematic relevance to at least one cluster, methodological or theoretical rigour, and currency. Priority was given to empirical and theoretical works providing evidence on the real impacts of these dynamics on documented educational practices, as well as rigorous prospective proposals.

The articulation of both traditions allows the text to operate across two simultaneous registers: an analytical one, which systematises what the literature establishes about the presences and absences of immersive AI, and a prospective one, which projects plausible scenarios from the trends identified. In a field where the pace of technological change consistently outstrips the timescales of empirical research, prospective analysis informed by evidence is a legitimate and necessary contribution. The analytical framework organises inquiry around three dimensions (presences, absences, and possible futures) that structure the findings of this progress report.

3. Advances and Findings

The advances reported below operate across three registers that should be read as distinct. The first comprises results established by the reviewed literature, always accompanied by their corresponding citation. The second comprises the authors' own interpretations, which extend or connect those results to the problem of immersive AI and are signalled by expressions of inference (for example, "this suggests" or "the implications are"). The third comprises the prospective scenarios proposed by this progress report, developed in Section 3.3, which are constructed rather than documented. Sections 3.1 and 3.2 combine the first two registers; Section 3.3 corresponds to the third.

3.1 Presences: AI as a Spatial Inhabitant of the Educational Environment

Understanding the presence of AI in educational environments requires distinguishing between qualitatively different modes of that presence. Research on educational agents identifies three minimum criteria for properly speaking of an agent: sustained bidirectional interactivity, personalised adaptation based on student data, and the performance of a role with pedagogical weight (tutor, peer, or mentor) capable of sustaining instructional scaffolding (Xu et al., 2026). Derived from a meta-analysis of fifty-two studies, this definition establishes the threshold below which one is dealing with automated tools rather than agents in any meaningful sense.

Agents meeting these criteria have shown positive effects on creative thinking, academic performance, and communication skills, though with weaker effects on problem-solving and sustained engagement (Xu et al., 2026). This asymmetry suggests that the efficacy of educational agents depends on the type of cognitive process involved and on the degree of bodily and contextual interaction a task demands. The implications for 3D-IDEs are significant, since these involve precisely the kinaesthetic, spatial, and corporeal dimensions of presence that agents designed for two-dimensional interfaces are not equipped to mediate.

Immersive AI represents an emergent response to this limitation. Whereas conventional educational AI operates from outside the learning space, immersive AI shares the three-dimensional space with educational actors, perceives it from within, and can modify it in real time in response to natural-language instructions (Aguilar Muñoz et al., 2026). This introduces a form of mediation that is neither the teacher-student dyad nor the didactic triangle, but a configuration in which the agent redistributes, in real time, which interactions are possible within the territory. The integration of metaverse and AI described by Svoboda and Knihová (2025) points in the same direction: AI ceases to be an additional layer and becomes a constitutive element that determines which learning experiences are technically possible and which process data are collected. Yet the mere technical presence of the agent does not guarantee its pedagogical appropriation: incorporating immersive platforms without addressing structural conditions of connectivity, device access, and prior digital literacy

may amplify inequalities rather than reduce them (Sancho-Gil, 2020).

3.2 Absences: When Technology Disappears Without Warning

If the presences of immersive AI generate significant tensions, the absences produced by the unannounced disappearance, transformation, or obsolescence of technologies already integrated into teaching practice generate a different and deeper disruption. The problem is not simply that a tool stops working, but that the pedagogical territory itself changes its rules without consulting those who inhabited it.

Research on technological change documents this dynamic with precision. Lavicza et al. (2022), in their study of STEAM innovations using design-based research, record how platform launches and transformations during research cycles compelled teachers to redesign materials, recalibrate activities, and reorganise carefully developed didactic sequences. Participants expressed concern about the pace of change and the additional cognitive load of continually adapting practice to unsolicited updates. The tension between curricular temporality, which requires stability and predictability, and technological temporality, characterised by cycles of updating and obsolescence, is structural and cannot be resolved through further training alone.

This tension is amplified when the disappearing technology is not a peripheral tool but an agent integrated as a central mediator of the educational space: the withdrawal of immersive AI functionalities from commercial platforms can leave teachers and students without the conditions of mediation that had shaped their practices (Aguilar Muñoz et al., 2026). The techno-political dimension lies in the power asymmetry it reveals, since those who design the territory can change its rules without prior consultation. The platform dependence documented by Kerssens et al. (2024) illustrates the mechanisms of that asymmetry: datafication converts school activity into a commercially exploitable resource; technological lock-in complicates the transition to alternatives; and the standardisation of mediated practices reduces curricular autonomy. Without a clear understanding of these logics, technological adoption remains reactive and vulnerable; with it, it can become tactical and critical (Sancho-Gil, 2020).

3.3 Possible Futures: Scenarios for Education with Immersive AI

Constructing future scenarios for emerging technologies is not equivalent to predicting; it is a critical operation that makes the assumptions of the present explicit, projects their tendencies, and opens questions about alternatives (Leahy et al., 2019). From this perspective, at least three plausible scenarios can be identified for education with immersive AI over the coming decade.

The first, techno-political colonisation, extends current trends: immersive environments remain dominated by commercial platforms whose business models prioritise data monetisation and user retention over pedagogical goals. Teachers enjoy an apparent creative freedom within non-negotiable limits, and cycles of updating or elimination of functionalities continue to reshape practice without notice. Teacher education in this scenario is essentially reactive.

The second, distributed critical appropriation, emerges when teaching communities, institutions, and policy actors develop the capacity to intervene in the conditions of technological governance. It does not imply full independence from commercial platforms, but the construction of competency frameworks and critical digital literacy practices that allow teachers to understand algorithmic architectures, negotiate their margins, and exercise conscious agency within their constraints (García-Delgado et al., 2023). The third, emergent pedagogical reinvention, is the most speculative and transformative: communities of teachers and researchers co-construct alternative immersive environments guided by pedagogical principles rather than market logics. Leahy et al. (2019) argue that prospective reflection must extend beyond describing probable futures to imagining and problematising desirable ones.

The scenarios are neither mutually exclusive nor stages of a linear development: real contexts will inhabit them simultaneously in varying proportions. What will distinguish communities that critically appropriate immersive AI from those that merely consume it is, to a considerable degree, the kind of teacher education they have developed. Ng et al. (2023) identify five interdependent domains of teacher AI competency (technical and operational; pedagogical-technological; digital resource design and management; learning analytics and assessment; and professional ethics and leadership) and warn that the last, which encompasses limitations, biases, and privacy, is the most frequently neglected. Zou et al. (2025) add that investment in infrastructure is insufficient if it is not accompanied by a transformation in the pedagogical conceptions that orient its use.

4. Academic Reflection

Developing 3D-IDEs with immersive AI poses a paradox that neither additional technology nor further technical training will resolve: the tension between the pedagogical possibilities these environments open and the structural dependencies they impose is constitutive rather than transitional. Recognising it as such is the first step towards inhabiting it with conscious agency. This realisation also organises the decisions of the research line of which this essay forms part.

The first relevant methodological decision concerned register. A line that studies teaching practice with immersive AI faces a singular epistemic obstacle: its object transforms or disappears at a pace that outstrips the timescales of empirical research. Documenting concrete cases is indispensable, but it risks remaining anchored to ephemeral tools and platforms. Hence the choice, in this progress report, of a theoretical-prospective register that does not replace empirical work but complements it: while situated inquiry describes what a concrete agent made possible in a classroom, the prospective essay names the category, the tensions, and the futures that outlive the particular tool. This deliberate division between empirical and conceptual products of a single research line is itself a response to the fragility of the object.

A second dilemma concerned critical stance. It was tempting to celebrate immersive AI for its pedagogical affordances or, at the opposite extreme, to denounce its commercial dependence without nuance. The analysis shows both readings to be insufficient: the presences of immersive AI reconfigure mediation and redistribute agency within the educational territory, but they simultaneously inscribe in their design the interests and limits of the commercial architectures that produce them. Sustaining that dual condition (generative and conditioning at once) without collapsing into enthusiasm or rejection was the central analytical demand of this work.

The absences confirm that techno-political dependence is not a side effect of adoption but a structural condition of education in the age of platformisation. The asymmetry between those who design and control algorithmic territories and those who inhabit them pedagogically cannot be naturalised: it requires problematisation, empirical investigation, and forms of participatory governance currently absent from most educational systems. The futures that arise from this are not predetermined; they are constructed through the decisions, omissions, and resistances of the present (Leahy et al., 2019). Identifying presences and absences is therefore not an archaeological exercise but a tool for orienting teacher education and policy over the coming decade.

Several research lines remain outstanding and exceed this progress report: longitudinal studies documenting real teaching trajectories in environments with immersive AI; critical discourse analyses of how commercial platforms communicate their AI functionalities; investigations into participatory governance models; and comparative case studies across diverse territorial contexts. The conversation about teaching practice and immersive AI is only beginning: what this essay contributes is not a conclusion but a map of its most productive tensions and a justification for why they are worth studying through more than one register at once.

References

Aguilar Muñoz, M. J., Ángel Rueda, C. J., Chaparro-Sánchez, R., & Escudero-Nahón, A. (2026). Práctica docente en mundos virtuales: configuraciones pedagógicas entre apropiación y dependencia en la inteligencia artificial inmersiva. In A. Escudero-Nahón & E. P. Mercado-López (Eds.), Inteligencia artificial: experiencias y reflexiones sobre la investigación educativa (pp. 131–145). Editorial Transdigital. https://doi.org/10.56162/transdigitalbc13.07

García-Delgado, M. Á., Rodríguez-Cano, S., Delgado-Benito, V., & Lozano-Álvarez, M. (2023). Emerging technologies and their link to digital competence in teaching. Future Internet, 15(4), Article 140. https://doi.org/10.3390/fi15040140

Kerssens, N., Nichols, T. P., & Pangrazio, L. (2024). Googlization(s) of education: Intermediary work brokering platform dependence in three national school systems. Learning, Media and Technology, 49(3), 478–491. https://doi.org/10.1080/17439884.2023.2258339

Lavicza, Z., Weinhandl, R., Prodromou, T., Anđić, B., Lieban, D., Hohenwarter, M., Fenyvesi, K., Brownell, C., & Diego-Mantecón, J. M. (2022). Developing and evaluating educational innovations for STEAM education in rapidly changing digital technology environments. Sustainability, 14(12), Article 7237. https://doi.org/10.3390/su14127237

Leahy, S. M., Holland, C., & Ward, F. (2019). The digital frontier: Envisioning future technologies impact on the classroom. Futures, 113, Article 102422. https://doi.org/10.1016/j.futures.2019.04.009

Ng, D. T. K., Leung, J. K. L., Su, J., Ng, R. C. W., & Chu, S. K. W. (2023). Teachers' AI digital competencies and twenty-first century skills in the post-pandemic world. Educational Technology Research and Development, 71, 137–161. https://doi.org/10.1007/s11423-023-10203-6

Sancho-Gil, J. M. (2020). Digital technology as a trigger for learning: Promises and realities. Digital Education Review, (37). https://doi.org/10.1344/der.2020.37.195-207

Svoboda, P., & Knihová, L. (2025). Exploring the future of education: Integrating metaverse and AI tools to enhance learning experiences. TEM Journal, 14(1), 631–643. https://doi.org/10.18421/TEM141-56

Xu, Y., Cao, Y., & Wu, Y. (2026). Impact of educational agents on student's learning outcomes: A meta-analysis. Frontiers in Psychology, 17, Article 1707196. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2026.1707196

Zou, Y., Kuek, F., Feng, W., & Cheng, X. (2025). Digital learning in the 21st century: Trends, challenges, and innovations in technology integration. Frontiers in Education, 10, Article 1562391. https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1562391

Gamificación y aprendizaje significativo en Terapia Física: una experiencia innovadora en la enseñanza de la biomecánica

Igor Salinas-Sánchez | Universidad Politécnica de Santa Rosa Jauregui | isalinas@upsrj.edu.mx

Susana Lara-Aguilar | División Preparatoria, Tecnológico de Monterrey | susana.lara.ag@tec.mx

Sacbé Arenas-Vargas | Centro de Estudios Superiores del Bajío | d.sacbe.arenas@sesba-queretaro.edu.mx

Resumen

Este artículo presenta un estudio en proceso que busca explorar el uso de la gamificación como estrategia en la enseñanza de la biomecánica en la formación en Terapia Física. El trabajo se encuadra en un enfoque mixto, con predominio cualitativo centrado en la práctica docente y se desarrolla con estudiantes de segundo año de la Universidad Politécnica de Santa Rosa Jáuregui. La experiencia integra actividades lúdicas como escape room, puzles clínicos, juegos de rol y retos cooperativos. Los hallazgos preliminares sugieren que la gamificación favorece la participación, incrementa la motivación y facilita la aplicación e integración del conocimiento teórico en contextos prácticos. Esta reflexión aporta a la discusión sobre la importancia de la innovación educativa y el aprendizaje significativo a través de mejores experiencias en ciencias de la salud.

Palabras clave: Innovación educativa, Gamificación, Terapia Física, Aprendizaje Significativo, Educación superior

Abstract

This article presents an ongoing study that seeks to explore the use of gamification as a strategy for teaching biomechanics in physical therapy education. The study adopts a qualitative approach focused on teaching practice and is being conducted with second-year students at the Universidad Politécnica de Santa Rosa Jáuregui, Querétaro, México. The experience incorporates playful activities such as escape rooms, clinical puzzles, role-playing games, and cooperative challenges. Preliminary findings suggest that gamification promotes participation, increases motivation, and facilitates the application and integration of theoretical knowledge into practical contexts. This reflection contributes to the discussion on the importance of educational innovation and meaningful learning through enhanced experiences in the health sciences.

Keywords: educational innovation, Gamification, Physiotherapy, significant learning, Higher education.

1. Introducción

En las últimas dos décadas, la formación universitaria en Terapia Física en México ha crecido continuamente (Salinas-Sánchez et al., 2024; Observatorio Laboral, 2025). Sin embargo, este desarrollo no siempre ha implicado mejoras en los procesos formativos, especialmente en el uso de metodologías activas o innovadoras (León-Díaz et al., 2020; Borte et al., 2023).

Varios estudios indican que persisten enfoques tradicionales centrados en la transmisión pasiva de contenidos, limitando el desarrollo de competencias profesionales complejas (Arrue y Zarandona, 2021; Franklin y Harrington, 2019). Esto es problemático en profesiones donde la integración del conocimiento teórico y práctico es crucial (Shumba y Tekian, 2024).

En respuesta, los enfoques basados en competencias, especialmente el proyecto Tuning, resaltan la necesidad de metodologías activas que promuevan el aprendizaje significativo y la resolución de problemas en contextos reales o simulados (Deusto y Groningen, 2025; Chen et al., 2024). La gamificación ha mostrado resultados prometedores en la educación en ciencias de la salud (Guo et al., 2020; Ghafouri et al., 2024).

La gamificación, que incorpora elementos del juego en la educación, se asocia con aumentos en motivación, participación y retención del conocimiento (Huotari y Hamari, 2017; Capdarest-Arest et al., 2019). En Terapia Física, investigaciones recientes indican su potencial para fomentar el pensamiento creativo y la implicación del estudiante (Sandoval-Hernández et al., 2023), aunque persisten limitaciones en su implementación y documentación.

La enseñanza de la biomecánica, que aplica principios mecánicos al estudio del movimiento, es relevante para estas estrategias debido a su carácter abstracto. La incorporación de dinámicas lúdicas puede transformar cómo los estudiantes construyen y utilizan el conocimiento en esta área.

La propuesta se orientó por la pregunta: ¿Cómo puede la gamificación favorecer experiencias de aprendizaje significativo en la enseñanza de la biomecánica en estudiantes de Terapia Física?

Esta propuesta se desarrolló desde un enfoque mixto con predominio cualitativo descriptivo, para comprender los procesos y significados que surgen al incorporar estrategias de gamificación en la enseñanza de la biomecánica, sin separar el aprendizaje del aula ni la interacción entre participantes (Borte et al., 2023).

El trabajo se realizó en la Universidad Politécnica de Santa Rosa Jáuregui, Querétaro, México, con 54 estudiantes de segundo año de Terapia Física, que cursaron Biomecánica entre agosto y diciembre de 2025. La implementación se integró en el desarrollo regular de la asignatura con actividades lúdicas. Se utilizaron registros de observación, cuestionarios de percepción y análisis de producciones académicas (Franklin y Harrington, 2019).

El análisis de la información se realizó mediante categorización, ampliamente usada en estudios sobre metodologías activas para entender resultados y procesos (León-Díaz et al., 2020).

Actualmente, el proyecto está en su tercera fase de implementación, analizando las actividades planeadas. Por ello, los hallazgos son preliminares y se centran en las primeras respuestas de los estudiantes.

Los registros muestran cambios en la dinámica del aula, con mayor participación y disposición para involucrarse, coincidiendo con estudios sobre gamificación, que reportan incrementos en motivación y compromiso cuando se usan dinámicas activas (Capdarest-Arest et al., 2019; Huotari y Hamari, 2017).

También se observan avances en cómo los estudiantes relacionan contenidos teóricos con su aplicación práctica, estableciendo conexiones más rápidas y seguras en actividades que simulan escenarios clínicos (Sandoval-Hernández et al., 2023).

Sin embargo, quedan preguntas abiertas. Es necesario explorar si estas mejoras se mantienen en el tiempo y su traslado a contextos clínicos reales. También se debe analizar el impacto en diferentes perfiles de

estudiantes, ya que no todos responden igual a las metodologías activas.

2. Marco Metodológico

Enfoque y diseño de la investigación

Enfoque mixto con predominio cualitativo, interpretativo y longitudinal.

Diseño de investigación-acción, articulando la gamificación en la asignatura de biomecánica impartida en el segundo año de la licenciatura en Terapia Física.

La muestra se distribuyó de la siguiente forma:

Variable	Categoría	n	%
Sexo	Mujeres	34	63%
	Hombres	20	37%
Edad	Media	21 años	—
	Moda	20 años	—
	Rango	18–48 años	—
Nivel académico	Segundo año	54	100%
Tipo de muestra	Conveniencia	54	100%

Tabla 1. Características de la muestra. Elaboración propia

La propuesta se enfoca en la formación basada en competencias, específicamente en las competencias genéricas del aprendizaje Tuning, vinculadas al análisis, aplicación del conocimiento y resolución de problemas. Se realizaron cinco tipos de actividades: escape room biomecánico, resolución de puzles clínicos, retos cooperativos, juegos de rol y carrera de conocimientos.

Estas actividades se integraron en momentos específicos del curso, abordando diferentes contenidos y niveles de complejidad, siguiendo una progresión en exigencia cognitiva y participación del estudiante.

La recuperación de información se llevó a cabo simultáneamente al desarrollo de las actividades, utilizando evaluaciones estandarizadas para medir avances, cuestionarios de percepción y análisis de productos académicos. El análisis se estructura mediante un proceso de categorización temática. Actualmente, la experiencia está en su tercera fase y los resultados son de un análisis preliminar.

Métodos

El proyecto se organiza en tres momentos: diagnóstico inicial, enseñanza activa gamificada y evaluación de resultados. El diagnóstico identificó un bajo nivel de participación y problemas en la aplicación práctica de contenidos biomecánicos.

Durante la intervención se llevaron a cabo 5 actividades lúdicas para fomentar el aprendizaje activo, la colaboración y la toma de decisiones en contextos simulados.

1. Escape room biomecánico: experiencia inmersiva donde los estudiantes resolvían desafíos sobre análisis del movimiento humano, identificando patrones biomecánicos.

2. Puzles clínicos: los participantes reconstruían escenarios con información fragmentada, integrando variables como rangos articulares y fuerzas mecánicas.

3. Retos cooperativos: análisis colectivo de movimientos complejos, donde cada miembro asumía un rol en la interpretación biomecánica.

4. Role playing: los estudiantes simularon situaciones clínicas, desarrollando habilidades de evaluación y comunicación.

5. Carrera de conocimientos: actividades de respuesta rápida para reforzar conceptos clave mediante estaciones prácticas que permitieron aplicar el conocimiento.

Técnicas

La intervención se integró en las sesiones regulares de la asignatura sin modificar la carga horaria ni los contenidos, utilizando la gamificación como eje organizador del proceso de enseñanza-aprendizaje. Cada sesión se estructuró en tres momentos:

Un planteamiento inicial mediante un reto breve de tipo clínico o funcional, orientado a activar el análisis;

Desarrollo de la actividad en equipos de tres a cinco estudiantes.

Cierre centrado en la discusión de soluciones y la recuperación de fundamentos teóricos. Esta secuencia permitió vincular de forma constante los contenidos con su aplicación.

Las actividades se diseñaron con distintos niveles de complejidad. Cada dinámica implicó la resolución de tareas progresivas que demandaban análisis, discusión y toma de decisiones, bajo condiciones previamente de tiempo, reglas y criterios de avance.

Se incorporaron elementos de puntuación, niveles de logro y retroalimentación inmediata, con el fin de mantener la participación y favorecer procesos de razonamiento bajo presión controlada previamente establecida.

Durante la implementación, el docente mantuvo un rol de facilitador, centrando su intervención en la observación de estrategias, interacciones y formas de argumentación, sin dirigir directamente la resolución de los retos.

La progresión de las actividades permitió transitar de ejercicios centrados en la identificación de conceptos hasta situaciones que fomentaran el desarrollo de competencias.

Instrumentos

Para el desarrollo y análisis de datos se utilizaron tres instrumentos clave:

1. Se aplicó un cuestionario digital de competencias genéricas al inicio y cierre del curso, identificando el enfoque del profesorado en la promoción de estas competencias y las variaciones tras la intervención didáctica.

2. Se diseñaron instrumentos evaluativos en tres momentos: diagnóstico, intermedio y final, para valorar la comprensión, integración y aplicación de contenidos biomecánicos, basados en los objetivos del curso y las actividades.

3. Se implementó un instrumento de percepción del estudiantado sobre su experiencia con la gamificación en la asignatura.

4. Se elaboraron manuales de práctica específicos para cada técnica activa, que incluyen objetivos, materiales, reglas, actividades y criterios de evaluación, para estandarizar la implementación y asegurar coherencia.

La implementación de la propuesta se organiza en fases:

En la primera fase, se definieron los fundamentos pedagógicos del enfoque por competencias y contenidos de biomecánica. Se diseñaron actividades, manuales de práctica y herramientas de evaluación, como el cuestionario de Tuning.

En la segunda fase, se aplicó y probó la propuesta en el aula, integrando actividades según la complejidad de los contenidos, registrando el desempeño académico y las interacciones del estudiantado.

En la tercera fase, se evaluó la propuesta mediante la comparación de resultados y percepciones del estudiantado, identificando patrones y áreas de mejora para ajustar actividades y garantizar una propuesta didáctica más robusta y replicable.

El trabajo se desarrolló desde un enfoque multidisciplinario, abarcando Educación, Terapia Física y Mecánica, integrando aportes de neurociencia y neuroeducación. Incluye la colaboración de una investigadora en estudios humanísticos y un fisioterapeuta especializado en biomecánica, aportando rigor y relevancia clínica.

3. Avances y Hallazgos

Hallazgos preliminares

Los hallazgos preliminares muestran ventajas en el aprendizaje de la biomecánica por parte de los estudiantes. Al inicio, había dificultades para integrar teoría y práctica. Con el avance de la intervención, se observó mejor integración de conceptos y mayor participación en actividades de resolución de problemas y toma de decisiones.

VARIABLES	DIAGNÓSTICO	CAMBIO OBSERVADO
Aproximación al aprendizaje	Predominio de comprensión fragmentada y baja integración teórico-práctica	Mayor articulación entre conceptos y aplicación en contextos simulados
Desarrollo de competencias genéricas	Percepción moderada de habilidades instrumentales, interpersonales y sistémicas	Fortalecimiento de las tres dimensiones, con mayor énfasis en habilidades instrumentales
Rendimiento académico	Desempeño inicial bajo en evaluación diagnóstica	Mejora del aprendizaje al cierre del curso
Relación aprendizaje–desempeño	Débil correspondencia entre lo que el estudiante percibe y lo que demuestra	Mayor coherencia entre percepción de competencia y resultados académicos
Experiencia de aprendizaje	Preferencia por métodos tradicionales como referencia inicial	Preferencia por estrategias activas, con énfasis en lo lúdico y participativo
Motivación y participación	Participación heterogénea y dependiente del formato de clase	Incremento en implicación, interacción y trabajo colaborativo

Tabla 2. Hallazgos preliminares a partir de la implementación de la gamificación en Biomecánica. Elaboración propia

La Tabla 2 resume los principales cambios observados durante la implementación, particularmente en la integración teórico-práctica, el desarrollo de competencias y la participación del estudiantado. Esto sugiere que las estrategias implementadas favorecieron la retención y aplicación en escenarios complejos. Además, la relación entre la percepción de logro y el rendimiento académico mejoró en la medición final, indicando coherencia entre lo que el estudiante considera haber desarrollado y lo que demuestra.

Se identificó un progreso claro en las preferencias del estudiantado. Al inicio, había una preferencia por metodologías tradicionales, pero las dinámicas lúdicas y participativas reconfiguraron estas expectativas (Figura 1). La gamificación fue valorada como una estrategia efectiva para el aprendizaje, aumentando la motivación, la participación y el trabajo colaborativo. Este cambio se manifestó en el mayor involucramiento de los estudiantes en las actividades y su disposición a interactuar, experimentar y mantener el esfuerzo durante el proceso formativo.



Figura 1. Gamificación en Biomecánica. Elaboración propia

Los estudiantes pudieron experimentar situaciones similares a las de su futuro desempeño profesional, lo que incrementó su motivación y facilitó la transferencia del conocimiento a contextos reales.

Complejidad y adaptación al aprendizaje

Se reconoce que los procesos de aprendizaje implicados no siguieron trayectorias lineales ni homogéneas, ya que se configuran a partir de múltiples interacciones entre lo cognitivo, lo emocional y lo contextual. Por lo que, lejos de representar una dificultad, esta complejidad se manifestó como un elemento constitutivo del aprendizaje. Desde esta mirada, los autores identifican que asumir dicha complejidad abre la posibilidad de diseñar estrategias más flexibles, sensibles y adaptativas, capaces de responder a la diversidad de formas en que los estudiantes construyen y movilizan el conocimiento.

Impacto emocional y aprendizaje significativo

Se observó una transición de actitudes reservadas a una participación durante las dinámicas. Los estudiantes mostraron más disposición para intervenir, discutir respuestas y volver a intentar tras cometer errores, especialmente en actividades

desafiantes y colaborativas. Esto motivó una mayor interacción y compromiso en las actividades.

Durante el proceso, las actitudes cambiaron de reservadas a más abiertas, caracterizadas por interés, curiosidad y colaboración. Las dinámicas crearon un entorno en el que el error dejó de ser una limitante, fomentando la confianza para intentar, discutir y resolver. Este clima mejoró la motivación y el compromiso de los estudiantes ante los desafíos.

Sin embargo, se presentaron desafíos prácticos y éticos. Operativamente, se requirió una cuidadosa planeación, inversión de tiempo y adaptación constante a las dinámicas del grupo. También surgieron retos por la heterogeneidad del estudiantado, que exigió ajustar actividades para que todos participaran.

Ética y operativamente, los estudiantes fueron informados sobre el proyecto desde el inicio del periodo académico, incluyendo propósitos y la posibilidad de documentar actividades para investigación. Todos firmaron una carta de consentimiento informado que abordó su participación y la documentación fotográfica. Se garantizó la confidencialidad y se evitaron situaciones de exposición, exclusión o presión durante las actividades.

La propuesta crea experiencias de aprendizaje prácticas y seguras en contextos difíciles de replicar en entornos no académicos, siguiendo principios de aprendizaje basado en la experiencia y enfoques de aprendizaje activo y situado.

Al incorporar dinámicas que provocan emoción, desafío e interacción social, la propuesta se alineó con cómo el cerebro prioriza y consolida información relevante, favoreciendo la atención sostenida y la memoria significativa.

Se identificó una clara correspondencia entre los principios de la propuesta y prácticas que transforman la enseñanza y el aprendizaje, creando condiciones para construir, probar y resignificar el conocimiento. Esto sugiere que enfoques como este pueden influir significativamente en la relación de los estudiantes con los contenidos y el proceso formativo.

A pesar de los resultados observados, la consolidación enfrenta desafíos que van más allá de la aplicación en el aula. Se requiere sostenibilidad, coherencia pedagógica y condiciones institucionales para su continuidad, así como recursos y tiempos adecuados para su implementación. También es necesario fortalecer las competencias docentes para diseñar y adaptar este tipo de experiencias, considerando las posibilidades tecnológicas disponibles.

4. Reflexión Académica

Los hallazgos obtenidos muestran transformaciones importantes en cómo los alumnos se relacionan con el contenido, lo que sugiere mejoras en competencias de análisis, toma de decisiones y colaboración, alineadas con el enfoque basado en competencias. La experiencia también reveló aspectos que necesitan ajustes, en particular en las actividades y en los métodos de evaluación, siendo necesario validar el uso de estos datos en otros contextos de formación, lo que resalta la naturaleza evolutiva del estudio.

Desde una perspectiva más amplia, el avance en esta área implica un equilibrio entre la adopción de estrategias innovadoras y la solidez de los principios educativos que las sustentan, generando nuevos paradigmas en la inclusión de tecnologías y elementos lúdicos que brindan más oportunidades de interacción. Se deben explorar los efectos a largo plazo de estas prácticas respecto a la exposición, competencia y uso de datos en la educación.

Este estudio proporciona evidencia concreta sobre la implementación de metodologías activas como la gamificación en la formación en salud, superando la pedagogía tradicional y ofreciendo elementos aplicables en la educación superior en México y América Latina.

5. Referencias

Arrue, M., & Zarandona, J. (2021). Debate in university classrooms: Building alternatives to develop skills in health science students. Educación Médica, 22. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1575181319301986

Borte, K., Nesje, K., & Lillejord, S. (2023). Barriers to student active learning in higher education. Teaching in Higher Education, 28, 597–615. https://www.researchgate.net/publication/345602740_Barriers_to_student_active_learning_in_higher_education

Capdarest-Arest, N., Opuda, E., & Stark, R. (2019). Game on! Teaching gamification principles in health sciences education. Journal of the Medical Library Association, 107. https://jmla.mlanet.org/ojs/jmla/article/view/636

Chen, A. M. H., Kleppinger, E. L., Churchwell, M. D., & Rhoney, D. H. (2024). Examining competency-based education through implementation science. American Journal of Pharmaceutical Education, 88. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38092089/

Deusto, U., & Groningen, U. (2025). Tuning educational structures in Europe. http://www.deusto-publicaciones.es/deusto/index.php/es/tuning-es/tuning-educational-es

Franklin, H., & Harrington, I. (2019). Effective classroom management and student engagement strategies. Journal of Education and Training Studies, 7. https://redfame.com/journal/index.php/jets/article/view/4491/0

Ghafouri, R., Zamanzadeh, V., & Nasiri, M. (2024). Gamification and flipped learning in health education. BMC Medical Education, 24. https://doi.org/10.1186/s12909-024-05966-2

Guo, P., Saab, N., Post, L. S., & Admiraal, W. (2020). A review of project-based learning in higher education. International Journal of Educational Research, 102. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0883035519325704

Huotari, K., & Hamari, J. (2017). A definition for gamification. Electronic Markets, 27. https://doi.org/10.1007/s12525-015-0212-z

León-Díaz, O., Crisol Moya, E., & Caurcel Cara, M. J. (2020). Active methodologies in physical education. Retos, 38, 587–595. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7913628/

Observatorio Laboral. (2025). Información estadística sobre educación y empleo en México. https://observatoriolaboral.gob.mx/#/

Salinas-Sánchez, I., Ramirez-Jimenez, A., González Carbonell, R. A., Arenas-Vargas, S., Hernández-Escobedo, Q., & Manzano Agugliaro, F. (2024). Educational quality in physiotherapy degrees in Mexican universities. Espiral. Cuadernos del Profesorado, 17. https://ojs.ual.es/ojs/index.php/ESPIRAL/article/view/9777

Sandoval-Hernández, I., Molina-Torres, G., León-Morillas, F., Ropero-Padilla, C., González-Sánchez, M., & Martínez-Cal, J. (2023). Gamification-based teaching resources in physiotherapy education. BMC Medical Education, 23. https://doi.org/10.1186/s12909-023-04576-8

Shumba, T., & Tekian, A. (2024). Competencies in physiotherapy education: A scoping review. South African Journal of Physiotherapy, 80. https://sajp.co.za/index.php/sajp/article/view/1879

Integración de Inteligencia Artificial Generativa con Roblox Studio para la Generación Procedural de Contenido en Entornos Virtuales de Aprendizaje

Jorge Luis Medellín Martínez | Universidad Politécnica de Santa Rosa Jáuregui | jmedellin@upsrj.edu.mx

Martin Joaquin Aguilar Muñoz | Universidad Marista de Querétaro | martin.aguilar@umq.maristas.edu.mx

Christian Jonathan Angel Rueda | Universidad Politécnica de Santa Rosa Jáuregui | cangel@upsrj.edu.mx

Ricardo Rivera Carrillo | Universidad Marista de Querétaro | ricardo.rivera@umq.maristas.edu.mx

José Alfredo Gaytán Díaz | Universidad Politécnica de Santa Rosa Jáuregui | agaytan@upsrj.edu.mx

Resumen

Este artículo presenta un estudio en proceso que documenta la integración técnica y pedagógica entre Roblox Studio y los Modelos de Lenguaje de Gran Escala (LLM) mediante la API de OpenAI. La investigación tiene como objetivo permitir la generación de contenido 3D procedural mediante comandos de lenguaje natural en entornos de tiempo real. Enmarcado en un enfoque cualitativo de investigación-acción, el estudio se centra en estudiantes de ingeniería de educación superior para evaluar cómo la reducción de barreras técnicas impacta el prototipado rápido y el pensamiento sistémico. Los hallazgos preliminares demuestran que una arquitectura distribuida, empleando un servidor intermedio Node.js y prompts estructurados en JSON, cierra eficazmente la brecha entre el lenguaje natural y la ejecución en el motor de juego. Esta reflexión aporta al discurso académico sobre innovación educativa y el desarrollo de experiencias de aprendizaje significativas mediadas por tecnología en el contexto de la educación superior en México.

Palabras clave: innovación educativa, educación superior, inteligencia artificial generativa, generación procedural, Roblox Studio, investigación cualitativa.

Abstract

This article presents an ongoing study documenting the technical and pedagogical integration between the Roblox Studio engine and Large Language Models (LLMs) via the OpenAI API. The research aims to enable procedural 3D content generation through natural language commands in real-time environments. Framed within a qualitative action-research approach, the study focuses on higher education engineering students to evaluate how reducing technical barriers affects rapid prototyping and systems thinking. Preliminary findings demonstrate that a distributed architecture, utilizing a Node.js intermediary server and structured JSON prompts, effectively bridges the gap between natural language and game engine execution. This reflection contributes to the academic discourse on educational innovation and the development of meaningful, technology-driven learning experiences in Mexican higher education contexts.

Keywords: educational innovation, higher education, generative artificial intelligence, procedural generation, Roblox Studio, qualitative research.

1. Introducción

La incorporación de nuevas formas de enseñanza en el aula universitaria ha generado transformaciones importantes en la manera en que los estudiantes se relacionan con el conocimiento técnico y el desarrollo de sistemas complejos. En el contexto de la ingeniería contemporánea, la creación de entornos virtuales y el prototipado 3D han dejado de ser herramientas exclusivas del entretenimiento para convertirse en pilares del aprendizaje simulado y la visualización de datos. Sin embargo, el dominio de motores de videojuegos comerciales como Roblox Studio suele presentar una barrera técnica considerable debido a la complejidad de los lenguajes de scripting tradicionales.

Diversas experiencias documentadas en el campo de la educación superior sugieren que cuando los docentes diseñan situaciones de aprendizaje vinculadas al contexto real y apoyadas por herramientas disruptivas, la motivación y la participación aumentan de manera significativa. En este sentido, la Inteligencia Artificial Generativa (IAG), específicamente a través de los Modelos de Lenguaje de Gran Escala (LLM), emerge como un catalizador para democratizar el desarrollo técnico, permitiendo que el lenguaje natural actúe como interfaz principal entre la intención del usuario y la ejecución lógica del sistema en entornos de aprendizaje.

La relevancia de esta investigación radica en la convergencia de tres ejes fundamentales: la innovación tecnológica, la formación en ingeniería y la reducción de la brecha de implementación de software. A nivel regional, este esfuerzo se alinea con la necesidad de fortalecer las trayectorias de investigación que están transformando la educación superior en México, buscando que los jóvenes investigadores no solo consuman tecnología, sino que la desarrollen y cuestionen sus alcances.

A partir de esta situación, la presente propuesta se orienta por la siguiente pregunta de investigación: ¿De qué manera la integración de un modelo de lenguaje basado en IA mediante una arquitectura distribuida puede fortalecer las competencias de prototipado procedural y pensamiento sistémico en estudiantes de ingeniería durante el ciclo escolar 2026?

Este artículo detalla una propuesta que se desarrolla desde un enfoque cualitativo de tipo descriptivo, orientada a comprender los procesos y significados que emergen de la práctica educativa documentada.

El trabajo se realizó en la Universidad Politécnica de Santa Rosa Jáuregui con la participación de un grupo piloto conformado por tres personas (N = 3): dos estudiantes de ingeniería y el investigador, quien asumió el rol de tercer participante como estudiante-usuario durante las pruebas de prototipado, con el fin de sentar las bases para modelos educativos más flexibles, activos y centrados en el estudiante.

2. Marco Metodológico

El presente trabajo adopta un diseño de investigación-acción, permitiendo al docente-investigador reflexionar sobre su propia práctica e introducir mejoras a partir de la evidencia generada en el proceso. Esta elección metodológica se justifica por la naturaleza participativa y la necesidad de iterar sobre una arquitectura de sistemas distribuidos en constante evolución. El estudio parte del supuesto de que la Inteligencia Artificial puede actuar como un andamio cognitivo para el desarrollo de software, en el sentido vygotskiano del término: una herramienta mediadora que amplía las capacidades del estudiante más allá de lo que podría alcanzar de forma autónoma (Vygotsky, 1978). Este supuesto orienta tanto el diseño de la arquitectura técnica como las decisiones pedagógicas de la intervención.

2.1 Enfoque y Diseño de la Arquitectura Distribuida

La propuesta se fundamenta en un enfoque cualitativo de tipo descriptivo. Para superar las limitaciones de seguridad nativas de Roblox Studio, que restringen el acceso directo a APIs externas con encabezados complejos (Roblox Corporation, 2025), se diseñó una arquitectura de tres capas fundamentada en un estilo de software basado en redes cliente-servidor (Fielding, 2000):

1. Capa de Cliente (Roblox/Lua): Nodo encargado de la interacción social y la representación gráfica 3D.
2. Capa de Mediación (Node.js/Express): Servidor intermedio que gestiona la seguridad y la normalización de datos.
3. Capa de Inferencia (OpenAI API): Motor de procesamiento de lenguaje natural.

2.2 Implementación del Servidor de Mediación (Node.js)

El servidor actúa como un gateway que protege las credenciales de la API de OpenAI y filtra las peticiones hacia el modelo gpt-4o-mini (OpenAI, 2024). Se utiliza el framework Express para levantar un servicio en el puerto 3000. Una pieza clave del diseño es la función de validación de seguridad:

```
function isValidPrompt(prompt) {
  if (!prompt) return false;
  if (prompt.length > 200) return false; // Límite para control de tokens y abuso
  return true;
}
```

La lógica del servidor procesa el *userPrompt* y lo integra en un esquema de *System Prompt* restrictivo. Esta técnica es fundamental para obligar a la IA a retornar exclusivamente código JSON (OpenAI, 2024), eliminando cualquier ruido semántico que el motor de Roblox no pueda interpretar.

2.3 Ingeniería de Scripting en el Entorno Virtual (Lua)

En el motor de Roblox, la recuperación de información se realiza mediante el servicio HttpService (Roblox Corporation, 2025). Se implementó una lógica de captura de eventos (*player.Chatted*) que dispara una petición asíncrona hacia el endpoint URI /gpt (Berners-Lee et al., 2005). Un elemento central del diseño metodológico es el manejo de errores mediante *pcall*, asegurando que el entorno de aprendizaje sea resiliente ante fallos de red o de la API. La ejecución de acciones sigue una estructura de análisis interpretativo de objetos. El sistema decodifica la respuesta y recorre una tabla de acciones para instanciar objetos de la clase Part en tiempo real. Esta estructura permite evaluar la propuesta desde su eficacia técnica, como primer paso para valorar su potencial en la creación de experiencias de aprendizaje.

2.4 Instrumentos de Recolección de Datos

Para la recopilación de información se emplean las siguientes técnicas:

- Registros de Observación Participante: Captura de los logs de consola tanto en Node.js como en Roblox para medir latencia y tasas de error.
- Análisis de Producciones Académicas: Evaluación de los entornos 3D generados por la IA en respuesta a las solicitudes de los estudiantes.
- Análisis Interpretativo de Experiencias: Entrevistas semiestructuradas para recoger percepciones cualitativas sobre la utilidad percibida de la propuesta.

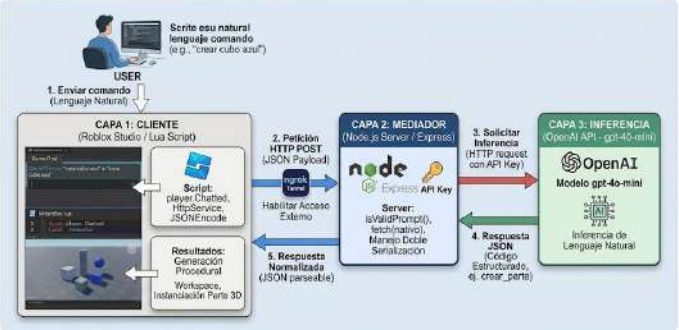


Figura 1. Diagrama de Arquitectura Distribuida.

Nota. Flujo de datos entre Roblox y OpenAI. Elaboración propia, 2026.

2.5 Consideraciones Éticas

Dado que la intervención involucra la interacción directa con estudiantes y la recolección de registros de

chat, entrevistas semiestructuradas y producciones académicas, se establecieron protocolos de protección de datos personales. Los participantes firmaron una carta de consentimiento informado en la que se detallaron los objetivos del estudio, los riesgos mínimos asociados a la interacción con la IA, el uso exclusivo académico de la información y la posibilidad de retirarse en cualquier momento sin repercusión académica. Los nombres propios e identificadores institucionales fueron sustituidos por códigos alfanuméricos en bitácoras, transcripciones y registros de consola, garantizando el anonimato en los análisis y publicaciones derivadas. La información recopilada se almacena en medios locales cifrados con acceso restringido al equipo investigador, en congruencia con los principios de confidencialidad, minimización de datos y resguardo de la identidad de los estudiantes.

3. Avances y Hallazgos

Al momento de redactar este avance, la experiencia de integración entre Inteligencia Artificial y Roblox Studio se encuentra en su segunda fase de implementación, centrada en la estabilización de la infraestructura y la validación de la lógica de respuesta. Los hallazgos preliminares sugieren que, aunque la barrera técnica de entrada disminuye con el uso de lenguaje natural, surgen nuevos retos relacionados con la latencia y la precisión semántica de los modelos de lenguaje.

3.1 Análisis de Resiliencia Técnica y Bitácora de Errores

Durante las pruebas de estrés del sistema, se documentaron diversas inconsistencias técnicas que han permitido refinar la arquitectura distribuida. La identificación de estos errores no se considera un retroceso, sino un hallazgo fundamental para la robustez del software educativo.

Incidencia / Error	Causa Identificada	Solución y Hallazgo
HTTP 500	Incompatibilidad de la librería **node-fetch** con el servidor.	Migración a fetch nativo de **Node.js v18+**, logrando estabilidad en el túnel.
InvalidUrl	Error en la ruta del endpoint en el script de Roblox.	Corrección de la sintaxis del URL incluyendo el sufijo /gpt para direccionamiento exacto (Berners-Lee et al., 2005).
HTTP Disabled	Restricciones de seguridad nativas de Roblox Studio.	Activación manual de **Allow HTTP** Requests en la configuración del juego.
Doble Serialización	OpenAI devuelve JSON como cadena dentro de otro objeto JSON.	Implementación de un doble proceso de **JSONDecode** en Lua para parsear la tabla de acciones.

Tabla 1. Registro de incidencias técnicas y soluciones de ingeniería.

3.2 Evaluación de Latencia y Desempeño del Sistema

Se realizaron mediciones de tiempo de respuesta bajo condiciones de red estándar, registrando una latencia promedio de 1.5 a 4 segundos desde el envío del comando en el chat hasta la instanciación física del objeto en el entorno 3D. Los hallazgos indican que factores como el tiempo de inferencia de la API gpt-4o-mini y la tunelización mediante ngrok son los principales cuellos de botella. No obstante, para fines

de prototipado rápido en ingeniería, este tiempo de respuesta se considera aceptable y funcional.

3.3 Hallazgos en la Interacción Estudiante-IA

Las pruebas piloto con usuarios revelaron una tendencia relevante: existe una desalineación inicial entre las expectativas de lenguaje natural y las capacidades programadas del sistema. Por ejemplo, ante la solicitud de "construir un mapa de Minecraft", la IA generó una serie de partes sin una estructura de cuadrícula coherente. Este hallazgo subraya la necesidad de implementar prompts más restrictivos y guías de usuario que orienten al estudiante sobre el alcance de las acciones soportadas (p. ej., *crear_parte*, *crear_cofre*).

En particular, se observó que la estrategia favoreció el diálogo entre pares cuando los estudiantes intentaban descifrar por qué un comando no ejecutaba la acción esperada. Este intercambio derivó en una construcción colectiva de significados sobre lógica de programación y manejo de APIs, lo cual representa un indicador cualitativo del potencial pedagógico de la propuesta, pendiente de sistematizar en fases posteriores.

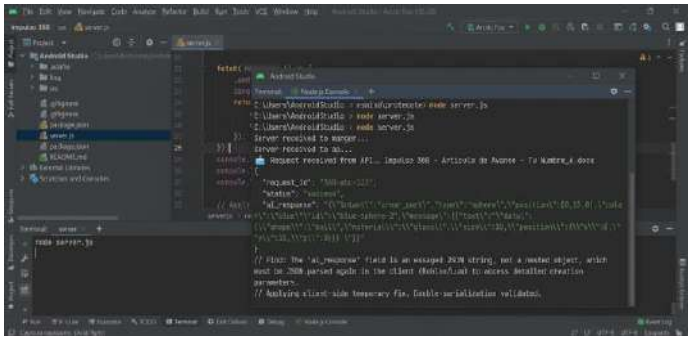


Figura 2. Captura de consola que valida el hallazgo técnico de doble serialización dentro del entorno de Android Studio.

Nota. Vista de Android Studio ejecutando el archivo node_server.js. Se muestra el servidor intermedio Node.js procesando la solicitud JSON antes de su transmisión al cliente Roblox; esta imagen corresponde a la capa de mediación, no al entorno de juego. Elaboración propia, 2026.

4. Reflexión Académica

Los resultados preliminares de esta investigación son prometedores en su dimensión técnica: la arquitectura distribuida desarrollada funciona, es estable bajo condiciones estándar, y resuelve de manera efectiva las restricciones nativas de Roblox Studio para la comunicación con APIs externas. De manera complementaria, se observaron indicios de desarrollo en competencias de colaboración y análisis, particularmente en los episodios de diálogo entre pares documentados en la sección 5.3, aunque su valoración sistemática corresponde a fases posteriores.

La integración de Inteligencia Artificial Generativa en motores de videojuegos como Roblox Studio muestra ser una vía técnicamente viable para entornos virtuales de aprendizaje en educación superior. Al reducir la carga cognitiva asociada a la sintaxis del scripting, el sistema permite que el estudiante concentre su atención en la lógica de solución y en la interconexión de sistemas. Esta decisión de diseño fue deliberada: colocar el lenguaje natural como interfaz principal, apostando por la comprensión del sistema sobre la memorización de comandos.

Sin embargo, esta propuesta también ha permitido identificar áreas de mejora necesarias para las fases subsecuentes. La volatilidad de la infraestructura de red y la desalineación semántica entre el lenguaje natural y las capacidades del motor fueron retos no anticipados que obligaron a replantear el alcance de la intervención. Cada error documentado en la Tabla 1 implicó una decisión concreta sobre cómo continuar, y esa experiencia de ajuste es parte central del aprendizaje investigativo. Para fases posteriores, estos hallazgos apuntan hacia la necesidad de diseñar guías de usuario más precisas y prompts más restrictivos antes de escalar la propuesta a grupos más amplios.

Finalmente, este trabajo documenta el desarrollo y la validación preliminar de una arquitectura técnica con potencial aplicación en entornos virtuales de aprendizaje. Los próximos pasos contemplan ampliar la muestra de participantes, sistematizar los resultados de las entrevistas semiestructuradas ya planeadas, y

refinar el system prompt para reducir la desalineación semántica identificada. El valor de este avance reside en su honestidad: un prototipo funcional, con hallazgos técnicos reales y preguntas pedagógicas abiertas que guiarán las siguientes fases.

Desde la práctica docente, esta arquitectura constituye una herramienta de mediación pedagógica que trasciende la mera automatización de contenidos. El docente asume el rol de diseñador de andamiaje cognitivo, configurando los *system prompts* y delimitando el universo semántico de acciones válidas para que los estudiantes exploren soluciones dentro de un espacio de libertad controlada. Asimismo, el seguimiento de las bitácoras de error y la moderación de las interacciones estudiante-IA permiten al profesor identificar malentendidos conceptuales en tiempo real y orientar el discurso hacia la comprensión de arquitecturas de software distribuido. De este modo, la IA no reemplaza la enseñanza, sino que la amplifica, liberando al docente de la revisión sintáctica para enfocarse en la evaluación del pensamiento sistémico y la colaboración entre pares.

5. Referencias

Berners-Lee, T., Fielding, R., y Masinter, L. (2005). Uniform Resource Identifier (URI): Generic Syntax. RFC Editor. https://doi.org/10.17487/RFC3986.

Fielding, R. T. (2000). Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures [Tesis doctoral, University of California, Irvine].

OpenAI. (2024). Chat Completions API Documentation: GPT-4o-mini capabilities and system prompts. https://platform.openai.com/docs/guides/chat

Roblox Corporation. (2025). HttpService Documentation: Integración de servicios web y seguridad en entornos 3D. Roblox Developer Hub. https://create.roblox.com/docs/cloud/apis/http-service.

Vygotsky, L. S. (1978). Mind in society: The development of higher psychological processes. Harvard University Press.

6. Anexos

Anexo 1. Implementación del Servidor Intermedio (Node.js)

Se presenta el código fuente del servidor encargado de la mediación entre el motor de videojuegos y la API de OpenAI. Este componente gestiona la seguridad de las credenciales y la normalización de las peticiones HTTP.

```
/**
 * Servidor de Mediación: Roblox - OpenAI API
 * Desarrollado para el proyecto de Generación Procedural
 * Requisito: Node.js v18+ para soporte de fetch nativo
 */

const express = require("express");
const bodyParser = require("body-parser");

const app = express();
app.use(bodyParser.json());

// 🔑 Clave de API protegida mediante variables de entorno
const OPENAI_API_KEY = process.env.OPENAI_API_KEY;

// 🛡️ Validación de seguridad para la cadena de entrada (Prompt)
function isValidPrompt(prompt) {
  if (!prompt) return false;
  if (prompt.length > 200) return false; // Prevención de abuso de tokens
  return true;
}

// 🚀 Endpoint para procesamiento de lenguaje natural
app.post("/gpt", async (req, res) => {
```

```
  try {
    const userPrompt = req.body.prompt;

    if (!isValidPrompt(userPrompt)) {
      return res.status(400).json({ error: "Parámetro de entrada inválido o demasiado largo." });
    }

    console.log("📥 Petición recibida del cliente Roblox:", userPrompt);

    // 🔗 Interconexión con el modelo gpt-4o-mini
    const response = await fetch("https://api.openai.com/v1/chat/completions", {
      method: "POST",
      headers: {
        "Authorization": `Bearer ${OPENAI_API_KEY}`,
        "Content-Type": "application/json"
      },
      body: JSON.stringify({
        model: "gpt-4o-mini",
        messages: [
          {
            role: "system",
            content: `Eres una IA especializada en diseño procedural para Roblox Studio. Responde ÚNICAMENTE en formato JSON válido. Esquema: {"actions":[{"action":"crear_parte","size":number,"color":string},{"action":"crear_cofre","coins":number}]}. No incluyas texto explicativo, solo el objeto JSON.`
          },
          { role: "user", content: userPrompt }
        ]
      })
    });

    const data = await response.json();
    const aiResponseText = data.choices[0].message.content;

    // Retorno del resultado con encapsulamiento para manejo de doble serialización
    res.json({ result: aiResponseText });

  } catch (error) {
    console.error("❌ Error Crítico en Servidor:", error);
    res.status(500).json({ error: "Falla interna en el procesamiento de la solicitud." });
  }
});

const PORT = 3000;
app.listen(PORT, () => {
  console.log(`🚀 Microservicio activo en puerto ${PORT}`);
});
```

Anexo 2. Script de Integración en el Entorno Virtual (Lua)

Este script, ubicado en el ServerScriptService de Roblox Studio, gestiona la captura del chat, la comunicación externa y la instanciación de objetos 3D basada en la respuesta de la IA.

```
--[[
    Script de Integración Procedural IA
    Ubicación: game.ServerScriptService.IAHandler
--]]

local HttpService = game:GetService("HttpService")
local URL = "https://TU-URL-DINAMICA.ngrok-free.dev/gpt" -- URL generada por el túnel ngrok

-- 📡 Función para la transmisión de datos HTTP
local function solicitarGeneracion(msg)
    local payload = HttpService:JSONEncode({ prompt = msg })

    local success, response = pcall(function()
        return HttpService:PostAsync(
            URL,
            payload,

    Enum.HttpContentType.ApplicationJson
        )
    end)

    if success then
        return HttpService:JSONDecode(response)
    else
        warn("Falla en la comunicación con el servidor intermedio: " .. tostring(response))
        return nil
    end
end

-- 🧠 Lógica de ejecución de acciones 3D (Parsing de Doble Serialización)
local function procesarAcciones(data)
    if not data or not data.result then return end

    local decodedActions
    local success, err = pcall(function()
        -- Resolución del hallazgo de doble serialización identificado en la sección 5
        decodedActions = HttpService:JSONDecode(data.result)
    end)

    if not success or not decodedActions.actions then
        warn("Error al decodificar la estructura de acciones de la IA: " .. tostring(err))
        return
    end

    for _, item in ipairs(decodedActions.actions) do
        if item.action == "crear_parte" then
            local part = Instance.new("Part")
```

```
                part.Size                =
Vector3.new(item.size    or    5,    1,
item.size             or             5)
                part.Position            =
Vector3.new(0,          10,          0)
                part.BrickColor          =
BrickColor.new(item.color  or  "Bright
blue")
                part.Anchored  =  true
                part.Parent              =
workspace

           elseif    item.action    ==
"crear_cofre"                       then
                -- Instanciación de
objeto   complejo   con   propiedades
personalizadas
                local      chest      =
Instance.new("Part")
                chest.Name               =
"CofreGenerado"
                chest.Size               =
Vector3.new(4,           3,           2)
                chest.Position           =
Vector3.new(math.random(-10,  10),  5,
math.random(-10,                    10))
                chest.BrickColor     =
BrickColor.new("Bright        yellow")
                chest.Material           =
Enum.Material.Wood
                chest.Anchored = true
                chest.Parent             =
workspace
           end
     end
end

-- 🔌 Conector de eventos del jugador
game.Players.PlayerAdded:Connect(func
tion(player)
     player.Chatted:Connect(function
(msg)
          print("Comando de lenguaje
natural    recibido:    "    ..    msg)
          local      apiResult      =
solicitarGeneracion(msg)

     procesarAcciones(apiResult)
     end)
end)
```

Anexo 3. Bitácora de Pruebas y Control de Latencia

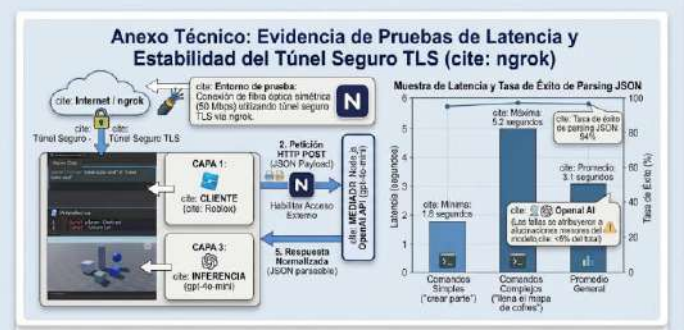
Para fines de transparencia académica, se anexa el registro de las pruebas de estrés realizadas durante la fase 2 de implementación.

Entorno de prueba: Conexión de fibra óptica simétrica (50 Mbps) utilizando túnel seguro TLS vía ngrok.

Muestra de latencia:

- Mínima: 1.8 segundos (Comandos simples: "crear parte").
- Máxima: 5.2 segundos (Comandos complejos: "llena el mapa de cofres").
- Promedio: 3.1 segundos.

Tasa de éxito de parsing JSON: 94% (Las fallas se atribuyeron a alucinaciones menores del modelo en el formato de salida, resueltas mediante el ajuste del System Prompt documentado en la sección 4).



Inteligencia artificial e inclusión en entornos STEAM: hacia la soberanía epistémica y la continuidad académica en la educación técnica latinoamericana

Elí Husim Ruiz Cruz | Conalep Roberto Ruiz Obregón, Querétaro

prof.rro.elihusim.ruiz@qro.conalep.edu.mx

Resumen

La educación media superior latinoamericana enfrenta el doble desafío de la fuga de cerebros y la dependencia epistémica respecto al Norte global. Este artículo documenta una intervención pedagógica con 52 estudiantes de sexto semestre del programa de Ciencia de Datos e Inteligencia Artificial del CONALEP Roberto Ruiz Obregón (Querétaro, México). A través de un ecosistema inclusivo basado en STEAM, u-learning y modelos predictivos con inteligencia artificial, los estudiantes participaron en tres ciclos auténticos de práctica científica contextualizada. Los resultados muestran metacognición espontánea en el 91.7 % de los informes y la emergencia de cuatro niveles heterogéneos de formalización matemática, transformando la diversidad cognitiva en recurso pedagógico para la agencia epistémica y la construcción colectiva de conocimiento.

Palabras clave: soberanía epistémica, ecosistemas inclusivos, STEAM, inteligencia artificial, educación técnica, Vasconcelos, Fals Borda, continuidad académica.

Abstract

Latin American upper secondary technical education faces the dual challenge of brain drain and dependence on external technological models. This article documents a pedagogical intervention with 52 sixth-semester students from the Data Science and Artificial Intelligence program at CONALEP Roberto Ruiz Obregón (Querétaro, Mexico). Through an inclusive ecosystem based on STEAM, u-learning, and predictive modeling with artificial intelligence, students engaged in three authentic cycles of contextualized scientific practice. Results show spontaneous metacognition in 91.7% of reports and the emergence of four heterogeneous levels of mathematical formalization, transforming cognitive diversity into a pedagogical resource for epistemic agency and collective knowledge construction.

Keywords: inclusive ecosystems, STEAM, artificial intelligence, technical education, predictive modeling, academic continuity.

1. Introducción

La educación media superior técnica en América Latina enfrenta un desafío estratégico que trasciende lo pedagógico: construir ecosistemas de aprendizaje inclusivos capaces de formar capital humano científico-tecnológico de alto nivel que permita a la región competir de igual a igual en la economía global del conocimiento. A pesar de los avances en cobertura, persiste una brecha epistémica profunda: mientras Estados Unidos consolida su hegemonía en inteligencia artificial, exploración espacial e industrias de alta tecnología, muchos talentos latinoamericanos emigran o se subutilizan, perpetuando una dinámica de colonialismo cognitivo y epistémico, derivando en la fuga de cerebros.

En este contexto, el presente artículo documenta una intervención pedagógica realizada con 52 estudiantes de sexto semestre del programa de Ciencia de Datos e Inteligencia Artificial del CONALEP Roberto Ruiz Obregón (Querétaro, México). La experiencia integró el enfoque STEAM, el u-learning y la construcción de modelos predictivos con IA, generando ciclos auténticos de observación, medición, modelado y predicción. Lejos de homogeneizar trayectorias, el diseño permitió la emergencia natural de cuatro niveles distintos de formalización matemática dentro del mismo grupo, lo que se interpretó no como deficiencia, sino como evidencia de un ecosistema inclusivo que respeta y potencia la diversidad cognitiva.

Este estudio sostiene que tales ecosistemas de aprendizaje no solo favorecen el desarrollo del pensamiento científico auténtico, sino que constituyen una estrategia concreta, aunque situada y acotada a este caso, para fortalecer la agencia epistémica en contextos de educación técnica latinoamericana, sin pretender representar a la región en su conjunto. Al formar estudiantes que construyen conocimiento científico desde contextos locales (capacidad pulmonar, hornos de tierra ancestrales, calidad del pan), se genera valor epistémico propio y se reduce la dependencia tecnológica externa. En línea con la visión de José Vasconcelos de una "raza cósmica" capaz de sintetizar lo mejor de todas las culturas, se propone aquí una educación libertaria que no se basa en la resistencia ideológica simplista, sino en la construcción de capacidades que permitan a los latinoamericanos participar —y liderar— en la industria, la exploración espacial y las nuevas tecnologías, sin que sus cerebros tengan que "escaparse" para realizarse.

A partir de este planteamiento, la pregunta de investigación que orienta este trabajo es: ¿Cómo puede un ecosistema de aprendizaje inclusivo, basado en STEAM, u-learning y modelos predictivos con inteligencia artificial, contribuir al desarrollo del pensamiento científico auténtico y a la agencia epistémica en un contexto de educación técnica latinoamericana?

2. Marco teórico

La educación técnica latinoamericana debe trascender la formación instrumental y convertirse en un ecosistema inclusivo que fortalezca la soberanía epistémica. Un ecosistema inclusivo es un entorno donde estudiantes con trayectorias diversas avanzan a ritmos distintos, transformando la heterogeneidad en recurso colectivo.

En Europa, políticas de accesibilidad han consolidado tutorías personalizadas (González Caballero et al., 2021), mientras que en América Latina la inclusión suele limitarse a género o lenguaje, persistiendo desigualdades históricas (CEPAL, 2010, citado en Alcántara-Armando, 2019). La propuesta endógena es construir ecosistemas inclusivos basados en STEAM e inteligencia artificial, capaces de transformar la diversidad cognitiva en recurso pedagógico y científico.

Desde una perspectiva cultural, José Vasconcelos (1925) planteó la "raza cósmica" como síntesis capaz de generar ciencia propia, mientras Orlando Fals Borda (1979) denunció el colonialismo intelectual y defendió la construcción colectiva de conocimiento mediante la Investigación Acción Participativa y el sentipensar. Ambas visiones ofrecen claves para interpretar la diversidad cognitiva como fortaleza y no como deficiencia.

El enfoque STEAM, enriquecido con u-learning y herramientas de inteligencia artificial, permite materializar estos horizontes emancipadores. Al promover ciclos auténticos de observación, medición, modelado y predicción a partir de fenómenos reales —como capacidad pulmonar, hornos de tierra ancestrales o calidad del pan— se genera un espacio donde coexisten distintos niveles de formalización matemática. Bajo la mediación pedagógica del docente —quien orienta y valida su uso pertinente—, la IA funciona como apoyo epistémico compartido, fomentando metacognición y construcción colectiva de conocimiento, sin sustituir en ningún momento el rol mediador humano. La integración de las artes refuerza la convergencia entre creatividad y práctica científica (Cornett, 2006; Zhbanova, 2014), fortaleciendo las capacidades culturales que sustentan la soberanía epistémica latinoamericana.

3. Metodología

Este estudio adopta un enfoque de investigación de intervención pedagógica con diseño de estudio de caso mixto (Stake, 1995; Yin, 2018). El propósito fue documentar cómo un ecosistema de aprendizaje inclusivo, basado en STEAM, u-learning y modelado predictivo con inteligencia artificial, puede fomentar la agencia epistémica y la continuidad académica en educación media superior técnica.

La intervención se realizó durante siete semanas (febrero-marzo 2026) con 52 estudiantes de sexto semestre del programa de Ciencia de Datos e Inteligencia Artificial del Plantel CONALEP Roberto Ruiz Obregón, Querétaro, México. Los grupos fueron seleccionados por conveniencia institucional, ya que ambos cursaban el módulo Aplicación de Modelos Predictivos en el mismo periodo escolar. La participación fue voluntaria, previa firma de consentimiento informado por escrito, y todos los datos se trataron de forma anónima cumpliendo estándares éticos de investigación educativa.

El ecosistema se diseñó bajo principios de apertura cognitiva (que permitiera la emergencia natural de diferentes niveles de formalización matemática), uso de fenómenos contextualizados y saberes locales, mediación docente y uso colaborativo de herramientas de IA (Python, Google Colab, TensorFlow/Keras), además de fomento explícito de la metacognición y la construcción colectiva de conocimiento. El uso de IA generativa siguió un protocolo de tres pasos, siempre bajo mediación docente: primero, hipótesis revisadas en clase antes de usar la IA; segundo, la IA asumía el rol de experto investigador para apoyar la operacionalización del modelo; tercero, docente y estudiantes filtraban conjuntamente cada resultado de la IA preguntando si era verdadero, constructivo y necesario, como vigilancia epistémica frente a su uso acrítico.

Se implementaron tres experimentos que combinaban ciclos completos de práctica científica:

Predicción de la capacidad pulmonar mediante regresión lineal múltiple.

Modelado térmico de sistemas pasivos inspirados en hornos de tierra ancestrales.

Predicción de la calidad del pan mediante red neuronal multicapa, en colaboración interdisciplinaria con el programa de Alimentos y Bebidas.

De los 52 estudiantes, se seleccionaron sistemáticamente 12 informes finales según criterios de calidad adaptados de AERA (2006): completitud del ciclo científico, evidencia empírica sólida, profundidad reflexiva y calidad técnica del código y modelo. El análisis cualitativo se realizó mediante codificación temática deductiva e inductiva, enfocada en metacognición, niveles de formalización matemática (descriptivo, aritmético, diferencial y multivariado) y agencia epistémica; estos niveles emergieron de manera inductiva del propio corpus y no fueron definidos a priori. Dado el doble rol del investigador como docente y observador, no se realizó una segunda codificación independiente; este sesgo se mitigó aplicando de forma consistente los criterios de calidad AERA (2006) a los 12 informes. Un test-retest posterior no fue viable porque el esquema de anonimización no conservó la clave de reidentificación de los informes, limitación que se reconoce explícitamente. El análisis cuantitativo incluyó métricas de desempeño de los modelos (R^2 y

RMSE). Esta triangulación de datos fortalece la validez del estudio en un contexto de recursos limitados característico de la educación técnica latinoamericana. Los tres experimentos fueron implementados mediante aplicaciones desarrolladas en Python y disponibles en repositorios abiertos, correspondientes a modelos de regresión, sistemas térmicos y redes neuronales (Ruiz Cruz, 2026a, 2026b, 2026c).

4. Resultados

La intervención pedagógica implementada con 52 estudiantes generó evidencia clara de que es posible construir ecosistemas de aprendizaje inclusivos en contextos de educación técnica con recursos limitados, a partir del uso de modelos predictivos implementados en entornos computacionales abiertos (Ruiz Cruz, 2026a, 2026b, 2026c). Los tres ciclos de práctica científica implementados generaron evidencia consistente sobre la capacidad de los estudiantes para transitar entre distintos niveles de formalización matemática.

El análisis de 12 informes estudiantiles seleccionados sistemáticamente reveló la emergencia natural de cuatro niveles distintos de formalización matemática, derivados del uso diferenciado de modelos predictivos de regresión y redes neuronales (Ruiz Cruz, 2026b, 2026c), estos niveles se definen como: descriptivo, aritmético, diferencial y multivariado avanzado. Esta heterogeneidad no fragmentó el aprendizaje, sino que lo enriqueció. Estudiantes con niveles más básicos aportaron intuición contextual y conexión con saberes locales, mientras que aquellos con mayor formalización ofrecieron precisión predictiva y análisis crítico.

En el 91,7 % de los informes analizados apareció metacognición espontánea no solicitada. Los estudiantes identificaron limitaciones en sus propios modelos, propusieron mejoras y reflexionaron sobre el carácter iterativo de la ciencia, particularmente en la interpretación de resultados generados por modelos predictivos (Ruiz Cruz, 2026b, 2026c). Esta metacognición refleja agencia epistémica: los estudiantes no solo aplicaron técnicas, sino que tomaron decisiones críticas sobre el conocimiento que estaban construyendo. Esta metacognición espontánea constituye la manifestación individual de la agencia epistémica que, sostenida y multiplicada a escala colectiva, es condición necesaria —aunque no suficiente— para la soberanía epistémica: la capacidad de una comunidad de producir, validar y aplicar conocimiento propio. Cada acto de metacognición documentado representa así un microfundamento empírico de un proceso más amplio de construcción de soberanía epistémica, sin que ello implique que esta se haya alcanzado de manera plena o generalizable a partir de esta única intervención.

La colaboración interdisciplinaria en el experimento de calidad del pan permitió integrar saberes técnicos con conocimientos prácticos locales, mediante el uso de modelos de redes neuronales multicapa (Ruiz Cruz, 2026c), generando un proceso más rico de lo que Fals Borda (1979) denominó “sentipensar”, a partir del testimonio de un pescador ribereño que resumió esta unión entre razón y afecto en la expresión “somos sentipensantes”. Los modelos predictivos dejaron de ser herramientas individuales para convertirse en objetos de discusión y refinamiento colectivo.

En conjunto, estos resultados muestran que el diseño instruccional logró crear un ecosistema inclusivo donde la diversidad cognitiva se transformó en fortaleza, contribuyendo a la formación de talentos que pueden generar conocimiento científico desde su propio contexto latinoamericano. Los conjuntos de datos, junto con los modelos predictivos y aplicaciones desarrolladas, están disponibles en repositorios abiertos con DOI, lo que garantiza la reproducibilidad completa del estudio (Ruiz Cruz, 2026a, 2026b, 2026c).

5. Reflexión académica

La participación en la Space Exploration Educators Conference (SEEC) 2026 permitió compartir esta experiencia situada dentro de un diálogo internacional sobre STEAM en campos científicos de frontera. Ese diálogo también deja visible una asimetría estructural: mientras otras regiones cuentan con mayor

disponibilidad de recursos e infraestructura para sostener estas iniciativas, América Latina enfrenta el reto de construirlas y sostenerlas en condiciones de desigualdad estructural, sin que ello implique adoptar acríticamente modelos externos. La experiencia documentada demuestra que es posible construir prácticas científicas auténticas desde contextos locales sin depender exclusivamente de modelos externos. Aun así, los éxitos individuales son insuficientes. Se requieren ecosistemas inclusivos sostenibles que transformen la diversidad cognitiva en fortaleza pedagógica y generen impacto regional a mediano y largo plazo mediante redes de formación docente y políticas públicas consistentes.

La persistencia de etiquetas como "Tercer Mundo" o "Global South" sigue reproduciendo sesgos que subvaloran el potencial científico latinoamericano. La soberanía epistémica no debe entenderse como resistencia ideológica, sino como capacidad de participar activamente en la producción global de conocimiento desde lo local, dialogando en igualdad de condiciones con otras tradiciones. Los ecosistemas inclusivos basados en STEAM e IA ayudan a superar estos estigmas al demostrar que la región puede generar conocimiento propio y relevante.

La visión sintética de José Vasconcelos y el sentipensar de Orlando Fals Borda ofrecen un marco potente para esta tarea. Ambas perspectivas validan que América Latina cuenta con raíces científicas legítimas —mayas, incas, aztecas, zapotecos— capaces de enriquecer el diálogo global sin renunciar a su identidad. La comparación con enfoques europeos de inclusión resulta ilustrativa: mientras aquellos han logrado mayor institucionalización, en América Latina la inclusión suele limitarse a aspectos parciales. El aprendizaje clave es que la diversidad cognitiva, lejos de ser un obstáculo, puede convertirse en eje de soberanía epistémica cuando se articula con innovación pedagógica y políticas públicas sostenibles.

Finalmente, cualquier estrategia de inclusión debe sustentarse en principios éticos fundamentales: consentimiento informado, anonimización de datos y honestidad académica. Solo mediante prácticas transparentes se construye legitimidad real en el conocimiento producido en la región.

6. Conclusiones

Los hallazgos de este caso sugieren que, al menos en este contexto, el fortalecimiento de capacidades internas resulta más productivo que la confrontación ideológica para avanzar hacia una mayor agencia científica local. La experiencia documentada demuestra que es posible construir ecosistemas inclusivos en contextos de recursos limitados, capaces de transformar la diversidad cognitiva en fortaleza pedagógica y científica.

Los hallazgos —metacognición espontánea en el 91.7 % de los informes, niveles heterogéneos de formalización matemática y colaboración interdisciplinaria— evidencian que los estudiantes pueden generar conocimiento científico auténtico desde sus propios contextos. Este proceso fortalece el pensamiento crítico y predictivo, y constituye una práctica concreta y situada de agencia epistémica, con potencial —aún por probarse a mayor escala— para favorecer la continuidad académica de los estudiantes.

La articulación entre STEAM, inteligencia artificial y las perspectivas de Vasconcelos y Fals Borda muestra que la región posee raíces culturales y científicas capaces de dialogar en igualdad con la hegemonía tecnológica global. La consolidación de políticas públicas inclusivas y éticas será indispensable para que estas prácticas pedagógicas se conviertan en estrategias sostenibles de largo plazo, convirtiendo la diversidad cognitiva latinoamericana en motor de innovación y desarrollo científico. La disponibilidad de los datos crudos (véanse Anexos 4–6; Ruiz Cruz, 2026g, 2026h, 2026i) garantiza la reproducibilidad de los hallazgos.

7. Referencias

Abbondanzieri, C. (2024). Acerca de los actores del Sur Global: trayectorias, continuidades y futuros. Foro Internacional, 64(2), 1–25. https://doi.org/10.24201/fi.v64i2.3047

Alcántara-Armando, A. (2019). Políticas y prácticas educativas en perspectiva comparada. México: Universidad Pedagógica Nacional.

Fals Borda, O. (1979). El problema de cómo investigar la realidad para transformarla. Tercer Mundo.

Fals Borda, O. (1960). Acción comunal en una vereda colombiana: Su aplicación, sus resultados y su interpretación. Serie Monografías Sociológicas. Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Sociología.

González Caballero, M., Mora de la Torre, V., & Ramos-Rodríguez, M. (2021). Aprendizaje adaptativo y educación para la diversidad: propuestas para un modelo de enseñanza personalizado en la educación superior. En O. F. von Feigenblatt, B. Peña-Acuña, & M. J. Cardoso-Pulido (Eds.), Aprendizaje personalizado y education maker. Nuevos paradigmas didácticos y otras aproximaciones (pp. 4–23). Barcelona: Ediciones Octaedro.

Levander, C., & Mignolo, W. (2011). Introduction: The global South and world dis/order. The Global South, 5(1), 1–11. https://doi.org/10.2979/globalsouth.5.1.1

Ruiz Cruz, E. H. (2026a). Aislamiento térmico STEAM con inteligencia artificial (Versión 1.0) [Software]. Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.19583366

Ruiz Cruz, E. H. (2026b). Predictor de capacidad pulmonar mediante regresión lineal múltiple (Versión 1.0) [Software]. Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.19582955

Ruiz Cruz, E. H. (2026c). Predictor de calidad de pan: Modelo para predecir la calidad del pan (Versión 1.0) [Software]. Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.19822009

Ruiz Cruz, E. H. (2026d). Instrumento de medición de capacidad pulmonar [Material suplementario].

Ruiz Cruz, E. H. (2026e). Registro de datos del experimento de hornos de tierra [Material suplementario].

Ruiz Cruz, E. H. (2026f). Parámetros de red neuronal para predicción de calidad del pan [Material suplementario].

Ruiz Cruz, E. H. (2026g). Datos del experimento de capacidad pulmonar [Archivo CSV].

Ruiz Cruz, E. H. (2026h). Datos del experimento de hornos de tierra [Archivo CSV].

Ruiz Cruz, E. H. (2026i). Datos del experimento de calidad del pan [Archivo CSV].

Sánchez Mendiola, M., González Flores, P., Jurado Núñez, A., Luna de la Luz, V., & Prado Saavedra, J. (2019). Qué es la innovación en educación superior. México: Universidad Nacional Autónoma de México.

Sauvy, A. (1952). Trois mondes, une planète. L'Observateur, 118, 14.

Stake, R. E. (1995). The art of case study research. Sage Publications.

Torres Carrillo, A. (2009). Vigencia y perspectivas de la investigación participativa. Conferencia presentada en UNIMINUTO, Bogotá, Colombia.

Vasconcelos, J. (1925). La raza cósmica: Misión de la raza iberoamericana. Agencia Mundial de Librería.

Yin, R. K. (2018). Case study research and applications: Design and methods (6ª ed.). Sage Publications.

Zhbanova, K. S. (2014). How the arts standards support STEM concepts: A journey from STEM to STEAM. Journal of STEM Arts, Crafts, and Constructions. Mississippi State University.

8. Anexos

Anexo 1. Instrumento de medición de capacidad pulmonar

Variable	Descripción	Unidad
Estatura	Altura del estudiante	cm
Edad	Edad cronológica	años
Sexo	Masculino/Femenino	categoría
Actividad física	Nivel de práctica semanal	categoría
Saturación de oxígeno	Medida con oxímetro	%

Anexo 2. Formato de registro de datos del experimento de hornos de tierra

Material	Temperatura exterior	Temperatura aislante	Temperatura interior	Intervalo de medición	
Tierra	…	…	…	cada min	5
Agua	…	…	…	cada min	5
Otros (arena, arroz etc)	…	…	…	cada min	5

Nota: Los datos se registraron en intervalos de 25 minutos, siguiendo la ecuación diferencial:

$$dT/dt = -k(T - Ta)$$

Anexo 3. Parámetros de red neuronal para predicción de calidad del pan

Variable	Descripción	Unidad
Proporción de ingredientes	Harina, agua, levadura, sal	%
Temperatura	Medida en distintas etapas	°C
Humedad	Registrada durante la cocción	%
Capas de la red	Número de capas ocultas	—
Neuronas por capa	Configuración del modelo	—
Función de activación	ReLU / Sigmoid	—
RMSE	Error cuadrático medio	—

Anexo 4. Datos crudos del experimento de capacidad pulmonar (CSV). El archivo contiene 52 registros con variables: edad, estatura, sexo, actividad física, saturación de oxígeno y circunferencia del globo.

Anexo 5. Datos crudos del experimento de hornos de tierra (CSV). El archivo contiene mediciones de temperatura exterior, aislante e interior en intervalos de 5 minutos durante 25 minutos, para cuatro materiales distintos.

Anexo 6. Datos crudos del experimento de calidad del pan (CSV). El archivo contiene proporciones de ingredientes, temperatura, humedad y resultados de calidad del producto, utilizados para entrenar la red neuronal.

Experiencia con modelos 3D y realidad aumentada auditiva en la enseñanza de nomenclatura orgánica

Esbeidy Zorina Sáenz Bretón Mora | Universidad Politécnica de Santa Rosa Jáuregui | p240092@upsrj.edu.mx.

Martin Joaquin Aguilar Muñoz | Universidad Marista de Querétaro | martin.aguilar@umq.maristas.edu.mx.

Flora Emperatriz Mercader Trejo | Universidad Politécnica de Santa Rosa Jáuregui fmercader@upsrj.edu.mx.

José Alfredo Gaytán Díaz | Universidad Politécnica de Santa Rosa Jáuregui | agaytan@upsrj.edu.mx.

Christian Jonathan Ángel Rueda | Universidad Politécnica de Santa Rosa Jáuregui | cangel@upsrj.edu.mx.

Resumen

Este artículo presenta una investigación-acción sobre la enseñanza de la nomenclatura de alcanos de uno a cuatro carbonos con once estudiantes con discapacidad visual de la Escuela de Bachilleres de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ). La propuesta parte de un diseño instruccional inclusivo fundamentado en el Diseño Universal para el Aprendizaje (DUA) e integra modelos moleculares impresos en 3D y realidad aumentada auditiva. Estos recursos buscan transformar contenidos abstractos de química orgánica en experiencias multisensoriales accesibles mediante la exploración táctil y auditiva. Se emplea un enfoque cualitativo descriptivo, apoyado en observación participante y registros audiovisuales para documentar la interacción, participación y estrategias de aprendizaje de los estudiantes. La investigación se encuentra en fase de implementación, por lo que aún no se presentan resultados empíricos finales. A partir de la experiencia se pretende valorar las posibilidades y limitaciones de estos recursos para favorecer la enseñanza de la química en contextos educativos inclusivos.

Palabras clave: discapacidad visual, nomenclatura orgánica, modelos 3D, realidad aumentada auditiva, DUA.

Abstract

This article presents an action research study focused on teaching the nomenclature of alkanes containing one to four carbon atoms to eleven students with visual impairments from the High School at the Autonomous University of Querétaro. The proposal implements an inclusive instructional design grounded in Universal Design for Learning (UDL), integrating 3D-printed molecular models and auditory augmented reality. These resources seek to transform abstract chemical concepts into accessible multisensory experiences through tactile and auditory exploration. The study follows a descriptive qualitative approach using participant observation and audiovisual records to document student interaction, participation, and learning strategies. The research is currently in the implementation phase; therefore, final empirical results are not yet presented. The experience is expected to provide evidence regarding the possibilities and limitations of combining tactile models and immersive audio for the teaching of organic chemistry in inclusive educational contexts.

Keywords: Visual impairment, organic nomenclature, 3D models, auditory augmented reality, Universal Design for Learning (UDL).

1. Introducción

La enseñanza de la química representa un desafío particular para los estudiantes con discapacidad visual, debido a que buena parte de sus contenidos se comunica mediante representaciones gráficas, estructuras moleculares y procedimientos que dependen principalmente de la vista (Schnepp y Watson, 2023). Cuando no existen canales alternativos para acceder a esta información, la propia forma en que se presentan los contenidos puede convertirse en una barrera para el aprendizaje (Hancock y Schnepp, 2026).

De acuerdo con la OMS: "cuando un trastorno ocular reduce la capacidad de ver con claridad, se habla de discapacidad visual".

En este sentido, la discapacidad visual comprende distintos grados de afectación. Según Lee et al. (2024), la OMS la clasifica como: "normal (20/10–20/25), casi normal (20/30–20/60), moderada (20/70–20/160), grave (20/200–20/400), profunda (20/500–20/1000), casi total (percepción mínima de luz) y total (sin percepción de luz)".

Una revisión de la literatura sobre accesibilidad en educación química identificó que gran parte de las investigaciones se ha concentrado en el desarrollo de tecnologías adaptativas y materiales instruccionales accesibles, siendo los estudiantes con discapacidad visual uno de los grupos más representados (Chrin y Nardo, 2025). Sin embargo, la disponibilidad de recursos no resuelve por sí misma las dificultades de inclusión. La falta de estrategias pedagógicas pertinentes y de formación docente puede limitar la autonomía, participación y acceso al conocimiento científico (Alsamiri, 2025).

Estas condiciones pueden generar desigualdades que repercuten en las oportunidades académicas y profesionales de las personas con discapacidad visual (Dreamerson y Saitta, 2025). Frente a ello, el DUA plantea la incorporación de diferentes medios de representación, participación y expresión, reconociendo la diversidad del alumnado desde el propio diseño educativo (Girmay et al., 2026).

En este contexto, los modelos tridimensionales y las descripciones auditivas estructuradas representan alternativas para trasladar información tradicionalmente visual hacia otros canales sensoriales. Su integración puede favorecer una participación más activa de estudiantes con discapacidad visual en contextos científicos (Wei et al., 2022; Žilak et al., 2022).

A partir de esta problemática, la investigación se orienta mediante la pregunta: ¿de qué manera el uso de modelos 3D táctiles y realidad aumentada auditiva puede fortalecer la competencia de nomenclatura de alcanos de uno a cuatro carbonos en once estudiantes con discapacidad visual de bachillerato?

El estudio se desarrolla en la Escuela de Bachilleres de la UAQ mediante una experiencia que articula exploración táctil y audio inmersivo. Se emplea un enfoque cualitativo descriptivo y los datos derivados de la clase muestra serán analizados mediante categorización temática. Al momento de este avance no se cuenta con resultados empíricos finales; estos se obtendrán después de la implementación y análisis de la intervención.

2. Marco Metodológico

2.1 ENFOQUE Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El trabajo adoptó un diseño de investigación-acción, debido a que permite reflexionar sobre la práctica educativa durante la implementación de una clase muestra e identificar mejoras a partir de la evidencia generada (Casey et al., 2025). Su carácter participativo y contextualizado resulta pertinente para estudiar un problema educativo concreto dentro del escenario en el que ocurre.

La propuesta se sustentó en el aprendizaje multisensorial y la educación inclusiva, considerando que la combinación de estímulos táctiles y auditivos puede proporcionar otras vías de acceso a conceptos abstractos de química orgánica (Osborne et al., 2026; Yektyastuti et al., 2026).

2.2 MEMORIA Y CONTEXTO

La intervención contempló una introducción a los recursos tecnológicos, el desarrollo de las actividades mediante realidad aumentada auditiva y modelos 3D, así como la observación de la experiencia. Estas etapas mantienen una relación con la lógica de planificación, acción, observación y reflexión propia de la investigación-acción (Russ et al., 2024).

La mediación tecnológica responde a la necesidad de generar un entorno que favorezca la autonomía y participación del alumnado. En este sentido, el diseño centrado en el estudiante y el uso pertinente de tecnologías digitales constituyen elementos relevantes en los procesos de educación inclusiva en ciencias (Mikropoulos y Iatraki, 2023).

La propuesta incorporó los Entornos Digitales Inmersivos Tridimensionales (EDIT), entendidos como un macroconcepto que integra tecnologías como la realidad virtual y aumentada, priorizando sus posibilidades didácticas y niveles de inmersión (Rueda, 2021). Dentro de este marco, la realidad aumentada auditiva complementó la interacción con el mundo físico mediante el sonido, permitiendo generar experiencias inmersivas sin depender de elementos visuales superpuestos.

2.3 MÉTODOS

1. Diseño centrado en el estudiante. La intervención se estructuró mediante una secuencia didáctica, entendida como "un conjunto de actividades de aprendizaje organizadas en un orden específico, que toma en cuenta el progreso del estudiante" (Pardo et al., 2014). Después, se desarrollaron actividades considerando las necesidades de accesibilidad de los participantes, promoviendo la exploración multisensorial. La tecnología se integró como una extensión de la mediación pedagógica y no como sustituto de la interacción educativa (Fernández-Cerero et al., 2023; Mikropoulos y Iatraki, 2023).

2. Estudio de caso único. La clase muestra constituyó el caso de estudio y se analizó la pertinencia de la propuesta dentro de un contexto específico de educación media superior (Russ et al., 2024).

2.4 TÉCNICAS

1. Recurso principal de la propuesta. Se utilizó un sistema de realidad aumentada auditiva para presentar de manera estructurada contenidos relacionados con la nomenclatura de alcanos. Este recurso permite incorporar objetos acústicos virtuales al entorno real y comunicar información sin depender del canal visual (Wei et al., 2022).

2. Actividades de aprendizaje. Se desarrollaron experiencias de exploración auditiva y táctil mediante modelos moleculares impresos en 3D. Estos permiten trasladar estructuras abstractas a representaciones físicamente explorables por los estudiantes (Osborne et al., 2026; Dogutan et al., 2025).

2.5 INSTRUMENTOS

1. Instrumento principal. La secuencia didáctica constituye el eje de la intervención, pues organiza las actividades y la relación entre los contenidos de nomenclatura, los modelos táctiles y el audio inmersivo.

2. Registro audiovisual. Las fotografías y videos constituyen el soporte para recuperar información sobre las formas de participación, interacción y exploración desarrolladas durante la experiencia.

3. Análisis cualitativo. Se estableció un análisis temático interpretativo para organizar los registros audiovisuales e identificar patrones vinculados con las estrategias de aprendizaje y la construcción del conocimiento (Herzog et al., 2025; Polat, 2025).

En conjunto, el proceso metodológico se ha desarrollado mediante tres etapas articuladas: diseño y preparación de los recursos accesibles, implementación de la experiencia y organización de la evidencia para su análisis cualitativo.

3. Avances y Hallazgos

Los avances alcanzados corresponden a las distintas etapas del proceso metodológico desarrollado. En una primera etapa se diseñó la secuencia didáctica y se definió la manera en que los contenidos de nomenclatura de alcanos serían relacionados con la exploración táctil. Paralelamente, se desarrollaron los modelos moleculares impresos en 3D y se trabajó en la configuración de los contenidos sonoros asociados con la realidad aumentada auditiva.

Este proceso permitió establecer una relación funcional entre los dos recursos principales de la intervención: mientras los modelos proporcionan una representación tangible de las estructuras moleculares, el componente auditivo aporta información que acompaña y orienta su exploración. La articulación de ambos recursos constituye uno de los principales avances obtenidos durante el desarrollo metodológico.

Asimismo, se establecieron las categorías que orientan la organización y análisis de la evidencia. Como se presenta en la Tabla 1, estas categorías permiten sistematizar los aspectos centrales identificados para valorar la experiencia: la integración multisensorial y la participación y autonomía. La tabla se incorpora con el propósito de mostrar de manera sintética la relación entre cada categoría y los elementos considerados durante el análisis de los registros.

Tabla 1. Organización de avances
Categoría 1: Integración multisensorial
Se observará la coordinación entre estímulos auditivos y táctiles durante la actividad.
Se analizará la construcción de relaciones entre estructura y nomenclatura.
Categoría 2: Participación y autonomía
Se documentará el nivel de involucramiento de los estudiantes durante la experiencia.
Se analizarán las estrategias empleadas para resolver las actividades propuestas.

Nota: tabla de elaboración propia.

3.1 INTEGRACIÓN MULTIDISCIPLINARIA Y COLABORACIÓN

El desarrollo de la experiencia ha requerido articular conocimientos de química orgánica, educación inclusiva y tecnología educativa. Esta integración permitió que los modelos 3D no fueran utilizados únicamente como objetos táctiles aislados, sino como recursos vinculados con contenidos auditivos y con una secuencia de aprendizaje definida.

La articulación multidisciplinaria ha permitido conectar el rigor disciplinar de la nomenclatura orgánica con criterios de accesibilidad y equidad educativa, aspecto señalado como relevante para el desarrollo de entornos inclusivos en ciencias (Cobian et al., 2024).

3.2 COMPLEJIDAD Y ADAPTACIÓN AL APRENDIZAJE

Durante el diseño se identificó que la combinación de canales táctiles y auditivos requiere una coordinación precisa entre los recursos. No basta con disponer de un modelo tangible y una descripción sonora: ambos elementos deben presentar información congruente y estar relacionados con el propósito de cada actividad.

Esta necesidad condujo a realizar ajustes en la organización de la experiencia y en la forma de presentar los contenidos, manteniendo un diseño flexible acorde con los principios del DUA (Bray et al., 2024).

3.3 IMPACTO EMOCIONAL Y APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO

La incorporación de recursos accesibles permitió orientar la experiencia hacia una participación más activa, en la que la exploración ocupa un lugar

central. Este planteamiento se relaciona con el aprendizaje experiencial, donde el estudiante interactúa directamente con los recursos y participa en la construcción de significados (Kong, 2021).

En esta etapa, sin embargo, no se establecen conclusiones definitivas sobre motivación o aprendizaje significativo. Estos aspectos requieren ser sustentados mediante el análisis sistemático de los registros obtenidos y no únicamente a partir de las expectativas iniciales de la investigación.

3.4 DESAFÍOS Y CONSIDERACIONES DE IMPLEMENTACIÓN

Durante el desarrollo metodológico se identificaron retos relacionados con la preparación de los recursos, la adecuación del entorno y, especialmente, la articulación entre los contenidos auditivos y los modelos moleculares. Estos aspectos hicieron necesario revisar la secuencia y la función asignada a cada recurso.

Los desafíos encontrados coinciden con la necesidad de considerar dimensiones técnicas y pedagógicas al incorporar tecnologías en contextos inclusivos (Moro et al., 2023). Su identificación constituye también un avance, pues permite reconocer aspectos que requieren optimización antes de replicar la experiencia.

3.5 APRENDIZAJE EXPERIENCIAL Y PROPUESTA DIDÁCTICA

La experiencia desarrollada se ha estructurado alrededor de la interacción directa con los contenidos mediante tacto y sonido. Los modelos permiten explorar físicamente las estructuras mientras que el componente auditivo aporta información complementaria, estableciendo una relación entre la representación molecular y su nomenclatura.

De esta forma, los principios de accesibilidad y aprendizaje multisensorial se trasladaron del planteamiento teórico a una intervención educativa concreta. El avance principal radica, por tanto, en haber desarrollado y articulado una experiencia en la que diferentes recursos accesibles responden a un mismo propósito de aprendizaje.

4. Reflexión Académica

El proceso desarrollado hasta el momento muestra que diseñar una experiencia accesible implica más que incorporar tecnología a una clase previamente establecida. Ha requerido revisar la manera en que se presenta el contenido, identificar qué información depende tradicionalmente de la visión y buscar formas de trasladarla a otros canales sensoriales.

La elaboración de los modelos 3D, la configuración del audio y su integración dentro de una misma secuencia han mostrado la importancia de mantener una relación clara entre innovación

tecnológica y propósito pedagógico. La tecnología no garantiza por sí misma una experiencia inclusiva; su utilidad depende de cómo se articula con los objetivos de aprendizaje y con la mediación docente (Fernández-Cerero et al., 2023).

Los avances también han permitido identificar aspectos susceptibles de mejora, especialmente en la coordinación de los estímulos auditivos y táctiles y en la organización de las actividades. Estos elementos proporcionan una base para continuar con el análisis de la experiencia sin anticipar conclusiones que todavía requieren evidencia.

Asimismo, el registro audiovisual exige mantener criterios éticos relacionados con el consentimiento informado y la protección de la identidad de los participantes (Cobb et al., 2022; Voytecki, 2024).

En conjunto, el trabajo desarrollado permite avanzar hacia una forma de enseñanza de la nomenclatura orgánica que reduzca la dependencia de representaciones exclusivamente visuales. Su aportación hasta este momento no consiste en afirmar que la tecnología haya solucionado las barreras existentes, sino en haber construido una experiencia metodológicamente articulada que permite estudiar cómo el tacto y el sonido pueden incorporarse a la enseñanza de contenidos químicos.

5. Referencias

Alsamiri, Y. A. (2025). Challenges faced by visually impaired individuals from the perspective of faculty members: a phenomenological study. Frontiers In Psychology, 16, 1651597. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2025.1651597

Bray, A., Devitt, A., Banks, J., Fuentes, S. S., Sandoval, M., Riviou, K., Byrne, D., Flood, M., Reale, J., y Terrenzio, S. (2024). What next for Universal Design for Learning? A systematic literature review of technology in UDL implementations at second level. British Journal Of Educational Technology, 55(1), 113-138. https://doi.org/10.1111/bjet.13328

Casey, M., Coghlan, D., Carroll, Á., y Stokes, D. (2025). A tool for theory development in action research: a challenge and a resource for nursing research. International Journal Of Nursing Studies Advances, 8, 100357. https://doi.org/10.1016/j.ijnsa.2025.100357

Chrin, S. R., y Nardo, J. E. (2025). The Representation of Disability and Accessibility in Chemistry and STEM Education Research: An Integrative Literature Review. Journal Of Chemical Education, 102(7), 2786-2795. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c01581

Cobb, N. L., Edwards, D. F., Chin, E. M., Lah, J. J., Goldstein, F. C., Manzanares, C. M., y Suver,

C. M. (2022). From paper to screen: regulatory and operational considerations for modernizing the informed consent process. Journal of Clinical and Translational Science, 6(1), e71. doi:10.1017/cts.2022.379

Cobian, K. P., Hurtado, S., Romero, A. L., y Gutzwa, J. A. (2024). Enacting inclusive science: Culturally responsive higher education practices in science, technology, engineering, mathematics, and medicine (STEMM). PLoS ONE, 19(1), e0293953. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0293953

Dogutan, D. K., Sullivan, M. G., y Wolfskill, C. (2025). From crystal structure to 3D printing to virtual reality in the classroom. Acta Crystallographica Section E Crystallographic Communications, 81(10), 889-894. https://doi.org/10.1107/s2056989025007868

Dreamerson, J. T., y Saitta, E. K. H. (2025). The Current State of Literature on the Education of Blind and Visually Impaired (BVI) Students in Chemistry and STEMM in Higher Education. Journal Of Chemical Education, 102(8), 3142-3149. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5c00269

Fernández-Cerero, J., Montenegro-Rueda, M., y Fernández-Batanero, J. M. (2023). Impact of University Teachers' Technological Training on Educational Inclusion and Quality of Life of Students with Disabilities: A Systematic Review. International Journal of Environmental Research and Public Health, 20(3), 2576. https://doi.org/10.3390/ijerph20032576

Girmay, S., Yliniemi, K., Nieminen, M., Vilhunen, A., y Karttunen, A. J. (2026). Universal Design for Learning Framework Enhances Learning Experience in Web-Based Virtual Laboratories. Journal Of Chemical Education, 103(3), 1182-1194. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5c01687

Hancock, L. M., y Schnepp, Z. (2026). Expanding the Scope of Course-Based Undergraduate Research Experiences: Student Perceptions of Projects Exploring the Creation of Activities for Students with Visual Impairment. Journal Of Chemical Education, 103(3), 1330-1337. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5c00943

Herzog, C., Handke, C., y Hitters, E. (2025). Digging in or building bridges? A scoping review of thematic analysis. Frontiers In Research Metrics And Analytics, 10, 1617380. https://doi.org/10.3389/frma.2025.1617380

Kong, Y. (2021). The Role of Experiential Learning on Students' Motivation and Classroom Engagement. Frontiers In Psychology, 12, 771272. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.771272

Lee, S. Y., Gurnani, B., y Mesfin, F. B. (2024). Blindness. StatPearls - NCBI Bookshelf. https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK44 8182/

Mikropoulos, T. A., y Iatraki, G. (2023). Digital technology supports science education for students with disabilities: A systematic review. Education And Information Technologies, 28(4), 3911-3935. https://doi.org/10.1007/s10639-022-11317-9

Moro, C., Mills, K. A., Phelps, C., & Birt, J. (2023). The Triple-S framework: ensuring scalable, sustainable, and serviceable practices in educational technology. International Journal Of Educational Technology In Higher Education, 20(1), 7. https://doi.org/10.1186/s41239-022-00378-y

Osborne, O., Clennell, S., y Bremner-Hart, S. K. (2026). 3D-Printed Protein Models as an Educational Tool in Biochemistry Outreach. Biochemistry And Molecular Biology Education, 54(1), 59-66. https://doi.org/10.1002/bmb.70030

Polat, A. (2025). Thematic Analysis in Qualitative Research: Common Pitfalls and Practical Insights for Academic Writing. International Journal Of Qualitative Methods, 24. https://doi.org/10.1177/16094069251372835

Ramírez Apaéz, M. R., Pérez Mendía, E. D. P., y Tapia Mendoza, F. E. T. (2014). Secuencias didácticas para el desarrollo de competencias: educación media superior y superior.

Rueda, C. J. Á. (2021). Los entornos digitales inmersivos tridimensionales (EDIT). En J. C. Valdés Godínes, P. D. Rudman, & C. J. Ángel Rueda (Coords.), Aprendizaje significativo a través de entornos digitales inmersivos tridimensionales (EDIT) (pp. 12-43). Fondo Editorial Universitario, Universidad Autónoma de Querétaro.

Russ, E., Petrakis, M., Whitaker, L., Fitzroy, R., y Short, M. (2024). Co-operative inquiry: Qualitative methodology transforming research 'about' to research 'with' people. Qualitative Research, 25(1), 43-64. https://doi.org/10.1177/14687941241234272

Schnepp, Z., y Watson, R. (2023b). Making chemistry accessible for learners with vision impairment. Communications Chemistry, 6(1), 232. https://doi.org/10.1038/s42004-023-01033-x

Voytecki, K. S. (2024). Obtaining informed consent of vulnerable populations for social and educational sciences research. ERIC Document Reproduction Service. https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED671861.pdf

Wei, L., Jin, L., Gong, R., Yang, Y., y Zhang, X. (2022). Design of Audio-Augmented-Reality-Based O&M Orientation Training for Visually Impaired Children. Sensors, 22(23), 9487. https://doi.org/10.3390/s22239487

Yektyastuti, R., Sarwanto, & Rasmitadila (2026). Learning Science Beyond Sight: Conceptual Engagement of Elementary School Students with Visual Impairment through Hands-On Activities. F1000Research, 14, 1271. https://doi.org/10.12688/f1000research.17153

Zapata-Ros, M. (2025). El diseño instruccional de la educación universitaria apoyada en la tecnología y la Inteligencia Artificial (Spanish Edition)

World Health Organization: WHO. (2026). Discapacidad visual y ceguera. https://www.who.int/es/newsroom/factsheets/detail/blindness-and-visual-impairment

Žilak, M., Car, Ž., y Čuljak, I. (2022). A Systematic Literature Review of Handheld Augmented Reality Solutions for People with Disabilities. Sensors, 22(20), 7719. https://doi.org/10.3390/s22207719

6. Anexos

Tabla 2. Secuencia didáctica
Nivel educativo
Educación media superior
Unidad de aprendizaje (asignatura)
Química
Bloque
Nomenclatura de compuestos orgánicos (alcanos)
Nombre de la secuencia didáctica
prendizaje de la nomenclatura de alcanos (C1–C4) mediante realidad aumentada auditiva e impresión 3D en estudiantes con discapacidad visual.
Competencias genéricas que desarrolla
Aprende de manera autónoma a partir de la exploración multisensorial. Utiliza distintos canales de percepción para la construcción del conocimiento. Participa activamente en experiencias de aprendizaje mediadas por tecnología.
Competencias disciplinares que desarrolla
Comprende la estructura básica de los alcanos. Relaciona el número de carbonos con la nomenclatura correspondiente. Aplica principios básicos de nomenclatura orgánica.
Asignaturas con las que se puede relacionar

Química general

Preparación de la Actividad

Lugar de realización: Aula de clase

Duración: 3 horas

Organización de los estudiantes: trabajo individual y grupal

Materiales requeridos: audífonos, modelos 3D de las moléculas y los enlaces y lentes de realidad aumentada.

Descripción de la secuencia didáctica

Antes de la actividad:

La sesión inicia con la adecuación del espacio físico, asegurando que los estudiantes puedan ubicarse de manera autónoma y segura dentro del aula. Se verifica el funcionamiento de los dispositivos móviles y los audífonos, así como la correcta distribución de los modelos tridimensionales. Posteriormente, la docente asume un rol de guía y realiza un encuadre inicial en el que presenta el propósito de la actividad y explica la dinámica de trabajo. Se comunica a los estudiantes que el aprendizaje del contenido se llevará a cabo principalmente a través de un sistema de realidad aumentada auditiva, por lo que la docente no realizará exposiciones tradicionales, sino que acompañará el proceso brindando apoyo técnico y orientación cuando sea necesario. A continuación, se aplica un instrumento diagnóstico, de forma oral o mediante un recurso digital accesible, con el objetivo de identificar los conocimientos previos de los estudiantes en relación con el concepto de molécula, el reconocimiento de nombres básicos de compuestos orgánicos y las formas en que imaginan o representan estructuras químicas. Como actividad de activación cognitiva, se plantea una pregunta generadora orientada a promover la reflexión: ¿Cómo se puede construir la idea de una molécula sin utilizar la vista? Esta pregunta busca predisponer al estudiante hacia una forma alternativa de aprendizaje basada en la percepción auditiva y táctil. Finalmente, se proporcionan instrucciones técnicas sobre el uso de los dispositivos y la forma de interacción con los materiales, asegurando que todos los estudiantes comprendan el funcionamiento de los recursos antes de iniciar la actividad central.

Proceso de la secuencia didáctica:

Durante el desarrollo de la secuencia, el contenido disciplinar es mediado completamente por el sistema de realidad aumentada auditiva, el cual guía de manera estructurada el aprendizaje del estudiante. La docente mantiene en todo momento un rol de acompañamiento, observando el proceso, resolviendo dudas técnicas y facilitando la interacción con los materiales, sin intervenir directamente en la explicación conceptual. En un primer momento, los estudiantes acceden al audio inmersivo, el cual presenta de manera progresiva la estructura de los alcanos de uno a cuatro carbonos. A través de descripciones organizadas espacial y secuencialmente, el recurso auditivo introduce conceptos fundamentales, como la presencia del carbono, la forma en que se enlazan los átomos y la relación entre el número de carbonos y la nomenclatura correspondiente. Esta fase favorece la construcción de representaciones mentales a partir del sonido. Posteriormente, los estudiantes interactúan con modelos moleculares impresos en 3D, correspondientes a metano, etano, propano y butano. Mediante la exploración táctil, identifican el número de carbonos, reconocen diferencias estructurales y comienzan a establecer relaciones con la información previamente escuchada. La manipulación de los modelos permite transformar la información abstracta en una experiencia concreta, accesible a través del tacto. En un tercer momento, se promueve la integración multisensorial mediante el uso simultáneo del audio inmersivo y los modelos tridimensionales. En esta fase, el sistema auditivo orienta al estudiante para asociar cada estructura con su nombre, identificar patrones en la nomenclatura —como las raíces met-, et-, prop- y but-— y comprender la progresión estructural de los alcanos. La construcción del conocimiento se realiza de manera autónoma, a partir de la interacción coordinada entre los canales auditivo y táctil.

Cierre de la secuencia didáctica:

En la fase final, la docente retoma la conducción del grupo con el propósito de recuperar y consolidar los aprendizajes construidos durante la sesión. Se desarrolla una actividad en la que los estudiantes identifican verbalmente los modelos manipulados, nombran los compuestos correspondientes y explican, desde su propia experiencia, cómo lograron comprender la estructura molecular y su relación con la nomenclatura. Posteriormente, se aplica un instrumento de evaluación final, equivalente al diagnóstico inicial, con el fin de identificar posibles cambios en la comprensión conceptual de los estudiantes. Finalmente, se lleva a cabo una reflexión guiada en la que se invita a los estudiantes a analizar su proceso de aprendizaje, mediante preguntas como: ¿Qué recurso facilitó más tu comprensión, el audio o el modelo táctil? y ¿Cómo describirías ahora una molécula? La sesión concluye enfatizando que el aprendizaje no depende exclusivamente de la visión, sino de la forma en que se diseñan las experiencias educativas, destacando el valor de los enfoques multisensoriales para favorecer la inclusión y el acceso al conocimiento científico.

Recomendaciones para la evaluación

Comprensión de estructura molecular: 30%

Relación nombre–estructura: 30%

Participación en la experiencia: 20%

Explicación del aprendizaje: 20%

Lista de cotejo

Indicadores	Sí	No
Identifica el número de carbonos en los modelos		
Relaciona correctamente nombre y estructura		
Identifica elementos básicos de la estructura presentada		
Describe verbalmente las moléculas		
Participa activamente en la experiencia		

Nota: Secuencia didáctica modificada de Ramírez Apaéz, 2014; Zapata-Ros, 2025.

Aceites esenciales en el desarrollo de protectores solares: aplicaciones, retos y perspectivas futuras

Anaya-Moreno GC | División de Química y Energías Renovables, Universidad Tecnológica de San Juan del Río | nbolguinl@utsjr.edu.mx

Santos-Cruz GA | División de Química y Energías Renovables, Universidad Tecnológica de San Juan del Río

Trejo-Chacón M | División de Química y Energías Renovables, Universidad Tecnológica de San Juan del Río

Vélez-Cervantes KD | División de Química y Energías Renovables, Universidad Tecnológica de San Juan del Río

González-Lugo RA | División de Química y Energías Renovables, Universidad Tecnológica de San Juan del Río

Olguín-López NB | División de Química y Energías Renovables, Universidad Tecnológica de San Juan del Río

Resumen

A lo largo de la historia, los seres humanos han recurrido continuamente a extractos de plantas y flores como elementos esenciales en el desarrollo y uso de productos cosméticos destinados al cuidado de la piel. El interés por alternativas naturales a los fotoprotectores sintéticos ha impulsado la investigación sobre el potencial de los aceites esenciales en la protección solar. Los aceites esenciales poseen actividades antifúngicas, antimicrobianas, antivirales, anticancerígenas y antioxidantes, y pueden tratar la inflamación de la piel, ayudar a evitar cicatrices, disminuir imperfecciones, suavizar arrugas y hacer desaparecer las manchas de la edad. Recientemente, diversos estudios han revelado que ciertos aceites esenciales también pueden mejorar el factor de protección solar (FPS) en formulaciones cosméticas y farmacéuticas. Este artículo revisa la evidencia más reciente sobre el empleo de aceites esenciales en bloqueadores solares, sus funciones en las formulaciones y su aplicabilidad clínica, haciendo énfasis en extractos como los de Melaleuca, Lavandula y Lippia; adicionalmente, discute sus ventajas y limitaciones frente a los filtros tradicionales.

Palabras clave: Aceites esenciales, bloqueadores solares, protección UV, antioxidantes, fotoprotección, FPS

Abstract

Throughout history, humans have continuously turned to plant and flower extracts as essential elements in the development and use of cosmetic products intended for skin care. Interest in natural alternatives to synthetic photoprotectors has driven research into the potential of essential oils in solar protection. Essential oils possess antifungal, antimicrobial, antiviral, anticancer, and antioxidant activities, and they can treat skin inflammation, help prevent scarring, reduce imperfections, smooth wrinkles, and make age spots disappear. Recently, several studies have revealed that certain essential oils can also enhance the sun protection factor (SPF) in cosmetic and pharmaceutical formulations. This article reviews the most recent evidence on the use of essential oils in sunscreens, their roles within formulations, and their clinical applicability, emphasizing extracts such as those from Melaleuca, Lavandula and Lippia. It also discusses their advantages and limitations compared to traditional filters.

Keywords: Essential oils, sunscreens, UV protection, antioxidants, photoprotection, SPF

Introducción

La radiación ultravioleta (UV) es una de las principales causas del envejecimiento prematuro de la piel y del desarrollo de cánceres cutáneos como el melanoma (OMS). La radiación UV solar se clasifica en UV-A, UV-B y UV-C, siendo la UV-A y la UV-B las únicas que penetran la atmósfera y dañan la piel, mientras que la UV-C es absorbida. UV-B causa principalmente quemaduras y daños superficiales, y UV-A penetra más profundamente en la piel, contribuyendo al envejecimiento y al daño celular, incluyendo el riesgo de cáncer cutáneo (Lohani et al., 2019). El uso de protectores solares en cosmecéuticos para el cuidado de la piel es una estrategia eficaz para reducir el daño cutáneo mediado por especies reactivas de oxígeno (ROS) generadas por la radiación ultravioleta (UV). La efectividad de un protector solar se expresa mediante el factor de protección solar (FPS). Según la FDA, el FPS es una medida de cuánta radiación UV se necesita para producir quemaduras en la piel protegida (con protector solar) en relación con la cantidad necesaria para producir quemaduras en la piel desprotegida. Un valor de FPS más alto indica una mayor eficacia en la protección contra las quemaduras solares (FDA). Aunque

el uso de bloqueadores solares es fundamental para la prevención del daño fotoinducido, las preocupaciones ambientales y sanitarias asociadas al uso crónico de ciertos filtros sintéticos han motivado la búsqueda de alternativas con ingredientes derivados de fuentes naturales, como los aceites esenciales.

Los aceites esenciales han tenido un papel importante durante siglos en distintas culturas, ya que se han utilizado por sus beneficios tanto medicinales como terapéuticos, mejorando la vida de las personas en ámbitos cosmecéuticos, nutricionales y religiosos (Udourioh et al., 2025). Estos, son mezclas complejas con numerosos beneficios terapéuticos y cosméticos; se emplean en cremas y lociones para tratar y prevenir problemas de la piel, y su capacidad antioxidante los convierte en una alternativa natural frente a ingredientes sintéticos que pueden ser perjudiciales para la salud (Guzman y Lucia, 2021). La composición química de cada aceite esencial determina su pureza y valor terapéutico, pues cada mezcla de componentes produce diferentes efectos biológicos. Gracias a esta versatilidad, los aceites esenciales han sido objeto de numerosas investigaciones sobre sus posibles aplicaciones, demostrando actividades antifúngicas, antimicrobianas, antivirales, anticancerígenas y antioxidantes . Además, pueden tratar inflamaciones de la piel, favorecer la cicatrización, reducir imperfecciones y suavizar arrugas y manchas de la edad (de Sousa, D. P., 2023). Por lo general, pueden añadirse a cremas, lociones o aceites portadores para uso tópico, y su aplicación diaria ayuda con dermatitis, psoriasis, irritaciones, alteraciones pigmentarias y quemaduras solares. Estas múltiples actividades sustentan su empleo en aromaterapia, cosmética y medicinas complementarias (Lohani et al., 2019). La capacidad antioxidante de los aceites esenciales es especialmente valiosa en cosméticos porque protege los ingredientes del producto y contribuye a prevenir daños en la piel, retrasando el envejecimiento y mejorando su aspecto. El uso de aceites esenciales como antioxidantes naturales es relevante principalmente porque ciertos antioxidantes sintéticos, como el BHT y el BHA, se consideran potencialmente nocivos para la salud (EFSA, 2012; Lanigan y Yamarik 2002). Por ello, en este estudio se revisó y sintetizó la literatura científica disponible para identificar, analizar y comparar los estudios que evalúan el uso de aceites esenciales en el cuidado de la piel, enfocándose en sus mecanismos de acción, las principales especies que han sido evaluadas y los retos para el empleo de estos en productos cosméticos.



Figura 1. Principales aceites esenciales estudiados en el cuidado de la piel

Metodología

La metodología para este artículo de revisión incluyó:

Búsqueda bibliográfica sistemática en bases de datos científicas reconocidas (PubMed, Scopus, Web of Science, Google Scholar) utilizando palabras clave relevantes: “aceites esenciales”, “protección UV”, “antienvejecimiento”, “cicatrizante”, “antiinflamatorio”, así como términos relacionados con el cuidado de la piel. Se establecieron criterios de inclusión y exclusión para seleccionar estudios originales, revisiones y meta-análisis relacionados con los efectos, mecanismos de acción y aplicaciones de los aceites esenciales en productos dermocosméticos.

La extracción de datos incluyó: autores, año de publicación, tipo de estudio, principales aceites esenciales evaluados, efectos destacados (UV, antienvejecimiento, cicatrizante, antiinflamatorio), mecanismos de acción de los efectos farmacológicos y funciones de los aceites esenciales en formulaciones cosméticas.

Función de los aceites esenciales en formulaciones para el cuidado de la piel

Los protectores solares son productos de aplicación tópica que sirven para resguardar la piel de los daños provocados por la radiación ultravioleta (UV). Los efectos nocivos de la luz solar UV sobre la piel —como el envejecimiento irreversible y diversas patologías dérmicas— se acumulan con el tiempo, no pueden revertirse y representan actualmente un serio problema de salud. Esta radiación puede generar cambios bioquímicos y fisiológicos, como la alteración de las fibras de colágeno y elastina, la pérdida del tejido adiposo subcutáneo y modificaciones con potencial cancerígeno. Además de prevenir el cáncer de piel, los protectores solares evitan otras afecciones cutáneas relacionadas con la radiación solar, tales como envejecimiento prematuro, formación de arrugas, pigmentación no deseada y disminución del colágeno. En zonas con alta exposición solar, su uso constituye una medida preventiva muy efectiva para reducir estos riesgos (Cefali et al., 2016).

Los aceites esenciales pueden cumplir varias funciones dentro de estas formulaciones:

- Aumentar el FPS: Su inclusión incrementa el factor de protección solar de las cremas.
- Potenciar la acción antioxidante: Reducen lesiones genéticas inducidas por UV y previenen la formación de productos foto-inducidos en el ADN.
- Atenuar la carga sintética: Permiten reducir las concentraciones de filtros sintéticos.
- Mejorar las propiedades sensoriales: Su aroma y efecto refrescante hacen más atractiva la aplicación tópica.
- Uso de aceites esenciales en bloqueadores solares.

Propiedades y mecanismos de acción

La radiación UVA puede provocar diversas respuestas biológicas, que van desde el eritema hasta el fotoenvejecimiento, debido a que este componente del espectro UV solar penetra la dermis y alcanza el tejido subcutáneo, afectando tanto la epidermis como la dermis. Además, induce la generación de especies reactivas de oxígeno (ROS) como oxígeno singlete, radical hidroxilo, anión superóxido y peróxido de hidrógeno, junto con la liberación de hierro libre, lo que ocasiona altos niveles de estrés oxidativo. El oxígeno singlete recibe especial atención por su papel en el daño solar cutáneo, ya que es probablemente la especie más abundante tras la exposición a la radiación solar. Ciertas moléculas presentes de forma natural en la piel (como triptófano o riboflavina) o introducidas de forma externa (mediante filtros UV) pueden absorber radiación UVB y UVA, transferir esa energía al oxígeno y generar oxígeno singlete. Esta especie reactiva interactúa rápidamente con las moléculas próximas, alterando la estructura celular y

la matriz extracelular (Cefali et al., 2016). Las células de la piel llamadas queratinocitos poseen una amplia reserva de antioxidantes y enzimas protectoras contra el estrés oxidativo. No obstante, cuando la radiación UVA genera grandes cantidades de ROS, estas defensas pueden ser superadas, ocasionando daños extensos en las células (Tarozzi et al., 2005). Las cantidades excesivas de especies reactivas de oxígeno (ROS) pueden provocar la peroxidación de lípidos, glicación, oxidación o nitración de proteínas, inactivación de enzimas, daño al ADN y otras alteraciones en los orgánulos celulares (Hadi et al., 2007).

Los aceites esenciales se caracterizan por contener mezclas variables de compuestos bioactivos, principalmente terpenoides, en especial monoterpenos y sesquiterpenos. Algunos de ellos también contienen compuestos no terpénicos que se generan a través de la vía del fenilpropanoide, como el eugenol, la cinamaldehído y el safrol (Dhifi et al., 2016). Estos compuestos contribuyen tanto a la absorción de radiación UV como a atrapar radicales libres e inhibir el crecimiento de nuevos radicales, este proceso actúa como un mecanismo de "terminación" de la cadena de reacciones de oxidación, frenando el daño oxidativo en la piel, complementando su acción como filtros solares (Malik et al., 2022). Además, los aceites esenciales y sus componentes han demostrado actividades antibacterianas, antifúngicas, antivirales y antiparasitarias, sustentadas en su capacidad de alterar membranas, inhibir enzimas y modular señales celulares (de Sousa, D. P., 2023).

La piel se compone principalmente de epidermis y dermis, actuando como barrera protectora frente a infecciones y factores ambientales. La degradación de colágeno y elastina en la dermis por acción de metaloproteinasas favorece la aparición de arrugas y envejecimiento cutáneo. La tirosinasa, esencial en la producción de melanina, puede causar manchas si está desregulada. Por ello, ingredientes inhibidores de colagenasa, elastasa y tirosinasa, como el aceite esencial de canela, resultan relevantes para el cuidado de la piel y la prevención del envejecimiento y la hiperpigmentación (Wanakhachornkrai et al., 2020). Por otro lado, la melanina, el pigmento principal de la piel, juega un papel esencial en la protección frente a la radiación ultravioleta. No obstante, su sobreproducción y acumulación pueden originar manchas pigmentadas y alteraciones en la coloración cutánea como el melasma, las pecas, la melanodermia postinflamatoria y el lentigo solar. La biosíntesis de melanina está regulada por enzimas del proceso de melanogénesis, especialmente la tirosinasa, que cataliza dos reacciones clave. Así, la tirosinasa es una enzima reguladora e indispensable para el control de la melanogénesis y se ha reportado que los aceites esenciales de Alpinia zerumbet ejercen actividades antioxidantes, antienvejecimiento y antimelanogénicas al inhibir la tirosinasa y reducir la síntesis de melanina (Be Tu y Tawata, 2015). Además, el timol y el carvacrol, componentes principales de diversos aceites esenciales, también son capaces de actuar en las tres fases de la cicatrización de heridas. En la primera fase, muestran un efecto modulador sobre las citocinas inflamatorias, controlan el estrés oxidativo y poseen un notable poder antimicrobiano. Durante la segunda fase, favorecen la reepitelización, la angiogénesis y el desarrollo del tejido de granulación. Finalmente, en la tercera fase, mejoran el depósito de colágeno y regulan el crecimiento de fibroblastos y queratinocitos (Costa et al., 2019).

Respecto a la respuesta inflamatoria, esta se inicia con la activación celular y la liberación de mediadores como las citocinas proinflamatorias (TNF-α, IL-1β, IL-6, IL-8), que estimulan la actividad de macrófagos y mastocitos. Estos, a su vez, activan células endoteliales, aumentan la permeabilidad vascular, provocan la salida de líquidos y proteínas, e inducen la migración de células inmunitarias al sitio afectado. Si este proceso no se regula adecuadamente, puede derivar en daño tisular. En este contexto, numerosos estudios han documentado los beneficios de los aceites esenciales en el control de la inflamación, respaldo que proviene tanto de la medicina tradicional como de investigaciones científicas recientes. La acción antiinflamatoria de los aceites se explica por diferentes mecanismos: inhibición de la liberación de mediadores inflamatorios por células inmunes, interacción con receptores sensoriales, supresión del

inflamasoma NLRP3, regulación de la vía de señalización NF-κB y el equilibrio de la microbiota y la función de la barrera intestinal (de Sousa, D. P., 2023).



Figura 2. Aceites esenciales: propiedades y usos en el cuidado de la piel

Los aceites esenciales más estudiados para el cuidado de la piel

Los aceites esenciales como la lavanda (Lavandula angustifolia), árbol de té (Melaleuca alternifolia), manzanilla (Matricaria chamomilla), menta (Mentha piperita), cáñamo (Cannabis sativa), Euphorbia characias, hierba de San Guillermo (Agrimonia eupatoria) y eucalipto (Eucalyptus globulus) son ampliamente utilizados en dermocosmética debido a sus variadas propiedades terapéuticas (Pezantes-Orellana et al., 2025).

El aceite de lavanda destaca por sus efectos calmantes, antiinflamatorios y antimicrobianos, lo que lo hace eficaz para tratar el acné, aliviar irritaciones y favorecer la reparación de la barrera cutánea (Mori et al., 2016). El aceite de árbol de té, rico en terpenos como el terpinen-4-ol, es un potente agente antibacteriano y antifúngico, empleado frecuentemente en productos para el acné y el cuero cabelludo (Radice et al., 2016). Un estudio evidenció que cuando el aceite fue incorporado a nanoemulsiones tópicas, logró una mejora del FPS respecto al control sin aceite y mostró actividad antioxidante significativa (IC50 para ABTS de 5.30 µg/mL para la nanoemulsión), así como selectividad citotóxica contra células de melanoma sin dañar células normales (de Sousa, D. P., 2023). El aceite de manzanilla, gracias a su alto contenido de bisabolol, reduce el enrojecimiento y la inflamación, siendo especialmente útil en pieles sensibles o con tendencia al eccema (Sah et al., 2022). Los aceites de menta y eucalipto aportan sensación refrescante y efectos antimicrobianos; suelen incorporarse a productos para piel grasa o congestionada por su capacidad para regular la producción de sebo y combatir el exceso microbiano (Taherpour et al., 2017). Además, aceites como los de Agrimonia eupatoria, Bursera morelensis y Jatropha neopauciflora favorecen la cicatrización y regeneración de tejidos. Para la fotoprotección y el tratamiento de la hiperpigmentación, aceites como Astragalus gombiformis y Euphorbia characias ofrecen una alta protección ante los rayos UV, actuando como filtros solares naturales. En el caso de la despigmentación cutánea, aceites como los de Aerva lanata y Schisandra chinensis muestran una potente acción antitirosinasa, disminuyendo la síntesis de melanina y mejorando el tono disparejo de la piel (Radice et al., 2016).

Adicionalmente, otros estudios han reportado FPS elevados con aceites de semilla de zanahoria (FPS hasta 18.80 en evaluaciones espectrales) y semilla de frambuesa (FPS entre 28 y 50), comparables a filtros minerales. Estas formulaciones han demostrado absorción en el rango UVA y UVB, contribuyendo tanto a la prevención de daño oxidativo como a la eficacia protectora ante la radiación (Siddique, 2024).

Destaca también el empleo de aceites esenciales de especies del género Lippia, que han demostrado efectos antigenotóxicos y mejoría en la integridad celular tras exposición ultravioleta (Quintero et al., 2017).

Limitaciones y retos

Aunque los aceites esenciales suelen ser seguros en los productos cosméticos y han demostrado eficacia en ensayos científicos, su regulación es escasa ya que la FDA no exige aprobación previa mientras se cumpla con el etiquetado (Pezantes-Orellana et al., 2025). El interés en alternativas naturales ha impulsado su uso, pero para evitar efectos adversos, la Asociación Internacional de Fragancias ha establecido normas sobre niveles y tipos de ingredientes alergénicos permitidos. Por otro lado, la

mayoría de los aceites esenciales muestran factores de protección solar (FPS) inferiores a los mínimos recomendados para utilizarse como exclusivos filtros solares (FPS ≥ 15) (Vella et al., 2021). Además, la variabilidad en composición, estabilidad y seguridad dermatológica limita su empleo a coadyuvantes en formulaciones fotoprotectoras, y no como sustitutos. Por ello, es necesario realizar estudios clínicos adicionales para confirmar su eficacia y seguridad en la población, así como para evaluar posibles riesgos de toxicidad cutánea a largo plazo.

Conclusión

Los aceites esenciales representan una opción valiosa y sostenible para potenciar la actividad protectora de las formulaciones solares, actuando fundamentalmente como aditivos antioxidantes y coadyuvantes en la mejora del FPS. Aunque su eficacia como únicos filtros es limitada, su integración racional con filtros aprobados permite el desarrollo de productos más seguros para el usuario y menos dañinos para el medio ambiente. La investigación futura debe centrarse en la estandarización, control de calidad y validación clínica de estas formulaciones.

Referencias

Be Tu, P. T., & Tawata, S. (2015). Anti-oxidant, anti-aging, and anti-melanogenic properties of the essential oils from two varieties of Alpinia zerumbet. Molecules, 20(9), 16723-16740.

Cefali, L. C., Ataide, J. A., Moriel, P., Foglio, M. A., & Mazzola, P. G. (2016). Plant-based active photoprotectants for sunscreens. International Journal of Cosmetic Science, 38(4), 346–353.

Costa, M. F., Durço, A. O., Rabelo, T. K., Barreto, R. D. S. S., & Guimarães, A. G. (2019). Effects of Carvacrol, Thymol and essential oils containing such monoterpenes on wound healing: A systematic review. Journal of pharmacy and pharmacology, 71(2), 141-155.

de Sousa, D. P., Damasceno, R. O. S., Amorati, R., Elshabrawy, H. A., de Castro, R. D., Bezerra, D. P., … & Lima, T. C. (2023). Essential oils: Chemistry and pharmacological activities. Biomolecules, 13(7), 1144.

Dhifi, W., Bellili, S., Jazi, S., Bahloul, N., & Mnif, W. (2016). Essential oils' chemical characterization and investigation of some biological activities: A critical review. Medicines, 3(25).

EFSA Panel on Food Additives and Nutrient Sources added to Food (ANS). (2012). Scientific opinion on the reevaluation of butylated hydroxy- toluene BHT (E 321) as a food additive. EFSA Journal, 10, 2588–2630.

Guzmán, E., & Lucia, A. (2021). Essential oils and their individual components in cosmetic products. Cosmetics, 8(4), 114.

Hadi, S., Bhat, S., Azmi, A., Hanif, S., Shamim, U., & Ullah, M. (2007). Oxidative breakage of cellular DNA by plant polyphenols: A putative mechanism for anticancer properties. Seminars in Cancer Biology, 17, 370–376.

Lanigan, R. S., & Yamarik, T. A. (2002). Final report on the safety assessment of BHT. International Journal of Toxicology, 21, 19–94.

Lohani, A., Mishra, A. K., & Verma, A. (2019). Cosmeceutical potential of geranium and calendula essential oil: Determination of antioxidant activity and in vitro sun protection factor. Journal of Cosmetic Dermatology, 18(2), 550–557.

Malik, P., & Upadhyay, P. R. A. S. H. A. N. T. (2022). GC-MS chemical profile, antioxidant activity, and sun protection factor of essential oil of tea tree (Melaleuca alternifolia) and rosemary (Rosmarinus officinalis L.). Oriental Journal of Chemistry, 38(5).

Mori, H., Kawanami, H., Kawahata, H., & Aoki, M. (2016). Wound healing potential of lavender oil by acceleration of granulation and wound contraction through induction of TGF-β in a rat model. BMC Complementary and Alternative Medicine, 16, 144.

Pezantes Orellana, C., German Bermúdez, F. A., Montalvo, J., Packer, T., & Orellana-Manzano, A. (2025). Evaluating efficacy, safety, and innovation in skin care applications of essential oils: A systematic review. Frontiers in Medicine, 12, 1589691.

Quintero Ruiz, N., Cordoba Campo, Y., Stashenko, E. E., & Fuentes, J. L. (2017). Antigenotoxic effect against ultraviolet radiation-induced DNA damage of the essential oils from Lippia species. Photochemistry and Photobiology, 93(4), 1063–1072.

Radice, M., Manfredini, S., Ziosi, P., Dissette, V., Buso, P., Fallacara, A., et al. (2016). Herbal extracts, lichens and biomolecules as natural photo-protection alternatives to synthetic UV filters: A systematic review. Fitoterapia, 114, 144–162.

Sah, A., Naseef, P., Kuruniyan, M., Jain, G., Zakir, F., & Aggarwal, G. A. (2022). Comprehensive study of therapeutic applications of chamomile. Pharmaceuticals, 15, 1284.

Siddique, I. (2024). The effect of the addition of carrot seed oil and raspberry seed oil on the UV intensity of a sunscreen. Journal of the South Carolina Academy of Science, 21(3), 8.

Taherpour, A., Khaef, S., Yari, A., Nikeafshar, S., Fathi, M., & Ghambari, S. (2017). Chemical composition analysis of the essential oil of Mentha piperita L. from Kermanshah, Iran by hydrodistillation and HS/SPME methods. Journal of Analytical Science and Technology, 8, 1–6.

Tarozzi, A., Marchesl, A., Hrelia, S., Angeloni, C., Andrisano, V., Fiori, J., … & Hrella, P. (2005). Protective effects of cyanidin-3-O-β-glucopyranoside against UVA-induced oxidative stress in human keratinocytes. Photochemistry and Photobiology, 81(3), 623–629.

U.S. Food and Drug Administration. (2017, July 13). Sun protection factor (SPF). https://www.fda.gov/about-fda/center-drug-evaluation-and-research-cder/sun-protection-factor-spf

Udourioh, G. A., Bazza, B. M., Pilani, M. P., & Solomon, M. M. (2025). Therapeutic characteristics of essential oils: Historical and scientific considerations. Journal of Applied Sciences and Environmental Management, 29(2), 569–579.

Wanakhachornkrai, O., Banglao, W., Thongmee, A., & Sukplang, P. (2020). Determination of antioxidant, anti-aging and cytotoxicity activity of the essential oils from Cinnamomum zeylanicum. Journal of microbiology, biotechnology and food sciences, 10(3), 436-440.

Caracterización de concretos celulares con contenidos de surfactantes empleados como base del aditivo

Amparo Reséndiz Gómez | División de Química y Energías Renovables, Universidad Tecnológica de San Juan del Río | aresendizg@utsjr.edu.mx

Carlos A. Juaristi Romero | División de Química y Energías Renovables, Universidad Tecnológica de San Juan del Río | carlosjuaristiromero@gmail.com

Raúl García García | División de Química y Energías Renovables, Universidad Tecnológica de San Juan del Río | rgarciag@utsjr.edu.mx

Ángel Marroquín De Jesús | División de Química y Energías Renovables, Universidad Tecnológica de San Juan del Río | amarroquind@utsjr.edu.mx

Saturnino García García | Instituto Nacional de México Campus Huichapan (ITESHU) | satgargar@gmail.com

Raúl Asher García Uribe | División de Química y Energías Renovables, Universidad Tecnológica de San Juan del Río | asher23909@live.com.mx

Lourdes Vital López | Universidad Tecnológica de Tamaulipas Norte | lourdes.vital@uttn.mx

Resumen

Este proyecto busca brindar una alternativa más económica a los aditivos en este segmento y evitar el desperdicio de materias primas (cemento y agua) para aprovechar al máximo la expansión de estos materiales y mantener las condiciones constructivas requeridas por las regulaciones mexicanas en un bloque de las siguientes dimensiones en el uso de construcciones ligeras.

Palabras clave: Concreto ligero, concreto celular, pruebas fisicoquímicas, aditivos para concreto, formulación de compuestos, tensoactivos.

Abstract

This project seeks to provide a more economical alternative to additives in this segment and avoid the waste of raw materials (cement and water) to make the most of the expansion of these materials and maintaining the construction conditions required by Mexican regulations in a block of the following dimensions in the use of lightweight constructions.

Keywords: educational innovation, higher education, learning experience, teaching practice, qualitative research.

1. Introducción

La creciente demanda de soluciones de construcción sostenibles y eficientes ha impulsado la necesidad de desarrollar materiales innovadores que optimicen los procesos de construcción. En este contexto, el concreto celular se presenta como una alternativa viable, debido a sus propiedades de ligereza, aislamiento térmico y resistencia al fuego (Silva, 2021; Neville, 2011). Sin embargo, los costos de producción y los aditivos utilizados en su fabricación pueden ser un obstáculo para su adopción masiva, especialmente en proyectos de construcción de bajo presupuesto (Salinas, 2024).

El concreto celular destaca por su baja densidad y facilidad de manejo, lo que reduce cargas estructurales y mejora la eficiencia en obra (Autor desconocido, 2021; Kosmatka et al., 2008).

Este proyecto se justifica en la necesidad de crear un aditivo económico que permita la producción de concreto celular de alta calidad a un costo reducido. Al desarrollar un aditivo accesible, se busca democratizar el uso del concreto celular, facilitando su implementación en diversas obras.

Además, la implementación de este aditivo podría estimular la economía local, al promover la creación de pequeñas y medianas empresas dedicadas a la producción de concreto celular. Esto generaría empleo y fomentaría la innovación en el sector de la construcción.

Por otro lado, al ser un material que ofrece excelentes propiedades térmicas, su uso puede contribuir a la eficiencia energética de los edificios, reduciendo la dependencia de sistemas de climatización y, por ende, los costos energéticos a largo plazo.

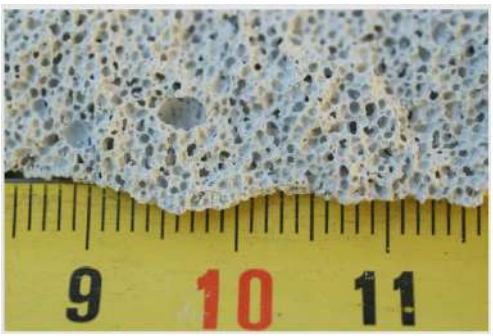


Figura 1. Presenta una referencia visual del concreto celular empleado como material de estudio, destacando su estructura y aplicación como concreto de baja densidad – elaboración propia

Propiedades del concreto celular

Reducción de peso (carga muerta): al utilizar concreto celular en cualquier estructura se aprecian cargas muertas mucho más livianas, importante en áreas de alto riesgo sísmico. Durante un evento sísmico, los muros que puedan sufrir algún daño y precipitarse sobre las personas no causan daños físicos graves como el concreto convencional. La baja densidad del concreto celular determina el peso del material, por lo que la manejabilidad en transporte de material, acarreos, organización y colocación de paneles de mampostería, determinan el tiempo de ejecución de las obras.

Aditivos

Los aditivos son sustancias que se incorporan a la mezcla final y pueden enriquecer alguno de los apartados antes mencionados. Se tiene una idea de que un aditivo experimental puede mejorar las características del cemento optimizando y mejorando sus características mecánicas (The Constructor, 2023; Mehta & Monteiro, 2014).

En el caso de la construcción los aditivos son utilizados para mejorar el desempeño de los materiales y reducir los costos.

Aditivos inclusores de aire: Se utilizan principalmente para incrementar la resistencia al concreto en condiciones térmicas adversas (congelamiento o calentamiento) y proporcionan mayor resistencia al deterioro ocasionado por sales, los agentes inclusores de aire introducen espuma a la mezcla del cemento para lograr que dichas burbujas se incorporen al cemento.

Los aditivos inclusores de aire son usados con el objetivo de retener intencionalmente burbujas microscópicas de aire en el concreto (Autor desconocido, 2017; Kujawa et al., 2021).

Estos aditivos son ampliamente utilizados para mejorar el comportamiento del concreto frente a ciclos de congelación y deshielo (Ammar et al., 2024).

El inclusor de aire es un líquido que se adiciona al concreto durante el mezclado, se agrega al agua de la mezcla y se agita para lograr una incorporación homogénea, formando así, un sistema de microburbujas de aire que actúan como lubricante entre las partículas componentes del concreto aumentando notablemente su trabajabilidad.

La inclusión de aire optimiza eficientemente la durabilidad de los concretos que se encuentren expuestos a la humedad durante los ciclos de congelación y deshielo.

Propiedades fisicoquímicas

Revenimiento: La prueba de revenimiento es un ensayo fundamental para evaluar la trabajabilidad del concreto fresco (IMCYC, 2004; Portland Cement Association, s.f.).

La prueba de revenimiento es un ensayo fundamental en la construcción civil, particularmente en la elaboración de concreto.

Resistencia a la compresión/dureza:

La resistencia a la compresión es una de las propiedades más importantes del concreto, ya que determina su capacidad estructural (Osorio, s.f.; Neville, 2011).

Esta propiedad está regulada por normas técnicas como las NMX y ASTM, que garantizan la calidad del material en aplicaciones constructivas (ONNCCE, 2014).

Potencial de hidrógeno: La norma ASTM C1293-16, titulada "Standard Test Method for Determination of Length Change of Concrete Due to Alkali-Silica Reaction", es un estándar desarrollado por el Comité ASTM C09 sobre Concreto y Agregados. Esta norma establece los procedimientos para determinar el cambio de longitud del concreto debido a la reacción álcali-sílice (ASR), un fenómeno químico que puede afectar la durabilidad y la integridad estructural del concreto (ASTM International, 2011).

Resistencia térmica: La resistencia térmica del concreto es una medida de su capacidad para resistir el flujo de calor. Es importante en aplicaciones donde se requiere aislamiento térmico, como en edificios y estructuras que deben mantener temperaturas interiores estables. La resistencia térmica se calcula como la inversa de la conductividad térmica del material (Mindess et al., 2003).

Normas y guías de referencia para los ensayos

Para fortalecer la trazabilidad de los ensayos, se identifican las normas y guías empleadas como referencia en cada prueba. La prueba de revenimiento se realizó siguiendo el procedimiento del IMCYC; adicionalmente, se toma como referencia la NMX-C-155-ONNCCE-2014 para la correlación de resistencia a la compresión entre cubos y cilindros. Para la evaluación térmica se utilizó como referencia la NMX-C-086-ONNCCE-2011, indicada en el manuscrito. Las referencias ASTM incluidas en el documento deberán corresponder específicamente al método aplicado y verificarse antes de la versión final.

En la prueba de resistencia a la compresión se realizaron especímenes por triplicado. Para asegurar la reproducibilidad, se recomienda conservar las condiciones de preparación, curado, dimensiones y velocidad de carga utilizadas en cada ensayo y asociarlas explícitamente con la norma o guía correspondiente.

2. Marco Metodológico

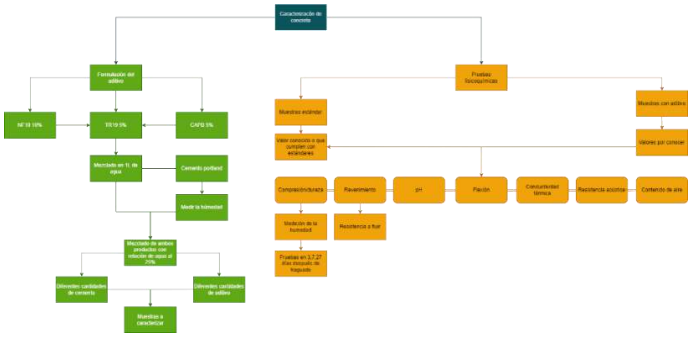


Figura 2. Resume las etapas generales consideradas para la caracterización del aditivo y la evaluación de sus propiedades – elaboración propia

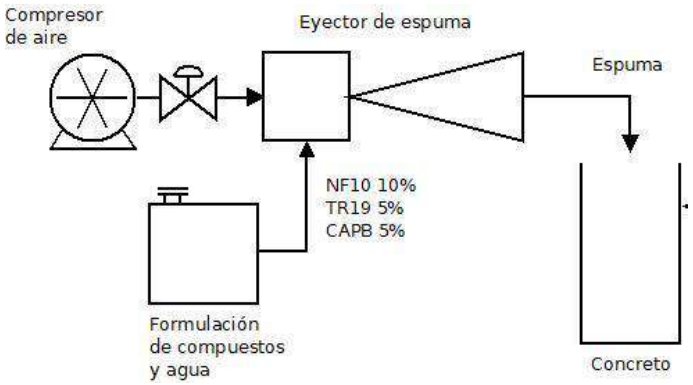


Figura 3. Diagrama de proceso para hacer el concreto con el aditivo – elaboración propia

La figura 3 expone de manera clara y concisa el procedimiento necesario para obtener la espuma que se mezclará posteriormente con el concreto, a fin de generar concreto celular. El procedimiento experimental para la elaboración del concreto celular se basa en la generación de espuma mediante agentes tensoactivos, técnica ampliamente utilizada en concretos ligeros (Chica, 2022; Wagh, 2024). Se dispone de un compresor de aire con una capacidad superior a 1.5 HP, que garantiza una circulación de aire adecuada para alcanzar la salida deseada. Es imprescindible supervisar que, una vez que la espuma comience a emerger del eyector, se genere una espuma con distribución uniforme de burbujas y estabilidad suficiente para su incorporación a la mezcla. Asimismo, se debe monitorear que la espuma mantenga su estabilidad durante el tiempo requerido para su incorporación a la mezcla. Una vez que se haya generado una cantidad de espuma equivalente al volumen de concreto presente en el recipiente, se deben mezclar ambos componentes. En caso de que el nivel no sea el recomendado, seguir incorporando espuma hasta alcanzar el nivel requerido.

Estandarización para el concreto celular

- Compresor de aire: Marca Denbel, Modelo DA-CE25.
- Cemento: Marca Moctezuma, Tipo CPC 30 R Portland.
- NF10: Proveedor Pochteca, CAS 9016-45-9.
- TR19: Proveedor Pochteca, CAS 102-71-6.
- CAPB: Proveedor Pochteca, CAS 61789-40-0.

Flujo de espuma promedio de 3.63 $\frac{l}{min}$ hasta que el volumen de espuma sea similar al volumen de concreto en la mezcla, para 125 ml de aditivo hasta que se vacíe el aditivo en forma de espuma en el contenedor. La espuma debe presentar una distribución uniforme de burbujas y una consistencia estable.

Este procedimiento se empleará en caso de que requiera tener una mezcla con una dureza superior a 30 kg/cm2, en caso de que la dureza no se requiera una dureza muy alta y se quiera un mayor coeficiente de expansión se puede verter más aditivo a la mezcla y el volumen final será mayor.

Se pesarán 7 kg de cemento

Se agregará agua en 35% respecto al peso de cemento, aproximadamente 2.5 l de agua

Preparación de aditivo

Medir 250 ml de agua

Poner 52.91 gr de NF10, 22.24 gr de TR19 y 32.45 gr de CAPB, dejar reposar un momento para

que la mezcla cambie su viscosidad por una más líquida y menos gelosa.

Verter el aditivo en los 250 ml de agua medido previamente.

Esperar a que los aditivos se hagan miscibles en el agua y verter en el eyector.

Preparación de bloques.

Realizar el mezclado de cemento y el agua al 35% de su peso

Encender el compresor de aire y esperar a que comience a arrojar espuma

Colocar la salida del espumador a aproximadamente 45° para que la espuma caiga en el recipiente con concreto

Una vez que el recipiente con cemento y espuma se llene comenzar a mezclar con un taladro a una velocidad lenta pero lo suficientemente potente para que el cemento se comience a mezclar con las burbujas

Una vez obtenida una mezcla homogénea traspasar el contenido a un molde de 30x30x30 y medir el coeficiente de expansión. Es recomendable que la expansión no rebase del 60% del volumen original de concreto.

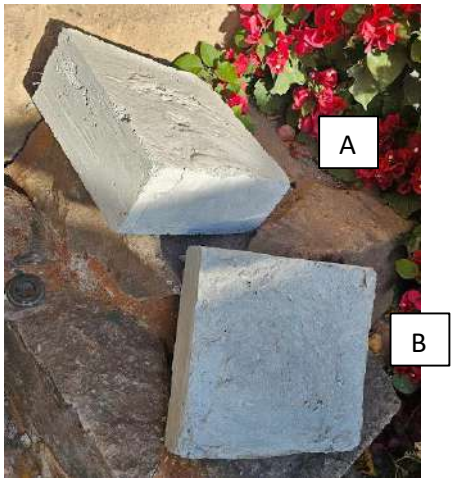


Figura 4. Compara visualmente el efecto de la incorporación del aditivo sobre la expansión del bloque respecto al bloque sin aditivo – elaboración propia

Revenimiento

Para obtener el revenimiento del concreto, se realiza la prueba del cono de Abrams: llena el molde troncocónico con tres capas de concreto, compactando cada una. Retira el molde y mide la diferencia de altura entre el molde y el concreto asentado. Esta medida es el revenimiento. Se sigue procedimiento del IMCYC.

Prueba de dureza de cubos
Se realizaron 3 tipos de pruebas:

1) Resistencia máxima que soportada por el concreto sin agregados como arena, grava, etc. en este caso todas las pruebas son realizadas con cemento marca Moctezuma tipo Portland

2) Resistencia máxima soportada por el concreto con aditivo, sin inyección de aire o espuma, con el fin de conocer si el agregado químico no causa ninguna alteración a la resistencia final del concreto

3) Resistencia máxima soportada por el concreto con aditivo, con inyección de aire o espuma, con el fin de conocer la resistencia máxima soportada por el concreto de baja densidad.

*Se realizarán análisis por triplicado de cada una de las pruebas

Herramientas

- Molde de madera o metal para cubos de 10x10x10 cm
- Compresor de aire Denbel
- Balanza calibrada
- Varilla con punta redondeada (60 cm x 16 mm)
- Taladro Trupper: ROTO-1/2NX2

Los cubos de las pruebas “1” se preparan de acuerdo con el procedimiento establecido por el IMCYC.

Los cubos “2” y “3” son preparados de acuerdo al proceso de estandarización adaptando el proceso a un pesaje de cemento del 10% menos en caso de las pruebas de los cubos “2” y 40% menos en caso de las pruebas de cubos “3”. Es importante que los cubos no se muevan una vez preparados ya que puede ocasionar el rompimiento de la burbuja, por lo tanto, los especímenes tampoco deben pasar por el paso de varillado.

pH en concreto
Herramientas

- Potenciómetro HANNA Hi98103
- Soluciones de referencia
- Agua destilada
- Agitador de vidrio

Para medir el pH de una muestra de concreto, primero selecciona una muestra representativa y tritúrala en trozos pequeños. Luego, coloca la muestra triturada en un recipiente con agua destilada, agita suavemente y deja reposar la mezcla para permitir que los iones se disuelvan en el agua. Antes de la medición, calibra el electrodo de pH utilizando soluciones patrón con pH conocido. Finalmente, introduce el electrodo calibrado en la solución acuosa y registra la lectura del pH.

Prueba de resistencia térmica

Herramientas

- Moldes de concreto de madera
- Soplete
- Cámara termográfica
- Soporte de hierro
- Encendedor o fuente de ignición
- Temporizador

La determinación de la resistencia térmica del concreto es un proceso crucial que requiere seguir una metodología precisa y estandarizada para garantizar resultados confiables y reproducibles. La prueba de resistencia térmica se realizará evaluando la capacidad calorífica del cemento con aditivo de prueba y se comparará con datos presentes en la Norma Mexicana NMX-C-086-ONNCCE-2011.

1. La prueba consistirá en hacer una placa de cemento con aditivo y una placa de blanco, las medidas de la placa serán de 30x30x5:

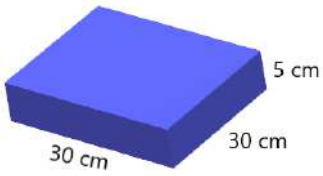


Figura 5. Muestra el molde empleado para preparar las placas utilizadas en la evaluación térmica – elaboración propia.

2. Se calentarán ambas placas con un soplete

3. Se evaluará el comportamiento durante 10,20,30 minutos de calentamiento hasta que exista agrietamiento o fallas en la placa

4. Se harán los cálculos para conocer la capacidad calorífica y se compararán con datos normativos.

Prueba de resistencia sonora
Moldes de concreto

Sonómetro Noyafa NF-562

Bocina(s)

Frecuencia activa

Material acústico de referencia

Para evaluar la absorción de ruido de un aditivo, se realiza una prueba en la que se crea una placa de

cemento con aditivo. Las dimensiones de la placa son de 30x30x5, utilizando el mismo molde empleado en pruebas de calorimetría. Posteriormente, se emite una frecuencia de onda entre los 90 y 100 decibelios, que viaja desde un punto "a" hasta un punto "b".

3. Avances y Hallazgos

Finalmente, se comparan los resultados obtenidos con información en línea para determinar si el aditivo cumple con la función de absorción de ruido.

formulación de aditivo por diseño estadístico 2k

Se realizó un análisis estadístico del tipo 2k, para realizar una prueba multifactorial y determinar que opción es más viable para incluir en el aditivo final.

	PESO			PESO TOTAL (gr)	ALTURA 1	ALTURA 2	TIEMPO	
	NONIL FENOL	TRIETANOLAMINA	COCOAMIDOPROPIL BETAINA					
1	0	0	0	105	1.2	1.2	0	0
2		0	0	55.3	13	4	5.34	6.13
3	0		0	54.6	13	4	6.12	5.45
4			0	54.9	13	4	2.22	1.57
5	0	0		54.6	3.18	0.7	0	0
6		0		55	13	4	7.56	8.12
7	0			54.6	13	4	6.33	6.47
8				54.3	13	4	11.56	12.15

Tabla 1. Concentra las mediciones de altura y el tiempo de desintegración de la espuma, variables utilizadas para valorar su estabilidad – elaboración propia.

Número de experimento	Factores			Tiempo		Parámetros		Contraste							
	NF10	TR19	CAPB					NF10	TR19	CAPB	NF10*TR19	NF10*CAPB	TR19*CAPB	NF10*TR19*CAPB
1	-1	-1	-1	0	0	(I)	0.00	0	0	0	0	0	0	0
2	1	-1	-1	5.34	6.13	a	11.47	11.47	-11.47	-11.47	-11.47	-11.47	11.47	11.47
3	-1	1	-1	6.12	5.45	b	11.57	-11.57	11.57	-11.57	-11.57	11.57	-11.57	11.57
4	1	1	-1	2.22	1.57	c	3.79	3.79	3.79	-3.79	3.79	-3.79	-3.79	-3.79
5	-1	-1	1	0	0	ab	0.00	0	0	0	0	0	0	0
6	1	-1	1	7.56	8.12	bc	15.68	15.68	-15.68	15.68	-15.68	15.68	-15.68	-15.68
7	-1	1	1	6.33	6.47	ac	12.80	-12.8	12.8	12.8	-12.8	-12.8	12.8	-12.8
8	1	1	1	11.56	12.15	abc	23.71	23.71	23.71	23.71	23.71	23.71	23.71	23.71
						Y...	79.02	30.28	24.72	25.36	-24.02	22.9	16.94	14.48
						Y^2	6244.16							

Tabla 2. Toma de datos del diseño 2k – elaboración propia

La Tabla 2 muestra la metodología para la toma de mediciones relacionadas con los surfactantes empleados y los tiempos de descomposición de la espuma, simulando la ruptura de burbujas desde el punto A hasta el punto B. Con el propósito de determinar si un producto funciona mejor por sí mismo o si la mezcla de dos o más productos ofrece un mejor desempeño para mantener la estabilidad

En base a las pruebas que arroja el diseño estadístico 2k se comprueba que bajo un intervalo de confianza >90% la formulación de aditivo más viable es en donde se concentran todas las interacciones (abc), es decir, cuando los tres productos están presentes en el aditivo final se tiene un mejor resultado de estabilidad de la espuma respecto al tiempo.

Revenimiento

Lugar de la Prueba: Universidad Tecnológica de San Juan del Río

Nombre del Proyecto: Caracterización de concretos celulares con contenidos de surfactantes empleados como base del aditivo

Descripción de los Materiales (A): Concreto de mezcla Portland marca Moctezuma C-25, y agua al 25% P/P.

Descripción de los Materiales (B): Concreto de mezcla Portland marca Moctezuma C-25, y agua al 25% P/P, NF10 10%, TR19 5%, CAPB 5% todos los compuestos se adicionaron respecto a la cantidad de agua

Condiciones de Almacenamiento: Se realiza al momento de la compra del material

Procedimiento de la Prueba:

1. Se colocó el cono de revenimiento sobre una superficie plana.
2. Se llenó el cono en tres capas, golpeando cada capa 25 veces con una varilla de compactación.
3. Se retiró el cono cuidadosamente y se midió el asentamiento con una cinta métrica.

Resultados A-B: Medición del Revenimiento: 0 cm y 2 cm

Observaciones: El concreto no mostró fluidez y se mantuvo firme

Los resultados indican que el aditivo no afecta la permanencia del cemento

Resistencia del concreto

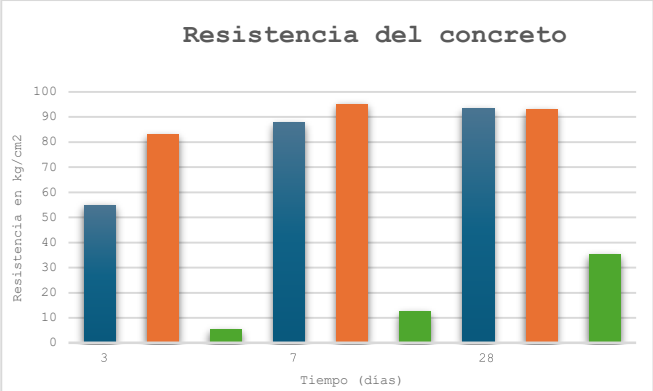


Figura 6. Comparación de la resistencia promedio de los especímenes en función del tiempo de curado, permitiendo observar la menor resistencia del concreto celular expandido – elaboración propia

En la gráfica de la figura 6. Se puede observar el comportamiento de la dureza por cada espécimen en base al tiempo en días. De acuerdo con los resultados establecidos en el análisis por triplicado el cemento celular una vez expandido no es viable para aplicaciones estructurales, ya que sólo soportó un máximo de 35 kg/cm2, en contraste con el cemento sin agregados (arena y/o grava) que presentó una resistencia más cercana a los 100kg/cm2, similar a la del cemento con aditivo pero sin ningún tipo de expansión.

Prueba de potencial de hidrógeno (pH)

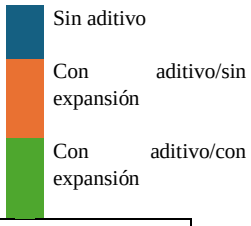
Naturaleza de la muestra	Potencial de hidrógeno
Blanco	7.7
Cemento	11.6
Cemento con aditivo	10.8

Tabla 3. Resultados de pruebas de pH – elaboración propia

El cemento se mantiene entre el rango tolerable de pH, sin decrementar tanto el valor nominal de pH.

Sonoridad

Nomenclatura de las pruebas
B: Blanco
MR: Material de referencia (espuma en el caso de las pruebas con la bocina Tronsmart y Acteck, Casetón en el caso de la bocina Google)
MC: Material concreto
MA: Material aditivo
En la siguiente experimentación se simuló una pared de los diferentes materiales para determinar la permeabilidad sonora que tenía cada superficie.



Prueba	Modo de lectura	Decibelios (dB)			
		B	MR	MC	MA
1	MODO EN VIVO	100	97.9	98.4	72.9
2	MODO SLOW	100	97.8	98.6	73.5

Tabla 4. Resultados de pruebas de sonoridad. Prueba con bocina Tronsmart T6 Mini B: Blanco, MR: Material de referencia, MC: Concreto tradicional, MA: Concreto con aditivo – elaboración propia



Figura 7. Prueba sonoridad con bocina Tronsmart T6Mini – elaboración propia

Prueba	Distancia entre punto	Decibelios (dB)			
		B	MR	MC	MA
1	10 cm	73	72.9	71.0	71.3
2	10 cm	97.9	75.5	73.4	71.9

Tabla 5. Presenta los resultados de la prueba de sonoridad con la bocina Acteck S30 y permite comparar el comportamiento acústico de los materiales evaluados - elaboración propia



Figura 8. Prueba de sonoridad con bocinas Acteck S30 – elaboración propia

Prueba	Modo de lectura	B	MR	MA
1	20 cm	110	49.3	52.9
2	20 cm	109	66.8	63.5

Tabla 6. Configuración experimental utilizada para comparar la respuesta sonora de los materiales con la bocina Acteck S30 - elaboración propia

Calorimetría

En la prueba calorimétrica se realizó una medición mediante una cámara termográfica para observar la resistencia térmica que ofrece cada material, comparando el concreto tradicional contra el concreto con el aditivo. A su vez, se utilizó la cámara para observar la capacidad calorífica del material y comprobar si este tipo de materiales ofrecen un aislamiento térmico superior al que ofrece el concreto tradicional.

Tiempo (min)	Temperatura (°C)	
	Aditivo	Blanco
0	19	19
5	24.8	45.4
10	45.2	64.5
15	54.3	77.5
20	57.3	79.2

Tabla 7. Concentra los resultados de temperatura obtenidos durante la prueba de calorimetría para el concreto con aditivo y el blanco – elaboración propia

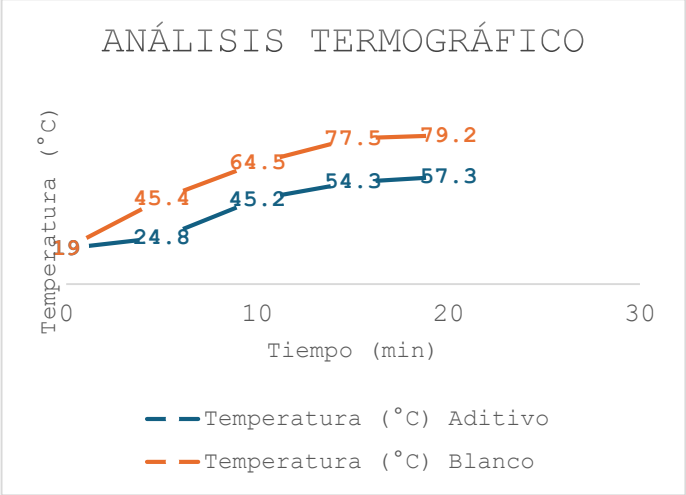


Figura 9. Gráfica comparativa de concreto tradicional vs concreto con aditivo – elaboración propia



Figura 10. Muestra la determinación termográfica de los bloques y complementa los resultados de la prueba de calorimetría – elaboración propia

Los resultados obtenidos muestran que el concreto celular presenta una menor resistencia a la compresión en comparación con el concreto convencional, lo cual coincide con estudios previos sobre materiales de baja densidad (Neville, 2002; Mindess & Young, 2001).

No obstante, se observa una mejora significativa en propiedades térmicas, lo cual concuerda con investigaciones sobre concretos ligeros con estructura celular (Wagh, 2024; Silva, 2021).

4. Reflexión Académica

El presente proyecto tiene como objetivo ofrecer una alternativa innovadora en el ámbito de la construcción mediante la propuesta de un aditivo que incremente exponencialmente la cobertura en metros cuadrados que puede ofrecer una porción de cemento. Este enfoque busca optimizar al máximo el uso del material y del agua empleada en su proceso de curado, promoviendo una utilización más eficiente y sostenible de los recursos.

Durante la ejecución del proyecto, se realizaron mediciones detalladas de diversos parámetros bajo condiciones controladas, con el fin de evaluar las propiedades fisicoquímicas de los nuevos bloques de concreto desarrollados. Entre los parámetros analizados se encuentran la resistencia a la compresión, el revenimiento, la capacidad acústica del material, así como su capacidad de aislamiento térmico, entre otros. Los resultados obtenidos posicionan al material como un tipo de concreto celular caracterizado por su baja densidad y estructura porosa (Spinney, 1993; Silva, 2021). Esta particularidad lo hace prometedor para diversas aplicaciones en la industria de la construcción. No obstante, la sustitución de ciertos materiales y la reducción del contenido total de cemento resultan en una menor tolerancia a la compresión en comparación con el concreto tradicional.

En las pruebas de resistencia realizadas con el concreto celular, se observó que los resultados de tolerancia se asemejaron más a los de otros materiales como el ladrillo rojo (50 kg/cm²), el adobe (36 kg/cm²) y la tabla roca (12 a 20 kg/cm²). Por lo tanto, se concluyó que su uso como concreto estructural queda completamente descartado.

Sin embargo, los ensayos demostraron que la capacidad calorífica adquirida por el concreto celular lo convierte en un excelente aislante térmico. Se observó una transferencia mínima de calor a través de la superficie del bloque de pruebas en comparación con el concreto tradicional, mostrando una resistencia térmica superior hasta en un 30%. Esta baja transferencia de calor sugiere aplicaciones similares a las del concreto refractario, utilizado en hornos industriales, chimeneas, la industria siderúrgica, calderas, entre otros. Esta propiedad de resistencia térmica del concreto celular amplía significativamente su abanico de aplicaciones potenciales, destacando su utilidad como recubrimiento no estructural con función de aislamiento térmico y, potencialmente, acústico, por ejemplo: recubrimiento aislante térmico para muros interiores o exteriores, recubrimiento para muros divisorios interiores, recubrimiento de superficies interiores de edificaciones entre otros.

Es de suma importancia comprender los usos adecuados para el concreto desarrollado en este proyecto. A pesar de que su aplicación estructural ha sido descartada (el principal uso del concreto

tradicional), el producto destaca notablemente como un recubrimiento eficiente. Este concreto celular ofrece propiedades superiores en términos de aislamiento térmico y acústico, lo que lo convierte en una opción viable y atractiva para recubrimientos que requieran estas características.

5. Referencias

Salinas, G. (2024). Los diferentes tipos de concreto y sus usos. Concrelab. https://www.concrelab.com/los-diferentes-tipos-de-concreto-y-sus-usos/

Osorio, D. (s.f.). Resistencia mecánica del concreto y resistencia a la compresión. 360 en Concreto. https://360enconcreto.com/blog/detalle/resistencia-mecanica-del-concreto-y-compresion/

Spinney, C. (1993). Cellular concrete (U.S. Patent No. 5,183,505). Concrete Technology Inc. https://patents.google.com/patent/US5183505A/en

Wagh, C. (2024). Experimental investigations on strength and microstructural characteristics of air-cell impregnated lightweight concrete. European Journal of Environmental and Civil Engineering.

Chica, L. (2022). Hardened properties of foamed pastes with alternative foaming agents as function of porosity. Revista Ingeniería de Construcción.

Silva, O. (2021). Propiedades y aplicaciones del concreto celular. 360 en Concreto. https://360enconcreto.com/blog/detalle/propiedades-y-aplicaciones-del-concreto-celular-1/

Autor desconocido. (2021). Concreto celular. https://www.mci-mexico.com/concreto-celular/

Neville, A. M. (2011). Properties of concrete (5th ed.). Pearson Education.

Mehta, P. K., & Monteiro, P. J. M. (2014). Concrete: Microstructure, properties, and materials (4th ed.). McGraw-Hill Education.

Kosmatka, S. H., Kerkhoff, B., & Panarese, W. C. (2008). Design and control of concrete mixtures (15th ed.). Portland Cement Association.

Mindess, S., Young, J. F., & Darwin, D. (2003). Concrete (2nd ed.). Prentice Hall.

Ammar, M. A., Chegenizadeh, A., Budihardjo, M. A., & Nikraz, H. (2024). The effects of crystalline admixtures on concrete permeability and compressive strength: A review. Buildings, 14(9), 3000. https://doi.org/10.3390/buildings14093000

Kujawa, W., Olewnik-Kruszkowska, E., & Nowaczyk, J. (2021). Concrete strengthening by introducing polymer-based additives into the cement matrix: A mini review. Materials, 14(20), 6071. https://doi.org/10.3390/ma14206071

The Constructor. (2023). Concrete admixtures (additives): Types, selection, properties, uses. https://www.theconstructor.org

Autor desconocido. (2017). Aditivos inclusores de aire. https://www.probacons.com/aditivosinclusores-de-aire/

ONNCCE. (2004). NMX-C-021-ONNCCE-2004: Cemento para albañilería (mortero)—Especificaciones y métodos de prueba.

Portland Cement Association. (s.f.). Concrete slump test. https://www.cement.org/learn/concrete-technology/concrete-construction/concrete-slump-test

Neville, A. M. (2002). Properties of concrete. Cement and Concrete Research, 32(5), 773–783. https://doi.org/10.1016/S0008-8846(01)00726-5

IMCYC. (2004). Pruebas del concreto CB: Pruebas de revenimiento y compresión.

Portland Cement Association. (s.f.). Tensile strength of concrete: Importance and testing. https://www.cement.org/learn/concrete-technology/concrete-construction/tensile-strength-testing

ONNCCE. (2014). NMX-C-155-ONNCCE-2014: Correlación de la resistencia a la compresión entre cubos y cilindros.

Portland Cement Association. (s.f.). Concrete fatigue testing: Understanding material endurance. https://www.cement.org/learn/concrete-technology/concrete-construction/fatigue-testing

Mindess, S., & Young, J. F. (2001). Fatigue behavior of concrete: A review. Cement and Concrete Research, 31(2), 337–346. https://doi.org/10.1016/S0008-8846(00)00477-8

ASTM International. (2011). ASTM F710-11: Standard practice for preparing concrete floors to receive resilient flooring. ASTM International.

Síntesis y caracterización de películas bioplásticas a partir de pectina de *Citrus sinensis* y extracto fenólico de *Bougainvillea glabra*

Emilio Cruz Barrón | División de Química y Energía Sostenible, Universidad Tecnológica de San Juan del Río | emiliocb.qi24@utsjr.edu.mx

Alexandra Laguna García | División de Química y Energía Sostenible, Universidad Tecnológica de San Juan del Río | alexandralg.qi24@utsjr.edu.mx

Mayte Mendoza Márquez | División de Química y Energía Sostenible, Universidad Tecnológica de San Juan del Río | maytemm.qi24@utsjr.edu.mx

Andrés Dector Espinoza | SECIHTI - División de Química y Energía Sostenible, Universidad Tecnológica de San Juan del Río | andres_dector@live.com

Julio Cesar Lemus Hernández | División de Química y Energía y Sostenible, Universidad Tecnológica de San Juan del Río | jclemush@utsjr.edu.mx,

Sandra Soto Álvarez | División de Química y Energía y Sostenible, Universidad Tecnológica de San Juan del Río | ssotoa@utsjr.edu.mx

Juan Manuel Olivares Ramírez | División de Química y Energía y Sostenible, Universidad Tecnológica de San Juan del Río | jmolivaresr@utsjr.edu.mx

Raúl García García | División de Química y Energía y Sostenible, Universidad Tecnológica de San Juan del Río | rgarciag@utsjr.edu.mx

Diana María Amaya Cruz | Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro, Campus Amealco | diana.amaya@uaq.mx

Zulma Flor Estrella Chavero | División de Química y Energía y Sostenible, Universidad Tecnológica de San Juan del Río | zfestrellac@utsjr.edu.mx

Resumen

El incremento en la producción de plásticos derivados del petróleo ha generado una problemática ambiental significativa debido a su persistencia y baja tasa de reciclaje. En respuesta, los biopolímeros obtenidos a partir de residuos agroindustriales han emergido como alternativas sostenibles para la producción de materiales biodegradables. El presente estudio analiza la síntesis y caracterización preliminar de películas bioplásticas elaboradas a partir de pectina extraída de cáscara de naranja (Citrus × sinensis) y extracto fenólico de Bougainvillea glabra. La metodología experimental incluyó extracción ácida de pectina, formulación de películas con diferentes concentraciones de plastificante y extracto vegetal, y caracterización mediante espectroscopía FT-IR, análisis UV-Vis y determinación de propiedades físicas. Los resultados preliminares sugieren que la variación en la composición de la matriz polimérica influye en las propiedades estructurales y ópticas de las películas obtenidas. La investigación evidencia el potencial de los residuos agroindustriales como materia prima para el desarrollo de biopolímeros sostenibles dentro del campo de la ingeniería química.

Palabras clave: biopolímeros, residuos agroindustriales, extracción de pectina, películas biodegradables, materiales sustentables.

Abstract

The increase in the production of petroleum-derived plastics has generated a significant environmental issue due to their persistence and low recycling rate. In response, biopolymers obtained from agro-industrial residues have emerged as sustainable alternatives for the production of biodegradable materials. This study analyzes the synthesis and preliminary characterization of bioplastic films prepared from pectin extracted from orange peel (Citrus × sinensis) and phenolic extract of Bougainvillea glabra. The experimental methodology included acidic extraction of pectin, formulation of films with different concentrations of plasticizer and plant extract, and characterization through FT-IR spectroscopy, UV-Vis analysis, and determination of physical properties. Preliminary results suggest that variations in the composition of the polymeric matrix influence the structural and optical properties of the obtained films. The research highlights the potential of agro-industrial residues as raw materials for the development of sustainable biopolymers within the field of chemical engineering.

Keywords: biopolymers, agro-industrial residues, pectin extraction, biodegradable films, sustainable materials.

Introducción

La producción global de plásticos ha superado los 400 millones de toneladas anuales, mientras que las tasas de reciclaje se mantienen por debajo del 10 %, lo que ha generado acumulación de residuos plásticos en ecosistemas terrestres y marinos (UNEP, 2023). En México, los plásticos de un solo uso representan aproximadamente el 50 % del total de residuos plásticos generados cada año (SEMARNAT, 2023).

Debido a su elevada estabilidad química y resistencia estructural, muchos polímeros sintéticos derivados del petróleo presentan tiempos de degradación superiores a cien años.

Esta situación ha impulsado el desarrollo de materiales biodegradables basados en biopolímeros obtenidos de fuentes renovables.

Entre estos materiales, la pectina ha sido ampliamente estudiada debido a su capacidad para formar matrices poliméricas biodegradables. La pectina es un heteropolisacárido rico en ácido galacturónico presente en residuos cítricos y otros subproductos agroindustriales, lo que la convierte en una materia prima abundante y de bajo costo (Munarin et al., 2012).

Además, diversos estudios han demostrado que la incorporación de compuestos fenólicos provenientes de extractos vegetales puede modificar las propiedades funcionales de los biopolímeros, aportando actividad antioxidante y antimicrobiana (Sapper & Chiralt, 2018).

La presente investigación explora la síntesis de películas bioplásticas mediante el aprovechamiento de residuos orgánicos, contribuyendo al desarrollo de materiales sostenibles alineados con los principios de economía circular.

Marco Metodológico

El estudio se desarrolló bajo un enfoque experimental, orientado a la síntesis y caracterización de películas biopoliméricas.

Extracción de pectina

La pectina fue extraída a partir de cáscaras de naranja mediante hidrólisis ácida controlada. Esta extracción empleó ácido acético con el propósito de romper los enlaces de la protopectina insoluble unida a la celulosa, y de esta forma liberar la pectina soluble. Posteriormente, se realizó un proceso de filtración y precipitación alcohólica para recuperar el biopolímero. Por otra parte, la solución residual obtenida de vinagre, agua y etanol fue tratada con la finalidad de desecharse y que cause el menor impacto ambiental posible; el tratamiento consistió en neutralizar el ácido residual con hidróxido de calcio a un pH neutro para un posterior desecho. Sin embargo, se consideró que, si el etanol persistía en la solución residual, ésta tenía que ser llevada a residuos.

Obtención del extracto vegetal

Las flores de Bougainvillea glabra fueron sometidas a un proceso de maceración hidroalcohólica con el fin de obtener compuestos fenólicos con potencial actividad antioxidante.

Síntesis de películas bioplásticas

Las películas se prepararon utilizando pectina como matriz estructural y glicerina como plastificante. Se formularon tres composiciones con diferentes proporciones de extracto vegetal.

Caracterización

Las películas obtenidas fueron caracterizadas mediante: medición de espesor con micrómetro, espectroscopía FT-IR para análisis de grupos funcionales, espectrofotometría UV-Vis para evaluar propiedades ópticas, termobalanza para análisis térmico, determinación gravimétrica de humedad.

Avances y Hallazgos

Hallazgos preliminares

Durante la fase experimental se logró obtener tres formulaciones de películas bioplásticas con diferentes concentraciones de extracto vegetal y con espesores esperados que van de los 0.18 a 0.2 mm totales. Además, mostraron ser lisas y sin presencia de grumos.

Los datos preliminares sugieren que la variación en la composición de la matriz polimérica afecta la estructura y propiedades físicas del material. Se observó que las películas con mayor contenido de plastificante presentan mayor flexibilidad, mientras que aquellas con mayor concentración de pectina muestran mayor rigidez estructural.

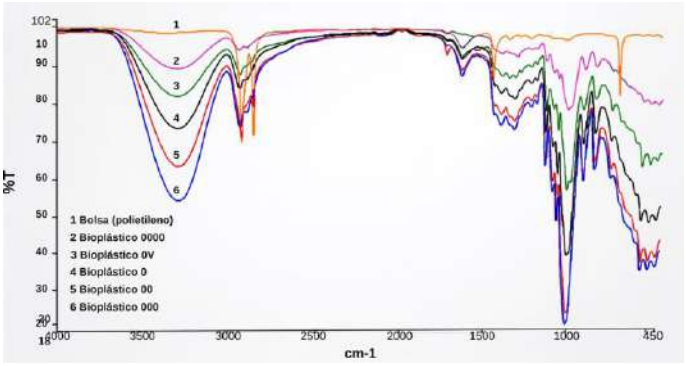


Ilustración 1. Análisis de FTIR para las películas obtenidas y su comparación con una bolsa de plástico comercial.

El análisis FT-IR evidenció bandas características asociadas a grupos hidroxilo y carbonilo propios de la estructura de la pectina, lo que confirma la presencia del biopolímero en la matriz del material. Asimismo, la incorporación del extracto vegetal generó ligeros cambios en la región espectral asociada a enlaces fenólicos.

Finalmente, para análisis posteriores respecto a la caracterización de las películas obtenidas en este trabajo, se realizarán análisis microbiológicos de recuento de hongos y levaduras usando Agar Papa Dextrosa (PDA), así como la enumeración de coliformes totales en medios selectivos. Estos análisis ayudarán a determinar posible contaminación ambiental, la higiene durante el proceso e incluso, la posible alteración de productos. En este caso, será con la finalidad de demostrar la efectividad de los materiales empleados en la elaboración de las películas. Los análisis microbiológicos serán realizados.

Reflexión Académica

El desarrollo del proyecto permitió comprender que el diseño de biopolímeros sostenibles requiere integrar conocimientos de química de polímeros, ingeniería de procesos y ciencia de materiales.

Inicialmente, el enfoque del estudio se centró en la obtención de películas bioplásticas a partir de pectina. Sin embargo, durante el proceso experimental surgió la necesidad de incorporar extractos vegetales que permitieran mejorar las propiedades funcionales del material.

Este proceso evidenció la importancia de considerar la interacción entre componentes dentro de la matriz polimérica, así como la influencia de variables como concentración de plastificante, método de secado y proporción de biopolímero.

Desde una perspectiva de ingeniería química, el proyecto también permitió reflexionar sobre el potencial de los residuos agroindustriales como materias primas para la producción de biomateriales. La utilización de cáscara de naranja como fuente de pectina representa una estrategia de valorización de residuos que puede contribuir a la reducción de impactos ambientales asociados a la industria de los plásticos.

Asimismo, la investigación permitió identificar nuevas líneas de trabajo relacionadas con la caracterización mecánica del material, el análisis de biodegradabilidad y la evaluación de su potencial aplicación en empaques sostenibles.

En este sentido, el proyecto no solo contribuye al desarrollo de biopolímeros experimentales, sino que también promueve una reflexión sobre el papel de la ingeniería química en la transición hacia materiales más sostenibles.

Referencias

Espitia, P. J. P., Du, W. X., Avena-Bustillos, R. J., Soares, N. F. F., & McHugh, T. H. (2014). Bioactive edible films and coatings: From concepts to applications. Food Hydrocolloids, 39, 1–15. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.12.011

Espitia, P. J. P., Du, W. X., Avena-Bustillos, R. J., Soares, N. F. F., & McHugh, T. H. (2014). Bioactive edible films and coatings: From concepts to applications. Food Hydrocolloids, 39, 1–15. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2013.12.011

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2023). Midiendo la economía circular en México. INEGI. https://rde.inegi.org.mx/index.php/2023/01/04/midiendo-la-economia-circular-en-mexico/

Munarin, F., Tanzi, M. C., & Petrini, P. (2012). Advances in biomedical applications of pectin gels. International Journal of Biological Macromolecules, 51(4), 681–689. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2012.07.002

Riaz, A., Lei, S., Akhtar, H. M. S., Wan, P., Chen, D., Jabbar, S., Zeng, X., & Tan, S. (2021). Pectin-based biodegradable films: A review. International Journal of Biological Macromolecules, 186, 47–59. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.06.196

Sapper, M., & Chiralt, A. (2018). Starch-based coatings for preservation of fruits and vegetables. Coatings, 8(5), 152. https://doi.org/10.3390/coatings8050152

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2023). Inventario nacional de fuentes de contaminación plástica. Gobierno de México. https://dsiappsdev.semarnat.gob.mx/datos/portal/publicaciones/2023/NFCP_2023.pdf

United Nations Environment Programme. (2023). Turning off the tap: How the world can end plastic pollution. UNEP. https://www.unep.org/resources/report/turning-off-tap

Desarrollo de una pintura ecológica basada en mucílago de *Opuntia ficus-indica* y biocargas minerales de residuos orgánicos

Zulma Flor Estrella Chavero | Universidad Tecnológica de San Juan del Río | zfestrellac@utsjr.edu.mx

Anahí Bocanegra Hernández | Universidad Tecnológica de San Juan del Río | anahibh.qi24@utsjr.edu.mx

Ángela Samantha Martínez Chaparro | Universidad Tecnológica de San Juan del Río | samanthamc.qi24@utsjr.edu.mx

Andrea Abigail Serrano Vázquez | Universidad Tecnológica de San Juan del Río | abigailsv.qi24@utsjr.edu.mx

Andrés Dector Espinoza | SECIHTI - División de Química y Energía Sostenible, Universidad Tecnológica de San Juan del Río | andres_dector@live.com

Hada Concepción Oaxaca Jiménez | Universidad Tecnológica de San Juan del Río | acoaxacaj@utsjr.edu.mx

Sandra Soto Álvarez | Universidad Tecnológica de San Juan del Río | ssotoa@utsjr.edu.mx

Juan Manuel Olivares Ramírez | Universidad Tecnológica de San Juan del Río | jmolivaresr@utsjr.edu.mx

Raúl García García | Universidad Tecnológica de San Juan del Río | rgarciag@utsjr.edu.mx

Francisco J. Jiménez-Grajales | Centro de las Artes de Querétaro, Centro Cultural UNAM Querétaro | pacojgr4r@gmail.com

Resumen

Este artículo presenta el desarrollo preliminar de una pintura ecológica formulada mediante la valorización de residuos orgánicos. Se empleó mucílago de nopal (Opuntia ficus-indica) como aglutinante natural, carbonato de calcio obtenido de cáscara de huevo como carga mineral y pigmentos provenientes de betabel, jamaica, espinaca, zanahoria y cúrcuma como colorantes. El estudio sigue un enfoque experimental y evalúa viscosidad, textura, adherencia, tiempo de secado y estabilidad preliminar del recubrimiento. Las observaciones iniciales indican que el mucílago favorece la cohesión y la dispersión homogénea de los sólidos, mientras que el carbonato de calcio contribuye a la opacidad y estabilidad estructural después del secado. Los pigmentos naturales generaron coloraciones funcionales, aunque con distinta intensidad. Estos avances respaldan el potencial del aprovechamiento de residuos para desarrollar recubrimientos alternativos y orientar estudios posteriores de durabilidad y estabilidad a largo plazo.

Palabras clave: pintura ecológica, mucílago de nopal, cáscara de huevo, carbonato de calcio, economía circular

Abstract

This article presents the preliminary development of an eco-friendly paint formulated through the valorization of organic residues. Cactus mucilage (Opuntia ficus-indica) was used as a natural binder, calcium carbonate obtained from eggshell waste as a mineral filler, and pigments derived from beetroot, hibiscus, spinach, carrot, and turmeric as colorants. The study follows an experimental approach and evaluates viscosity, texture, adhesion, drying time, and preliminary coating stability. Initial observations indicate that cactus mucilage favors cohesion and homogeneous dispersion of solids, while eggshell-derived calcium carbonate contributes to opacity and structural stability after drying. Natural pigments produced functional colorations, although their intensity varied according to the plant source. These findings support the technical potential of waste valorization for the development of alternative coatings and provide a basis for further durability, mechanical, and long-term stability studies.

Keywords: eco-friendly paint, cactus mucilage, eggshell, calcium carbonate, circular economy

Introducción

La búsqueda de materiales con menor impacto ambiental ha impulsado el aprovechamiento de recursos renovables y residuos orgánicos en el desarrollo de nuevos materiales. Dentro de este enfoque, el mucílago de nopal ha mostrado interés por su contenido de polisacáridos hidrofílicos y por sus propiedades de formación de película, características que permiten considerarlo como un aglutinante de origen natural (Rodríguez-González et al., 2021; D'Agostino et al., 2023; Teferi et al., 2025).

De manera complementaria, la cáscara de huevo constituye una fuente de carbonato de calcio que puede recuperarse y emplearse como carga mineral en materiales compuestos y formulaciones de recubrimientos. Su valorización permite aprovechar un residuo de uso cotidiano y reducir la necesidad de incorporar cargas obtenidas exclusivamente de materias primas vírgenes (Cree & Rutter, 2019; Skórczewska et al., 2022; Azarian et al., 2022). Asimismo, los residuos vegetales pueden utilizarse como fuente de pigmentos naturales, integrando un enfoque de economía circular al proceso.

A partir de este contexto, el proyecto plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿en qué medida una formulación elaborada con mucílago de nopal, carbonato de calcio procedente de cáscara de huevo y pigmentos vegetales puede generar un recubrimiento funcional con propiedades preliminares adecuadas de viscosidad, textura, adherencia, secado y estabilidad? El objetivo del trabajo es desarrollar y evaluar de manera preliminar una pintura ecológica basada en estas materias primas, priorizando el aprovechamiento integral de residuos y la generación de subproductos útiles.

El estudio se encuentra en una fase de evaluación experimental preliminar. Hasta el momento se han preparado y probado formulaciones en las que el mucílago funciona como aglutinante principal, la cáscara de huevo molida aporta la fracción mineral y los pigmentos vegetales proporcionan color. Los avances obtenidos permiten identificar tendencias favorables en la cohesión de la mezcla, la opacidad del recubrimiento y el aprovechamiento de residuos, aunque todavía se requieren pruebas de mayor duración para establecer su desempeño bajo diferentes condiciones ambientales.

Marco Metodológico

Enfoque y diseño de la investigación

El trabajo se desarrolló bajo un enfoque experimental de carácter preliminar, orientado al diseño, preparación y evaluación de una formulación de pintura ecológica elaborada con materias primas naturales y residuos valorizables. Este enfoque permite observar el comportamiento de los componentes durante la formulación y registrar cambios en propiedades como viscosidad, textura, adherencia, tiempo de secado y estabilidad inicial del recubrimiento.

El fundamento del diseño se basa en la función que puede desempeñar cada materia prima. El mucílago de Opuntia ficus-indica se incorpora por su capacidad viscosante y aglutinante; la cáscara de huevo se utiliza como fuente de carbonato de calcio para aportar sólidos y estructura; y los residuos vegetales se aprovechan como fuentes de color. La integración de estos componentes busca relacionar el desempeño técnico del recubrimiento con un modelo de aprovechamiento responsable de residuos.

Memoria y contexto del aprovechamiento 360°

Durante el desarrollo del proyecto se amplió el enfoque inicial de formular únicamente una pintura alternativa hacia un modelo de aprovechamiento integral de los recursos. Además de la extracción acuosa del mucílago a partir de cladodios frescos, se recuperó el líquido residual generado durante la cocción del nopal destinado a la preparación de alimentos. Este residuo, conocido comúnmente como "baba de nopal", se aprovechó como parte de la formulación en lugar de desecharse. Los nopales empleados como materia prima experimental no estaban destinados al consumo humano ni animal.

La misma lógica se aplicó a otros residuos del proceso: la cáscara de huevo se destinó a la obtención de la carga mineral, mientras que su membrana interna se recuperó como un subproducto con contenido proteico. Asimismo, el excedente de nopal se consideró para la elaboración de bebidas funcionales. Estas acciones dieron origen al modelo sustentable 360°, cuyo propósito es reducir al mínimo el descarte de materias primas y buscar usos alternativos para las fracciones generadas durante el proceso.

Métodos

1. Recuperación y extracción del mucílago de nopal. Se trabajó con cladodios de Opuntia ficus-indica mediante trituración, extracción acuosa y filtración para separar la fracción polisacarídica soluble. También se aprovechó el líquido residual generado durante la cocción del nopal, recuperando el mucílago que normalmente se desecha.

2. Obtención de la carga mineral. Las cáscaras de huevo fueron lavadas, secadas y sometidas a molienda mecánica hasta obtener un material finamente dividido rico en carbonato de calcio, utilizado como carga mineral en la formulación.

3. Preparación de pigmentos naturales. Se emplearon betabel, jamaica, espinaca, zanahoria y cúrcuma. Las materias primas vegetales fueron sometidas a deshidratación y molienda para obtener polvos con capacidad colorante.

4. Formulación y evaluación preliminar. Los componentes preparados se incorporaron mediante agitación hasta obtener una mezcla homogénea. Posteriormente se observaron y registraron la viscosidad, textura, capacidad de adherencia, tiempo de secado y estabilidad preliminar del recubrimiento.

Técnicas e instrumentos

Las principales técnicas empleadas fueron extracción acuosa, filtración, lavado, secado, deshidratación, molienda, agitación mecánica y aplicación del recubrimiento para su evaluación visual y funcional. Para el control experimental se utilizó material volumétrico, balanza analítica, termómetro, sistema de agitación mecánica y horno de secado. El registro de variables se realizó durante la preparación de las materias primas, la formulación y las pruebas preliminares del producto.

Fases de implementación

1. Preparación de materias primas. Recuperación del mucílago, acondicionamiento de la cáscara de huevo y obtención de pigmentos vegetales.

2. Formulación. Incorporación y mezcla de los componentes hasta obtener un recubrimiento con apariencia homogénea.

3. Evaluación preliminar. Observación de viscosidad, textura, adherencia, secado, opacidad y estabilidad inicial de las formulaciones.

4. Valorización integral. Identificación de usos alternativos para fracciones y excedentes del proceso dentro del modelo sustentable 360°.

Avances y Hallazgos

Hallazgos preliminares

Los ensayos iniciales permitieron obtener una formulación funcional de pintura ecológica en la que el mucílago de nopal actúa como aglutinante principal. Los registros preliminares muestran que el mucílago favorece la dispersión de los sólidos dentro de la matriz líquida y aporta una consistencia adecuada para la preparación del recubrimiento. La incorporación del carbonato de calcio procedente de cáscara de huevo contribuyó a mejorar la opacidad y la estabilidad estructural de la película formada después del secado.

Los pigmentos naturales permitieron generar coloraciones funcionales en la formulación; sin embargo, se observó variación en la intensidad cromática según la materia prima vegetal utilizada. Este comportamiento representa un punto importante para las siguientes etapas, ya que será necesario definir condiciones de procesamiento que permitan obtener colores más uniformes y estables.

Categoría y hallazgo preliminar
Mucílago de nopal. Favoreció la cohesión de la mezcla y la dispersión homogénea de los sólidos; se empleó como aglutinante natural.
$CaCO_3$ de cáscara de huevo. Contribuyó a la opacidad del recubrimiento y a la estabilidad estructural de la película después del secado.
Pigmentos vegetales. Generaron coloraciones funcionales, aunque la intensidad varió según el tipo de materia prima utilizada.
Modelo sustentable 360°. Permitió identificar alternativas de aprovechamiento para el líquido residual de nopal, excedentes vegetales y membrana de cáscara de huevo.

Tabla 1. Hallazgos preliminares por componente de la formulación

Fuente: elaboración propia con base en los ensayos preliminares del proyecto.

Dificultades y retos encontrados

El principal reto observado hasta el momento es la variabilidad de la intensidad de los pigmentos naturales. Además, la evaluación disponible corresponde a una etapa preliminar, por lo que todavía es necesario analizar propiedades mecánicas, durabilidad, estabilidad a largo plazo y comportamiento del recubrimiento frente a diferentes condiciones ambientales antes de establecer conclusiones definitivas sobre su desempeño.

En términos de sostenibilidad, los avances muestran un patrón de aprovechamiento de residuos dentro del modelo propuesto. La recuperación del mucílago presente en el líquido residual de cocción y el uso de la cáscara de huevo como fuente mineral permiten transformar materiales que normalmente serían desechados en insumos con una función específica dentro del producto.

Reflexión Académica

El desarrollo del proyecto permitió comprender que la innovación en ingeniería química no se limita a la síntesis de nuevos materiales, sino que también implica rediseñar procesos bajo criterios de sostenibilidad. El planteamiento inicial se enfocaba únicamente en formular una pintura alternativa; sin embargo, el trabajo experimental llevó a ampliar la propuesta hacia un modelo de aprovechamiento integral de recursos, dando lugar al concepto de aprovechamiento sustentable 360°.

Este cambio representó pasar de una visión centrada en un solo producto a una perspectiva más amplia, en la que se consideran la eficiencia en el uso de las materias primas, la reducción de residuos y la generación de subproductos con valor agregado. Desde la ingeniería química, la experiencia permitió integrar conocimientos sobre materiales, operaciones de acondicionamiento, formulación, control de variables y principios de economía circular.

Los avances también muestran que la viabilidad de una innovación no depende únicamente de que una formulación funcione en laboratorio. Para valorar su aplicación futura será necesario considerar su escalabilidad, costos de producción, durabilidad, estabilidad y aceptación del producto. Por ello, las siguientes fases deberán incorporar pruebas más específicas y comparables que permitan determinar el desempeño del recubrimiento con mayor precisión.

Como proyección, el proyecto abre la posibilidad de incorporar análisis de ciclo de vida, evaluación de costos de producción y pruebas de durabilidad. De esta manera, la investigación no solo aporta una formulación experimental de pintura ecológica, sino que también contribuye a reflexionar sobre el papel de la ingeniería química en el desarrollo de tecnologías que aprovechen residuos y reduzcan el impacto ambiental de los procesos.

Referencias

Azarian, M. H., Torkamany, M. J., & Moradi, M. (2022). Biogenic calcium carbonate derived from shells for advanced material applications. Frontiers in Materials, 9, 1024977. https://doi.org/10.3389/fmats.2022.1024977

Cree, D., & Rutter, A. (2019). Sustainable bio-based calcium carbonate from eggshell waste. Journal of Cleaner Production, 215, 1042–1050. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.179

D'Agostino, G., Dal Poggetto, G., & Ricciardi, M. R. (2023). Binding properties of cactus mucilage in sustainable coatings and mortars. Sustainability, 15(19), 14487. https://doi.org/10.3390/su151914487

Rodríguez-González, F., González-Laredo, R. F., Rocha-Guzmán, N. E., Gallegos-Infante, J. A., Moreno-Jiménez, M. R., & Gutiérrez-Uribe, J. A. (2021). Molecular characteristics and rheological behavior of mucilage from Opuntia ficus-indica. Carbohydrate Polymers, 272, 118468. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118468

Skórczewska, K., Błażejewska, W., & Paukszta, D. (2022). Waste eggshells as natural filler for polymer materials. Polymers, 14(20), 4372. https://doi.org/10.3390/polym14204372

Teferi, D. A., Kebede, B., & Tadesse, M. (2025). Cactus-based biopolymers: Sustainable materials and applications. Polymers, 17, 1124. https://doi.org/10.3390/polym17051124

Evaluación de la actividad antibacteriana de los biosurfactantes producidos por Bacillus spp. frente a Escherichia coli en espinaca (Spinacia oleracea)

María José Ibarra-Bonilla | Facultad de Química - UAQ | mariajoseibarrabonilla@gmail.com

Juan Ramiro Pacheco Aguilar | Facultad de Química UAQ | juanramiro29@yahoo.com.mx

Resumen

La inocuidad de las hortalizas frescas es un desafío, pues no existe un proceso que elimine eficazmente los patógenos presentes desde el cultivo. En este estudio se evaluó la capacidad antagonista de Bacillus subtilis Q11, Bacillus methylotrophicus Fr4B12 y un aislado de arúgula (AR03) frente a tres cepas de Escherichia coli. Los ensayos de confrontación mostraron inhibición del crecimiento bacteriano, mientras que los lipopéptidos extraídos evidenciaron mayor efecto a 2100 µg, con actividad bacteriostática en suspensión. Asimismo, se analizó el impacto de los biosurfactantes sobre la formación de biopelículas in vitro y en hojas de espinaca, observándose inhibiciones del 50–95 % y 24–72 %, respectivamente, además de diferencias significativas en la producción de biopelículas y actividad bactericida, 24-72 horas de exposición. El análisis FTIR del biosurfactante AR03 confirmó la presencia de grupos orgánicos asociados a lipopéptidos. En conclusión, los biosurfactantes producidos por Bacillus poseen un potencial antimicrobiano aplicable a la industria alimentaria.

Palabras clave: Biocontrol, Biopelículas, FTIR, Lipopéptidos, Reto microbiano.

Abstract

The safety of fresh vegetables represents a challenge, as there is no process that effectively eliminates pathogens present from cultivation onward. In this study, the antagonistic capacity of Bacillus subtilis Q11, Bacillus methylotrophicus Fr4B12, and an arugula isolate (AR03) was evaluated against three strains of Escherichia coli. Confrontation assays demonstrated inhibition of bacterial growth, while the extracted lipopeptides exhibited a greater effect at 2100 µg, showing bacteriostatic activity in suspension. Furthermore, the impact of biosurfactants on biofilm formation was analyzed both in vitro and on spinach leaves, revealing inhibitions of 50–95% and 24–72%, respectively, as well as significant differences in biofilm production and bactericidal activity after 24–72 hours of exposure. FTIR analysis of the AR03 biosurfactant confirmed the presence of organic groups associated with lipopeptides. In conclusion, the biosurfactants produced by Bacillus exhibit antimicrobial potential applicable to the food industry.

Keywords: Biocontrol, Biofilms, FTIR, Lipopeptides, Microbial challenge

1. Introducción

Los alimentos mínimamente procesados incluyen carne, pescado, frutas y verduras recién cortados, caracterizados por conservar la calidad nutricional y organoléptica de los frescos, además de estar listos para consumo (Santos et al., 2023; Finger et al., 2023). Durante su procesamiento solo se reduce moderadamente la microbiota (Santos et al., 2023), lo que los hace vulnerables a contaminación en toda la cadena de producción (Gomes et al., 2023; Mendoza et al., 2022). Para mitigar riesgos se emplean desinfectantes físicos, como oxígeno o agua electrolizada, y químicos como ácido peracético e hipoclorito de sodio (Mendoza et al., 2022). Sin embargo, el cloro, aunque ampliamente usado, presenta limitaciones y genera subproductos dañinos como cloraminas (Mendoza et al., 2022; Deng et al., 2020; Niemira y Fan, 2014).

El uso continuo de antimicrobianos ha favorecido la resistencia microbiana y la formación de biopelículas, estructuras que protegen a patógenos como Escherichia, Salmonella, Listeria y Staphylococcus (El-Nour et al., 2023; Yaron y Römling, 2014; Mendoza et al., 2022). En hojas, las poblaciones epifitas pueden interactuar de forma antagonista, inhibiendo otras especies mediante competencia o metabolitos antimicrobianos, destacando los lipopéptidos bacterianos (Rodríguez-Chávez et al., 2018; Milijašević-Marčić et al., 2018). Estos compuestos, producidos principalmente por Bacillus, poseen actividad contra bacterias, hongos y virus, además de afectar biopelículas e inducir respuestas en plantas (Adnan et al., 2021; Oni et al., 2022). El presente trabajo evalúa la actividad antimicrobiana de lipopéptidos de Bacillus frente a biopelículas de E. coli en hojas de espinaca (Spinacia oleracea).

2. Marco Metodológico

2.1 CEPAS

Se empleó una cepa de Escherichia coli (ATCC 25922) y tres pertenecientes al género de Bacillus, Bacillus subtilis Q11, un producto comercial formulado y elaborado por la empresa Quimia, así como Bacillus methylotrophicus Fr4B12, un aislado de manzana de una huerta experimental del municipio de Amealco, Santiago de Querétaro (20°09´LN, 100°07 LO y 2279 msnm) (López González et al., 2019) y Bacillus spp. AR03 un aislado epífito de arúgula de un huerto agroecológico del municipio de Corregidora, Santiago de Querétaro. Ambos cultivos para su activación se inocularon en caldo nutritivo (CN), para posteriormente conservarlas en glicerol (20%) a -20°C. Las cepas se prepararon de acuerdo a lo descrito en el material suplementario.

2.2 EXTRACCIÓN DE BIOSURFACTANTES

Se utilizó la metodología descrita por (Rodríguez-Chávez et al., 2018; Cao et al., 2009), con modificaciones en primera instancia se inocularon las especies de Bacillus subtilis Q11, Bacillus methylotrophicus Fr4B12 y Bacillus spp. AR03 en 10 mL de CST (BD BIOXON, México), uno por cada cultivo, se incubaron a 35°C a 140 rpm durante 18 horas, inóculo primario; posteriormente se inoculó cada cultivo en 1 L de CST, se incubó a 30°C a 140 rpm por 72 horas para Bacillus spp. AR03 y 120 horas para las especies de Bacillus subtilis Q11, Bacillus methylotrophicus Fr4B12. Transcurrido el tiempo de incubación se removieron las células mediante centrifugación 2706 xg a 10 °C por 35 minutos en una microcentrífuga Rotofix 32 ATM (Andreas Hettich GmbH & Co.KG, Tuttlingen, Alemania).

El sobrenadante recolectado se llevó a pH 2, usando ácido clorhídrico (HCl) al 6N y se refrigeró a 4°C durante una noche. El precipitado ácido que se obtuvo se recuperó por centrifugación 2706 xg a 10° C por 30 minutos, la pastilla colectada se lavó dos veces con agua acidificada con HCl (pH 2) y se secó a temperatura ambiente (25-30 °C) durante 24 horas. El extracto crudo de lipopéptidos fue extraído de la pastilla utilizando 60 mL de metanol anhidro (Meyer, México) y concentrado mediante un evaporador al vacío, el residuo seco y resuspendido en PBS (Rodríguez-Chávez et al., 2018), resultante se utilizó para los ensayos. El extracto producido por Bacillus spp. AR03 se identificó de acuerdo a lo descrito en material suplementario.

2.3 ENSAYOS DE ANTAGONISMO CON LIPOPÉPTIDOS Y DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACIÓN MÍNIMA INHIBITORIA.

Para realizar el siguiente ensayo se utilizó la metodología descrita por (Pinchuk et al., 2001; Ministerio de salud de Perú; 2002; Reisner et al. 2006; Moore et al., 2013; Nair et al., 2018; Kim & Kang, 2020). La actividad inhibitoria del biosurfactante se evaluó mediante discos de papel filtro estériles, se añadieron diversas concentraciones del lipopéptidos (140-2100 µg) en cada disco, una vez seco el disco se colocaron sobre un estriado de cada una de la cepas de E. coli (ATCC 11229, 25922 y 35218); utilizando suspensiones de 10^6 UFC/ mL. Las placas se incubaron durante 24 horas a 30°C y se incluyó un control de reactivo del solvente utilizado (metanol). Posteriormente se midieron las zonas de inhibición y se identificó a la concentración más baja que inhibe el crecimiento bacteriano, como la concentración mínima inhibitoria; como control positivo se utilizó el antibiótico ceftriaxona (30 µg).

2.4 ENSAYOS DE RETO MICROBIANO

Para realizar el ensayo de reto microbiano se utilizó la metodología descrita en la NMX-BB-040-SCFI-1999, con modificaciones (Tomičić et al., 2023; Banach et al., 2020). Para ello en tubos Eppendorf (1,5 mL) se depositó una suspensión 1 de mL que contenía una concentración de 10^8 UFC/ mL, para cada una de las cepas de E. coli. Después, se añadieron los lipopéptidos desde 140 hasta 2100 µg a cada suspensión, posteriormente se llevó a vórtice durante 60 segundos, para después dejar reposar durante 10 minutos. Pasado el tiempo, se realizaron diluciones seriadas hasta obtener un título de 10^4 UFC/mL, sembrando alícuotas (100 µL) en placas de AST mediante extensión por superficie. Las placas se incubaron durante 24 horas a 36°C y transcurrido este tiempo se contaron las colonias. Como control positivo se utilizó plata coloidal (0,35 µl).

2.5 EFECTO DEL SURFACTANTE EN LA CAPACIDAD DE FORMACIÓN DE BIOPELÍCULAS HOJAS DE ESPINACA (Spinacia oleracea)

Para el ensayo de la formación de biopelículas bacterianas en hojas de espinaca se empleó la metodología descrita por (Balbuena-Alonso et al., 2024), se realizaron cortes circulares de hojas de espinaca de 15-16 mm de diámetro y se colocaron en placas de 24 pozos, posteriormente se desinfectaron con hipoclorito de sodio al 2,5% por 2,5 minutos en agitación suave y este se retiró haciendo un segundo lavado con agua destilada estéril. Posteriormente se inocularon 20 µL de una suspensión de E. coli en una concentración de 10^6 UFC/mL, se adicionaron 15 µL del surfactante que contenía 2100 µg, medio mínimo M63+ (160 µL) y se incubó a 36°C por 24 h.

Posteriormente se descartó el sobrenadante del cultivo y se lavaron las porciones de hoja con PBS (200 µL), para después añadir cristal violeta (0,1%) y se se dejó actuar durante 15 min a temperatura ambiente (25°C). Al término, se descartó el colorante y se lavó con agua destilada estéril (200 µL por pozo). Después del lavado, el colorante se recuperó de la hoja utilizando ácido acético (30%; 100 µL por pozo), primero con la hoja inclinada colectando el colorante en una microplaca de 96 pozos, se añadió más ácido acético (100 µL) y se dejó actuar por 15 minutos a temperatura ambiente (25°C). Se recuperó el ácido, para colocarla en la misma placa de 96 pozos, para tener un total de 200 µL por pozo, se midió DO a 620 nm, utilizando un lector de placas Varioskan (Thermo Scientific, USA).

2.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los ensayos se realizaron por triplicado y los resultados se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de tipo Tukey (α=0.05). Estos se expresaron como la media más menos la desviación estándar. Para ambos análisis se utilizó el software estadístico Infostat versión 2013, Universidad Nacional de Córdoba.

3. Avances y Hallazgos

3.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo con lo previamente analizado dentro de los sistemas productivos agroecológicos de hortalizas se encuentran microorganismos con capacidad de biocontrol; ya que en este nicho ecológico se aisló y caracterizó una cepa de Bacillus procedente de hortalizas de hoja verde con capacidad de biocontrol sobre poblaciones de Escherichia coli in vitro e in vivo en hojas de espinaca (Spinacia oleracea). Lo que reafirma la importancia del estudio de los biosurfactantes, ya que brindan la posibilidad de desarrollar diversas estrategias biocompatibles con el entorno, con capacidad para biodegradarse y que presenten efectividad ante diversas condiciones o en combinación con diversas estrategias (Patel et al., 2021).

Al evaluar las interacciones antagonistas de los aislados frente a Escherichia coli, mediante ensayos de antibiograma. El aislado Bacillus spp. AR03 presenta actividad antagonista sobre Escherichia coli, comparada a cepas de Bacillus previamente identificadas como Bacillus subtilis Q11 y Bacillus methylotrophicus Fr4B12, dicho estudio nos ayudó a evaluar el efecto hormético del sistema, sin embargo, se requiere de más estudios asociados a dicho efecto **(Figura 1,2 y 3).**

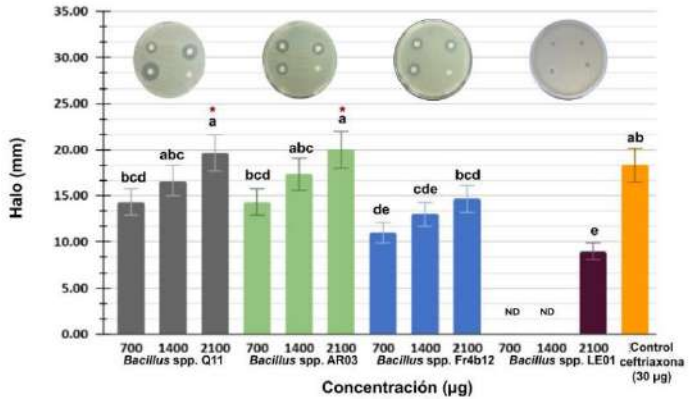


Figura 1. Efecto inhibitorio de los lipopéptidos producidos por Bacillus spp. sobre Escherichia coli (ATCC 11229), ND: No detectable.

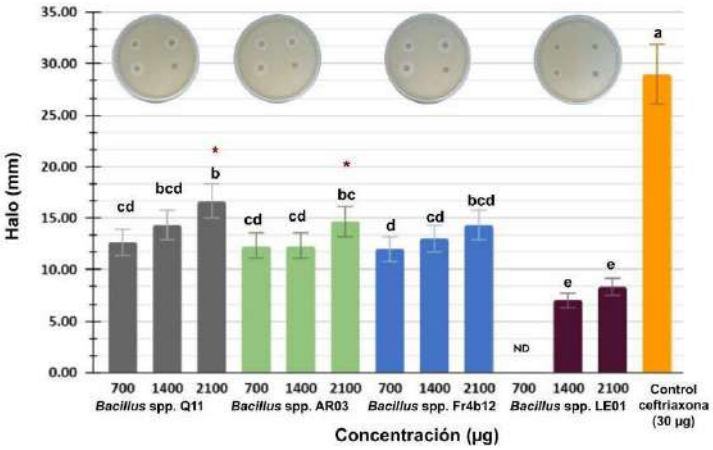


Figura 2. Efecto inhibitorio de los lipopéptidos producidos por Bacillus spp. sobre Escherichia coli (ATCC 35218), ND: No detectable.

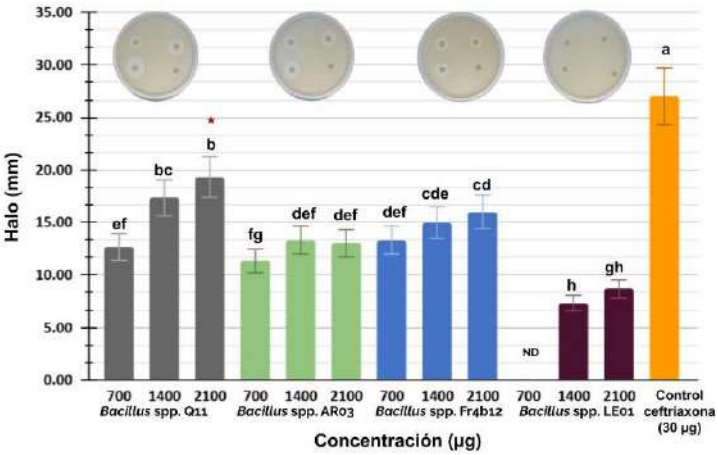


Figura 3. Efecto inhibitorio de los lipopéptidos producidos por Bacillus spp. sobre

Escherichia coli (ATCC 25922).

Este efecto antagónico ha sido previamente reportado por Cordisco (2023), dónde se observa cómo la presencia de bacileno, metabolito híbrido de péptido no ribosómico, genera un efecto antagónico sobre la formación de biopelículas E.coli, pero principalmente inhibe la síntesis de proteínas procariotas, reportando una actividad de tipo antibiótica bacteriostática. Concordando con lo reportado en este estudio dónde al determinar la producción bacteriana de lipopéptidos y evaluar su actividad inhibitoria sobre Escherichia coli el extracto crudo de biosurfactantes producidos las cepas Bacillus subtilis Q11 y Bacillus spp. AR03 muestran actividad bacteriostática (Figura 4 y 5; Jessel & Chapman, 2024; Cordisco et al., 2023).

Lo cual podría contribuir al desarrollo de estrategias de desinfección basadas en tecnología de barrera, ya que el uso de extractos crudos de Bacillus ha demostrado su efectividad, de acuerdo a lo reportado por Lin (2021) el sobrenadante de Bacillus subtilis natto tiene un efecto inhibitorio sobre E. faecalis, en este caso se observa una mayor efectividad usando este método ante una bacteria con alta resistencia, demostrando que el fluido de cultivo de B. subtilis natto regulaba a la baja la biosíntesis de peptidoglicanos y la biosíntesis de glucolípidos de membrana (Lin et al., 2021).

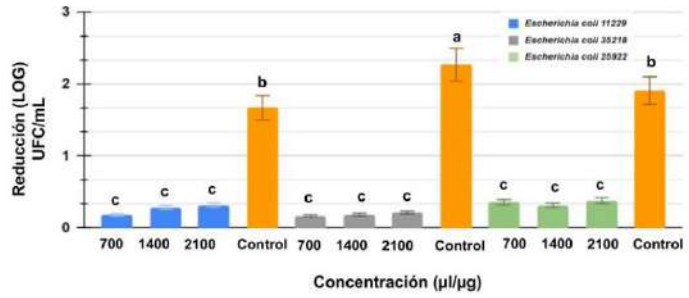


Figura 4. Efecto inhibitorio de los lipopéptidos producidos por Bacillus methylotrophicus Fr4B12 sobre cepas de E. coli 11229, 35218 y 25922, análisis realizado con respecto al control de plata coloidal (0.35 µl; barras anaranjadas) y con un tiempo de interacción de 10 minutos.

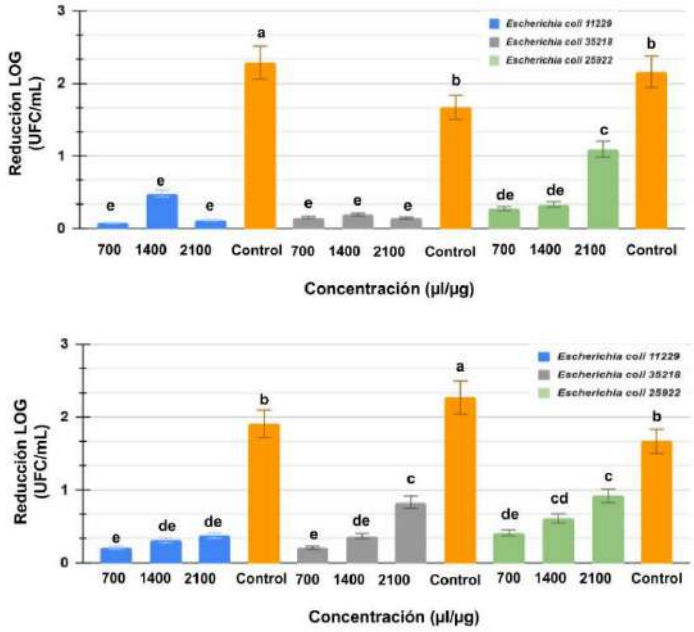


Figura 5. Efecto inhibitorio de los lipopéptidos producidos por A) Bacillus subtilis Q11 y B) Bacillus spp. AR03 sobre cepas de Escherichia coli 11229, 35218 y 25922, análisis realizado con respecto al control de plata coloidal (0.35 µL) y con un tiempo de interacción de 10 minutos.

Al evaluar el efecto inhibitorio de los biosurfactantes sobre Escherichia coli en espinaca (Spinacia oleracea) y su efecto sobre la producción de biopelículas, se observa un efecto bactericida, con reducciones del 99% después 24 horas de exposición **(Figura 6, 7 y 8).** Dicho efecto inhibitorio de los lipopéptidos sobre la formación de biopelículas bacterianas in vivo (efecto in vitro en material suplementario), puede ser una estrategia eficaz en el desarrollo de recubrimientos microbianos, así como el desarrollo de estrategias de biocontrol en superficies inertes.

Como se mencionó con anterioridad la presencia de biopelículas bacterianas no solo representa un riesgo para el consumidor, también afecta la producción, ya que cuando las bacterias se encuentran es este estadio de resistencia intervienen con diversos antimicrobianos, lo cual se refleja en un incremento de los costos asociados a la producción (Adnan et al., 2021). El uso de los biosurfactantes representa una estrategia eficaz, ya que en estudios previos ha evaluado su estabilidad ante diversos rangos de pH, reportando un amplio rango de estabilidad (5 a 9), con porcentajes de emulsificación de 53.4 a 61.2% a las 24 horas (Giri et al., 2019); Ofreciendo una alternativa de biocontrol.

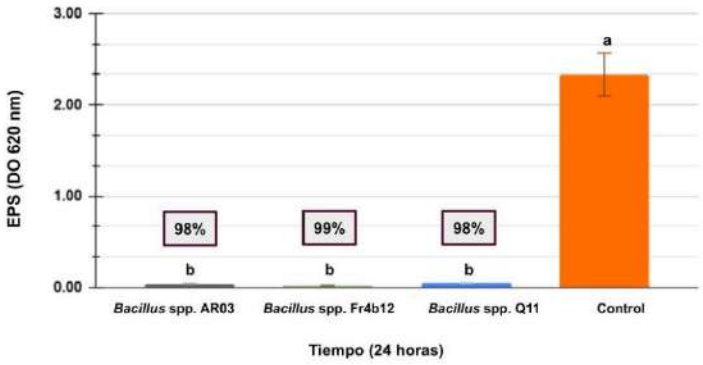


Figura 6. Efecto inhibitorio de los biosurfactantes producidos por Bacillus spp. sobre la formación de biopelículas producidas por E. coli (ATCC 11229) en hojas de espinaca (Spinacia oleracea).

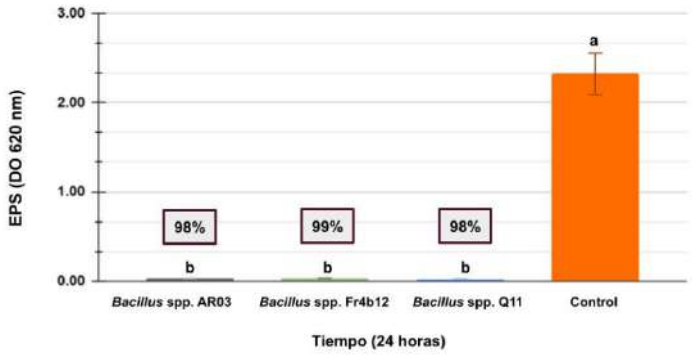


Figura 7. Efecto inhibitorio de los biosurfactantes producidos por *Bacillus* spp. sobre la formación de biopelículas producidas por *E. coli* (ATCC 25922) en hojas de espinaca (*Spinacia oleracea*).

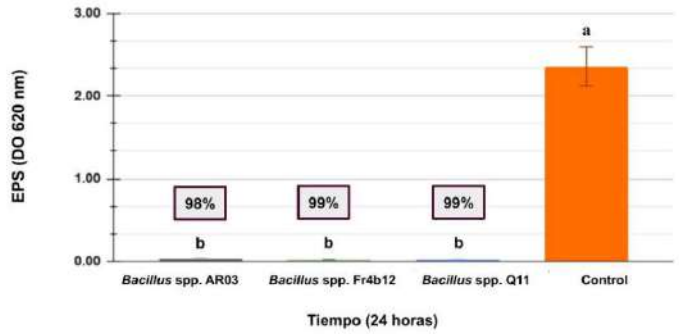


Figura 8. Efecto inhibitorio de los biosurfactantes producidos por *Bacillus* spp. sobre la formación de biopelículas producidas por *E. coli* (ATCC 35218) en hojas de espinaca (*Spinacia oleracea*).

4. Reflexión Académica

4.1 CONCLUSIÓN

Dentro de los sistemas productivos agroecológicos de hortalizas se encuentran microorganismos con capacidad de biocontrol. El aislado Bacillus spp. AR03 presenta actividad antagonista sobre Escherichia coli, comparada a cepas de Bacillus previamente identificadas como Bacillus subtilis Q11 y Bacillus methylotrophicus Fr4B12. El extracto crudo de biosurfactantes producidos las cepas Bacillus subtilis Q11 y Bacillus spp. AR03 muestran actividad bacteriostática sobre Escherichia coli, lo cual podría contribuir al desarrollo de estrategias de desinfección basadas en tecnología de barrera. Así como el efecto inhibitorio sobre la formación de biopelículas bacterianas in vitro e in vivo, una estrategia eficaz en el desarrollo de recubrimientos microbianos, el desarrollo de estrategias de biocontrol en superficies inertes y una alternativa de biocontrol que puede contribuir a la prevención de la sobrevivencia de agentes patógenos desde la siembra hasta la cosecha.

4.2 CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores manifiestan que no tienen intereses financieros, personales, académicos o de otro tipo que puedan percibirse como un conflicto de interés en relación con este trabajo.

4.3 AGRADECIMIENTOS

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por la beca otorgada, así como a la Universidad Autónoma de Querétaro y empresas asociadas por su apoyo en la realización de este proyecto.

5. Referencias

Adnan, M., Siddiqui, A. J., Hamadou, W. S., Ashraf, S. A., Hassan, M. I., Snoussi, M., Badraoui, R., Jamal, A., Bardakci, F., Awadelkareem, A. M., Sachidanandan, M., & Patel, M. (2021). Caracterización funcional y estructural del biosurfactante derivado de Pediococcus pentosaceus y su potencial biomédico frente a la adhesión bacteriana, la detección de quórum y la formación de biopelículas. Antibióticos (Basilea, Suiza), 10(11), 1371. https://doi.org/10.3390/antibiotics10111

Balbuena Alonso, M. (2024). Análisis de los elementos genéticos que movilizan determinantes de virulencia y resistencia a antimicrobianos en cepas de Escherichia coli aisladas de productos crudos. Tesis doctorado en Ciencias (Microbiología) Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. pp 63-64. Consultado el 12 de octubre del 2024, Disponible en: https://hdl.handle.net/20.500.12371/27936

Banach, J. L., van Bokhorst-van de Veen, H., van Overbeek, L. S., van der Zouwen, P. S., Zwietering, M. H., & van der Fels-Klerx, H. J. (2020). Effectiveness of a peracetic acid solution on Escherichia coli reduction during fresh-cut lettuce processing at the laboratory and industrial scales. International journal of food microbiology, 321, 108537. https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2020.108537

Cordisco, E., Zanor, M. I., Moreno, D. M., & Serra, D. O. (2023). Selective inhibition of the amyloid matrix of Escherichia coli biofilms by

a bifunctional microbial metabolite. NPJ Biofilms and Microbiomes, 9(1), 81. https://doi.org/10.1038/s41522-023-00449-6

Cao, X. H., Liao, Z. Y., Wang, C. L., Yang, W. Y., & Lu, M. F. (2009). Evaluation of a lipopeptide biosurfactant from Bacillus natto TK-1 as a potential source of anti-adhesive, antimicrobial and antitumor activities. Brazilian Journal of microbiology: [publication of the Brazilian Society for Microbiology], 40(2), 373–379. https://doi.org/10.1590/S1517-83822009000200030

El-Nour, S. A. A., Hammad, A. A., Fathy, R., & Eid, A. S. (2023). Application of coliphage as biocontrol agent in combination with gamma irradiation to eliminate multi-drug-resistant E. coli in minimally processed vegetables. Environmental science and pollution research international, 30(59), 123907–123924. https://doi.org/10.1007/s11356-023-31071-w

Finger, J. A. F. F., Santos, I. M., Silva, G. A., Bernardino, M. C., Pinto, U. M., & Maffei, D. F. (2023). Minimally Processed Vegetables in Brazil: An Overview of Marketing, Processing, and Microbiological Aspects. Foods (Basel, Switzerland), 12(11), 2259. https://doi.org/10.3390/foods12112259

Giri, S. S., Ryu, E. C., Sukumaran, V., & Park, S. C. (2019). Antioxidant, antibacterial, and anti-adhesive activities of biosurfactants isolated from Bacillus strains. Microbial Pathogenesis, 132, 66–72. https://doi.org/10.1016/j.micpath.2019.04.035

Gomes, B. A. F., Alexandre, A. C. S., De Andrade, G. A. V., Zanzini, A. P., De Barros, H. E. A., Silva, L. M. D. S. F. E., Costa, P. A., & De Barros Vilas Boas, E. V. (2023). Recent advances in processing and preservation of minimally processed fruits and vegetables: A review – Part 2: Physical methods and global market outlook. Food Chemistry Advances, 2, 100304. https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100304

Jessel, K., & Chapman, M. R. (2024). Microbial warfare: B. subtilis antagonizes E. coli biofilm formation. Trends in Microbiology, 32(3), 221–223. https://doi.org/10.1016/j.tim.2023.12.006

Kim, S. Y., & Kang, S. S. (2020). Anti-Biofilm Activities of Manuka Honey against Escherichia coli O157:H7. Food Science of Animal Resources, 40(4), 668–674. https://doi.org/10.5851/kosfa.2020.e42

Lin, Y. C., Wu, C. Y., Huang, H. T., Lu, M. K., Hu, W. S., & Lee, K. T. (2021). Bacillus subtilis natto Derivatives Inhibit Enterococcal Biofilm Formation via Restructuring of the Cell Envelope. Frontiers in Microbiology, 12, 785351. https://doi.org/10.3389/fmicb.2021.785351

Ministerio de salud de Perú. (2002). Manual de procedimientos bacteriológicos en infecciones intrahospitalarias. Disponible en: https://www.gob.pe/institucion/minsa/informes-publicaciones/284839-manual-de-procedimientos-bacteriologicos-en-infecciones-intrahospitalarias. Consultado en 03 de diciembre del 2024.

Milijašević-Marčić, S., Todorović, V., Stanojević, O., Berić, T.,Stanković, S., Todorović, B. & Potočnik, I. (2018). Antagonistic potential of Bacillus spp. isolates against bacterial pathogens of tomato and fungal pathogen of pepper. Pestic. Phytomed, 33(1), 2018, 9–18.https://doi.org/10.2298/PIF1801009M

Moore, T., Globa, L., Barbaree, J., Vodyanoy, V., & Sorokulova I. (2013). Antagonistic Activity of Bacillus Bacteria against Food-Borne Pathogens. Journal of Probiotics & Health, 01(03). https://doi.org/10.4172/2329-8901.1000110

Mendoza, I. C., Luna, E. O., Pozo, M. D., Vásquez, M. V., Montoya, D. C., Moran, G. C., Romero, L. G., Yépez, X., Salazar, R., Romero-Peña, M., & León, J. C. (2022). Conventional and non-conventional disinfection methods to prevent microbial contamination in minimally processed fruits and vegetables. Lebensmittel-Wissenschaft + Technologie/Food Science & Technology, 165, 113714. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113714

Nair, M. S., Upadhyay, A., Fancher, S., Upadhyaya, I., Dey, S., Kollanoor-Johny, A., Zhao, J., & Venkitanarayanan, K. (2018). Inhibition and Inactivation of Escherichia coli O157:H7 Biofilms by Selenium. Journal of Food Protection, 81(6), 926-933.https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-17-427

Rodríguez-Chávez, J. L., Juárez-Campusano, Y. S., Delgado, G., Pacheco, J. R. (2019). Identification of lipopeptides from Bacillus strain Q11 with ability to inhibit the germination of Penicillium expansum, the etiological agent of postharvest blue mold disease. Postharvest Biology and Technology. 155 (2019) 72–79. https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2019.05.011

Santos, M. I., Grácio, M., Silva, M. C., Pedroso, L., & Lima, A. (2023). One Health Perspectives on Food Safety in Minimally Processed Vegetables and Fruits: From Farm to Fork. Microorganisms, 11(12), 2990. https://doi.org/10.3390/microorganisms11122990

Oni, F. E., Esmaeel, Q., Onyeka, J. T., Adeleke, R., Jacquard, C., Clement, C., Gross, H., Ait Barka, E., & Höfte, M. (2022). Pseudomonas Lipopeptide-Mediated Biocontrol: Chemotaxonomy and Biological Activity. Molecules, 27(2), 372. https://doi.org/10.3390/molecules27020372

Patel, M., Siddiqui, A. J., Hamadou, W. S., Surti, M., Awadelkareem, A. M., Ashraf, S. A., Alreshidi, M., Snoussi, M., Rizvi, S. M. D., Bardakci, F., Jamal, A., Sachidanandan, M., & Adnan, M. (2021). Inhibition of Bacterial Adhesion and Antibiofilm Activities of a Glycolipid Biosurfactant from Lactobacillus rhamnosus with Its Physicochemical and Functional Properties. Antibiotics (Basel, Switzerland), 10(12), 1546. https://doi.org/10.3390/antibiotics1012

Tomičić, R., Tomičić, Z., Nićetin, M., Knežević, V., Kocić-Tanackov, S., & Raspor, P. (2023). Food grade disinfectants based on hydrogen peroxide/peracetic acid and sodium hypochlorite interfere with the adhesion of Escherichia coli, Pseudomonas aeruginosa, Staphylococcus aureus and Listeria monocytogenes to stainless steel of differing surface roughness. Biofouling, 39(9-10), 990-1003. https://doi.org/10.1080/08927014.2023.2288886

Yaron, S., & Römling, U. (2014). Biofilm formation by enteric pathogens and its role in plant colonization and persistence. Microbial biotechnology, 7(6), 496–516. https://doi.org/10.1111/1751-7915.12186

6. Anexos

ANEXO 1: PREPARACIÓN DE CEPAS

Para los ensayos de biopelículas in vitro se utilizó un medio mínimo M63+ preparado de acuerdo a lo descrito por (Leech et al.,2020), el medio mínimo M63 estándar contiene 100 mM KH2PO4, 15 mM (NH4)2SO4, 1 mM MgSO4, 1.8 µM FeSO4 y 10 mM d-glucosa, se adicionó con 17 mM de succinato de sodio. Para los ensayos de reto microbiano y antibiograma se activó en caldo soya tripticaseína (CST; BD BIOXON, México), para posteriormente realizar los ensayos en agar soya tripticaseína (AST; BD BIOXON, México).

1.1 IDENTIFICACIÓN GENÉTICA DE CEPAS DE *BACILLUS* AISLADAS DE HORTALIZAS

Se utilizó la metodología descrita por Weisburg et al., (1991) el morfotipo AR03, se identificó mediante el gen ARNr 16s, El aislado AR03 purificado, fue sembrado en AST e incubado a 35°C durante una noche, posteriormente se tomó una colonia para realizar la extracción de ADN genómico mediante el kit ZymoBIOMICS™ DNA Miniprep (Zymo Research, USA) de acuerdo con las instrucciones del fabricante.

En primera instancia 1 µL el ADN fue incorporado en 90 µL de agua ultrapura Milli-Q en tubos Eppendorf estériles. Esta solución se utilizó para realizar la amplificación mediante PCR, para ello se realizó una mezcla que contenía, un 1 µl de ADN diluido, 1 µL de cebador fD1(ccgaattcgtcgacaacAGAGTTTGATCCTGGCTCAG) y 1 µL de cebador rP2 (cccgggatccaagcttACGGCTACCTTGTTACGACTT), 10 µL de solución 2x Phusion Flash PCR Master Mix (Thermo Scientific, USA), 10 µL de agua ultrapura y 10 µL de aceite mineral estéril. La amplificación se realizó en un termociclador ARKTIK (Thermo Scientific, USA) con las siguientes condiciones desnaturalización inicial por 2 minutos a 94°C y 35 ciclos de amplificación (desnaturalización durante 1 min 94°C, alineamiento por 30 segundos a 50 °C, extensión por 30 segundos a 72°C con 35 ciclos) y extensión final por 1 minuto a 72 °C (**Figura 1**).

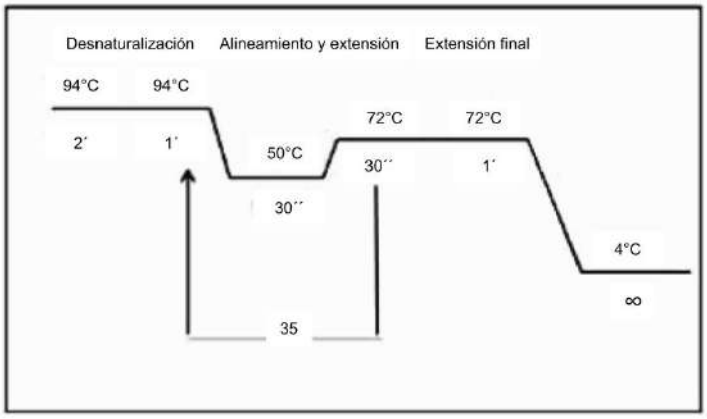


Figura 1. Condiciones de amplificación mediante la técnica de PCR.

1.2. EFECTO DEL BIOSURFACTANTE EN LA CAPACIDAD DE FORMACIÓN DE BIOPELÍCULAS BACTERIANAS *in vitro*

Para la determinación de la capacidad de las cepas de Escherichia coli para formar biopelículas se empleó la metodología descrita por (O'Toole y Kolter, 1998) con modificaciones. En microplacas de 96 pozos, a cada pocillo se le adicionó medio mínimo M63+ (160 µl) y se inoculó por triplicado 20 µL de una suspensión bacteriana de 10^6 UFC/mL, se le añadió 15 µl el respectivo surfactante (2100 µg) y se incubó a 30°C, se midió la densidad óptica a 600 nm a las 24, 48 y 72 horas, de incubación.

Posterior a la incubación se realizó una tinción con cristal violeta, en primera instancia se descartaron las células planctónicas al realizar dos lavados con solución salina isotónica (SSI), para después añadir metanol (99%) y dejar actuar por 15 min; se removió el metanol y se adicionó el cristal violeta al 0.1% por 5 minutos. Se descartó el colorante y se realizaron dos lavados más con SSI, para después dejar secar la placa a temperatura ambiente, finalmente el cristal violeta se solubilizó con ácido acético glacial (30%) y se midió la DO a 595 nm en el lector de placas Varioskan (Thermo Scientific, USA).

1.3. ANÁLISIS DEL EXTRACTO CRUDO POR ESPECTROSCOPIA TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR).

Se realizó una espectroscopia infrarroja para identificar los enlaces químicos o grupos funcionales presentes en el lipopéptido crudo obtenido (4.5), mediante un espectrofotómetro FTIR (Shimadzu modelo IRTracer-100, Japón) equipado con un accesorio de reflectancia total atenuada (ATR) Pike Miracle, en el rango entre 400 y 4000 cm^{-1} y una resolución de 4 cm^{-1}, con 32 escaneos por espectro, se usó la función de apodización de Happ-Genzel y una resolución de 4 cm^{1}.

ANEXO 2: RESULTADOS

2.1 IDENTIFICACIÓN GENÉTICA DE CEPAS DE *BACILLUS* AISLADAS DE HORTALIZAS

Se identificó el aislado que presentó la mayor actividad antagonista, en este caso el aislado procedente de hojas de arúgula, aislado AR03, Con base en la comparación de la secuencia por el gen ARNr 16s usando la herramienta de tipo BLAST, la secuencia se encuentra dentro del género *Bacillus*, mostrando 100% de similitud con *Bacillus halotolerans* y una relación cercana con especies como *B. malacitensis* y *B. subtilis* (**Figura 2**).

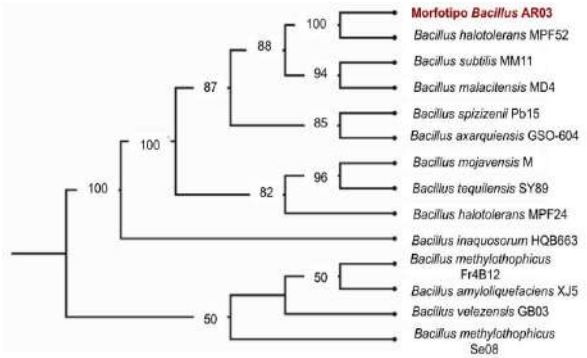


Figura 2. Árbol filogenético para las secuencias obtenidas, construcción por medio del método vecinos cercanos (BV-BRC versión 3.53.3).

2.2 EFECTO DEL BIOSULFACTANTE EN LA CAPACIDAD DE FORMACIÓN DE BIOPELÍCULAS BACTERIANAS *in vitro*

La acción de los biosurfactantes sobre las biopelículas de *E. coli* a través del tiempo muestran una actividad diferente entre las cepas, a la concentración evaluada (2100 µg o 2.1 mg), todos los extractos muestran diferencias significativas (α=0.05) con respecto al control empleado, (**Figura 3**, **4** y **5**). Sin embargo,

Sin embargo la cepa de *E.coli* 25922 mostró una susceptibilidad muy similar entre los diferentes extractos aplicados, los tres surfactantes extraídos muestran propiedades inhibitorias sobre la formación de exopolisacáridos a las 48 horas posteriores a su aplicación, donde se observan reducciones que van desde el 87% hasta el 96%, siendo el extracto procedente de *Bacillus* spp Q11 el que muestra una mayor actividad inhibitoria (**Figura 3, 4 y 5**).

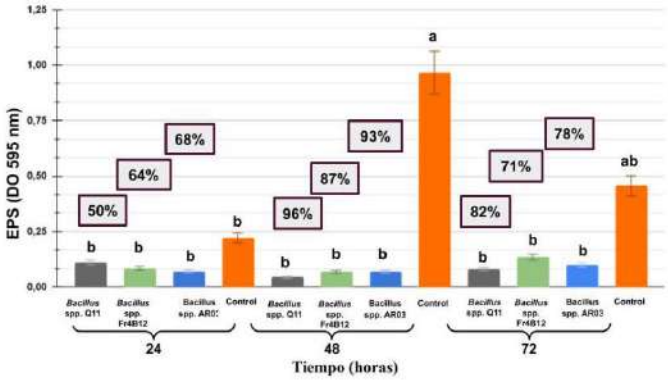


Figura 3. Efecto inhibitorio de los biosurfactantes producidos por *Bacillus* spp. sobre la formación de biopelículas producidas por *E. coli* (ATCC 25922) *in vitro*.

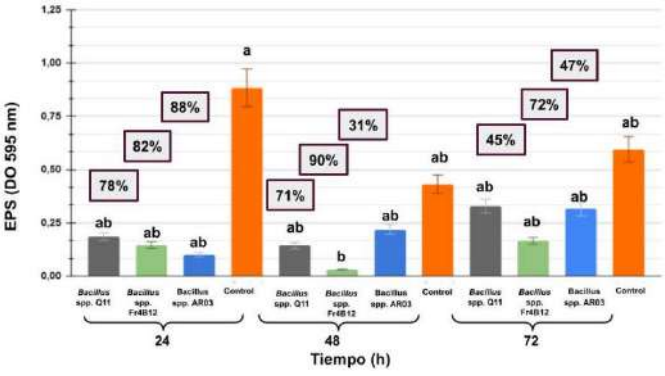


Figura 4. Efecto inhibitorio de los biosurfactantes producidos por *Bacillus* spp. sobre la formación de biopelículas producidas por *E. coli* (ATCC 11229) *in vitro*.

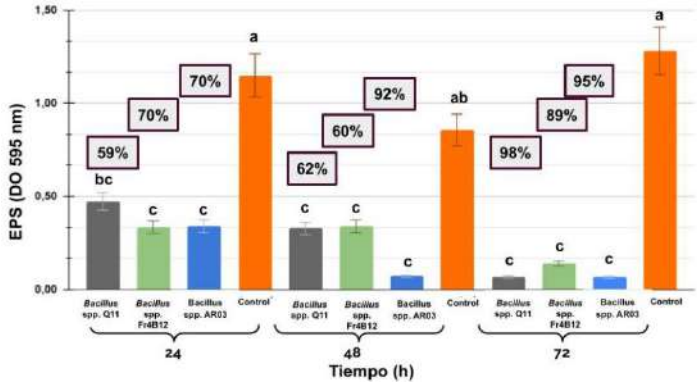


Figura 5. Efecto inhibitorio de los biosurfactantes producidos por *Bacillus* spp. sobre la formación de biopelículas producidas por *E. coli* (ATCC 35218) *in vitro*.

2.3 ANÁLISIS DEL EXTRACTO CRUDO POR ESPECTROSCOPIA TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR).

El extracto procedente de *Bacillus* spp. AR03, presenta una banda en 3294 cm^{-1} la cual corresponde al grupo amida A, 2926 cm^{-1} atribuidas a la vibración de estiramiento en enlaces simples de C-H (**Figura 6**), es importante mencionar que esta región se asocia con la presencia de lípidos (3000-2800 cm^{-1}), así mismo se pueden observar enlaces dobles de C= O por la presencia de la banda en 1643 cm^{-1} y la presencia de proteínas, esto debido a la presencia de dos bandas (1715 y 1530 cm^{-1}) en el espectro asociado a la Amida I (1700- 1600 cm^{-1}) y II (1565- 1520 cm^{-1}); (Rodríguez-Chávez *et al*., 2018; Bureau *et al*.,2018; Glassford *et al*., 2013).

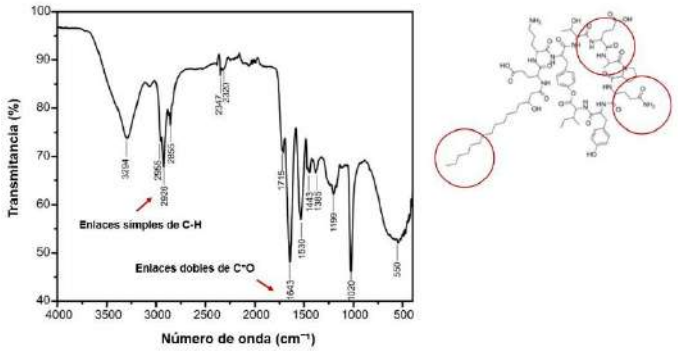


Figura 6. Análisis del extracto crudo producido por *Bacillus* spp. AR03 por espectroscopia infrarroja con transformada de Fourier (FTIR).

Desarrollo de croquetas para canes con insuficiencia renal crónica

Soto Álvarez Sandra | Universidad Tecnológica de San Juan del Río | ssotoa@utsjredu.mx

Cervantes Martínez América Alejandra | Universidad Tecnológica de San Juan del Río | alejandracm.qi22@utsjr.edu.mx

Ferrer Carranza Emmanuel Adán | Universidad Tecnológica de San Juan del Río | adanfc.qi22@utsjr.edu.mx

López Morales Laura Arisbed | Universidad Tecnológica de San Juan del Río | arisbedlm.qi22@utsjr.edu.mx

Arias Olvera Diana Samantha | Universidad Tecnológica de San Juan del Río | samanthaao.qi22@utsjr.edu.mx

Estrella Chavero Zulma Flor | Universidad Tecnológica de San Juan del Río | zfestrellac@utsjr.edu.mx

Oaxaca Jiménez Hada Concepción | Universidad Tecnológica de San Juan del Río | hcoaxacaj@utsjr.edu.mx

Dector Espinoza Andrés | SECIHTI – Universidad Tecnológica de San Juan del Río | andres_dector@live.com

Diana M. Amaya-Cruz | Universidad Autónoma de Querétaro | diana.amaya@uaq.mx

Resumen

La enfermedad renal crónica (ERC) en canes requiere una nutrición balanceada, ya que hace referencia a complicaciones que afectan a uno o a ambos riñones provocando alteraciones en su funcionamiento. En este estudio se presenta el desarrollo de croquetas para canes con ERC, que puedan aportar nutrición al canino. La croqueta planteada en este trabajo incluye niveles controlados de proteína moderada (20%), ácidos grasos, aceite de salmón rico en omega-3, proporciones reducidas de fósforo, citrato de potasio y fibra soluble para favorecer la salud renal. El proceso consistió en procesos de mezclado, extrusión y recubrimiento con aceite. Los resultados analíticos muestran una distribución equilibrada de nutrientes, conforme a los estándares nutricionales veterinarios para dietas renales con una aceptación en canes. Estas croquetas representan una alternativa viable para el manejo nutricional de canes con enfermedad renal crónica.

Palabras clave: croquetas, insuficiencia renal crónica

Abstract

Chronic kidney disease (CKD) in dogs requires a balanced diet because it affects one or both kidneys and impairs their function. This study describes the development of kibble formulated to meet the nutritional needs of dogs with CKD. The formulation contains a controlled, moderate protein level (20%), fatty acids, omega-3-rich salmon oil, reduced phosphorus levels, potassium citrate, and soluble fiber to support kidney health. The production process involved mixing, extrusion, and oil coating. Analytical results showed a balanced nutrient profile that meets veterinary nutritional standards for renal diets and was well accepted by dogs. This kibble represents a viable alternative for the nutritional management of dogs with chronic kidney disease.

Keywords: Croquette, Chronic kidney disease (CKD)

Introducción

La enfermedad renal crónica (ERC) en canes es uno de los desafíos más complejos dentro de la práctica veterinaria debido a su progresión irreversible y a que los signos clínicos suelen manifestarse únicamente cuando más del 75% de la función renal ya se ha perdido. Esta patología afecta especialmente a canes de edad avanzada alcanzando hasta el 10%, y su avance implica acumulación de toxinas nitrogenadas como urea y creatinina, así como alteraciones en la homeostasis del fósforo y otros electrolitos esenciales. [Purina, De F. Agropecuarias, Energía y los electrolíticos 2025] En este sentido, conforme la función renal disminuye, los animales requieren dietas específicas que reduzcan la carga metabólica y controlen la acumulación de toxinas; sin embargo, los alimentos comerciales terapéuticos para canes con ERC suelen utilizar en sus formulaciones ingredientes provenientes de la canasta básica, como papa o zanahoria, cuya disponibilidad impactan en la sostenibilidad alimentaria. Además, muy pocos de estos alimentos para canes del mercado, integran ingredientes como fuentes moderadas de proteínas de alta biodisponibilidad, carbohidratos complejos de baja carga fosfórica, antioxidantes naturales y ácidos grasos omega-3, todos ellos elementos clave en la dietoterapia renal [Royalcanin.es, Vetsandclinics.com]

En consecuencia, surge la necesidad de desarrollar un alimento nutritivo formulado con hortalizas alternativas como el camote y el ejote, que no compitan con el consumo humano y que permitan mantener una dieta terapéutica adecuada para canes con insuficiencia renal. Esta problemática evidencia una brecha importante entre las necesidades terapéuticas de los animales y la disponibilidad de productos especializados en el mercado.

El manejo nutricional desempeña un papel central en el control clínico de esta enfermedad. Las dietas renales deben incluir proteína moderada y altamente digestible, mantener niveles reducidos de fósforo y sodio, así como incorporar fibra soluble, vitaminas del complejo B y antioxidantes, siguiendo las recomendaciones establecidas para terapias nutricionales en canes con ERC. Asimismo, ingredientes como el aceite de salmón —rico en ácidos grasos omega-3— ayudan a disminuir la inflamación sistémica y a mejorar parámetros renales como la proteinuria y la presión arterial, mientras que el citrato de potasio contribuye a corregir la acidosis metabólica común en esta patología. En este contexto, el presente proyecto se enfoca en la formulación y evaluación de croquetas para canes con ERC, empleando ingredientes accesibles como camote y ejote, junto con fuentes proteicas de alta calidad como el huevo, cuya digestibilidad y bajo contenido de fósforo lo convierten en un nutriente ideal para este tipo de dietas.

La incorporación de aceite de salmón como fuente de omega-3 y de citrato de potasio como conservador podría asegurar estabilidad, inocuidad y beneficios metabólicos directos. Esta formulación está alineada con los lineamientos nutricionales indicados para canes con ERC y propone una alternativa viable, accesible y potencialmente aplicable a nivel clínico y dentro de la industria alimentaria veterinaria [Marín, H. A., 2023, Luna, J. 2022, Bernal, A. 2025, Soto Herrera, R. M., 2023].

Marco Metodológico

El desarrollo de las croquetas se basó en criterios nutricionales establecidos para canes con ERC, considerando la digestibilidad, carga mineral, biodisponibilidad del fósforo, aporte energético no proteico y propiedades de cada ingrediente. Los ingredientes seleccionados y sus características son descritas a continuación [Seo, S. 2025, Nanoquimica]:

Camote (Ipomoea batatas): seleccionado como principal fuente de carbohidratos complejos por su bajo índice glucémico, concentración moderada de fibra soluble y contenido antioxidante (betacarotenos y compuestos fenólicos). Presenta baja cantidad de fósforo biodisponible, lo cual es esencial para disminuir la hiperfosfatemia característica de la ERC.

Ejote (Phaseolus vulgaris): seleccionado por su alto contenido de fibra dietética y su contribución al tránsito digestivo. Su composición baja en calorías y

fósforo lo convierte en un vegetal adecuado para dietas renales, además de aportar vitaminas A, C y K.

Harina de avena (Avena sativa): fuente de carbohidratos no proteicos, fibra soluble (beta-glucanos) y fósforo en forma fítica, el cual tiene menor absorción intestinal. Su inclusión permite incrementar la densidad energética sin sobrecargar el aporte proteico.

Huevo: utilizado como fuente proteica principal debido a su alta digestibilidad, perfil aminoacídico completo y carga fosfórica baja en comparación con las proteínas cárnicas.

Aceite de salmón: incorporado como fuente de ácidos grasos omega-3 de cadena larga (EPA y DHA), conocidos por su papel modulador en procesos inflamatorios sistémicos y su beneficio específico en la progresión de la enfermedad renal.

Citrato de potasio: empleado como conservador natural y agente alcalinizante. Es útil en el control de acidosis metabólica, un desequilibrio frecuente en la ERC canina.

Agua purificada: utilizada para generar la cohesión necesaria en la masa durante el mezclado y darle la humedad mínima requerida para la cocción.

La selección de estos ingredientes buscó equilibrar funcionalidad nutricional, disponibilidad y compatibilidad con los requerimientos clínicos de canes con enfermedad renal.

Las hortalizas frescas (camote y ejote) fueron lavadas y desinfectadas con una solución de hipoclorito de sodio al 0.02 %. Posteriormente, estos fueron cortados en rodajas finas o segmentos pequeños para homogeneizar el secado. Para la deshidratación se empleó un deshidratador eléctrico a temperaturas entre 55–60 °C, durante un periodo de 6 a 10 horas, según el tamaño de los cortes. Este proceso permitió reducir la humedad inicial de las hortalizas, mejorar la vida útil y facilitar la molienda posterior. Una vez deshidratadas, las muestras se trituraron en un molino doméstico hasta obtener harinas finas y homogéneas. Finalmente, las harinas se tamizaron utilizando una malla de 500 μm para asegurar una granulometría uniforme que favorece el mezclado.

A continuación, en la Tabla 1 se muestra la formulación empleada en el presente trabajo para la preparación de las croquetas. Posteriormente es detallada cada una de las etapas para la elaboración de las croquetas.

Material	**Cantidad**
Citrato de potasio	**0.025**
Ejote en polvo	500 gramos
Camote en polvo	500 gramos
Huevo crudo	**6 unidades**
Agua purificada	125 mililitros
Harina de avena	500 gramos
Aceite de salmón	200 mL

Tabla 1. Composición de ingredientes para obtención de formulación. [elaboración propia]

Elaboración de croquetas

Las harinas de camote, ejote y avena se pesaron por separado y luego se integraron en un recipiente grande, mezclándose manualmente para garantizar homogeneidad. En un segundo recipiente se batieron los huevos hasta lograr una emulsión uniforme. La mezcla líquida se incorporó gradualmente a las harinas, añadiendo agua purificada en pequeñas porciones mientras se mezclaba hasta formar una masa maleable, de consistencia no pegajosa. La masa se dejó reposar durante 10 minutos para permitir la hidratación de los componentes secos, mejorar la cohesión y facilitar el moldeado. Mediante el molde, se formaron piezas pequeñas con forma corazón y hueso, procurando un tamaño uniforme para asegurar

cocción homogénea. Posteriormente, las croquetas se colocaron en charolas y se hornearon a 160 °C durante 12 - 15 minutos. Esta temperatura fue seleccionada para garantizar la coagulación proteica del huevo, la reducción de compuestos antinutricionales y la disminución de humedad sin riesgo de carbonización. Finalmente, las croquetas se enfriaron completamente sobre una rejilla y fueron almacenadas en frascos de vidrio estériles y herméticos, lejos de humedad y luz solar directa.



Figura 1. Fotografía de las croquetas desarrolladas, [elaboración propia]

Avances y Hallazgos

Hallazgos preliminares

Las croquetas obtenidas fueron caracterizadas con el propósito de determinar la estabilidad de la formulación.

Humedad

Las determinaciones de humedad realizadas mediante termobalanza arrojaron valores de 1.39 %, 0.26 % y 0.20 % en tres croquetas independientes. El promedio general (0.617 %) confirma que el producto final presenta un contenido de agua extremadamente bajo. De esta manera al obtener un producto con valores bajos de humedad se favorece la estabilidad microbiológica y prolonga la vida útil del alimento. El bajo nivel de humedad es consistente con el proceso de horneado y deshidratación aplicado en la etapa final de elaboración.

Fibra cruda

El contenido de fibra cruda determinado fue de 1.26 %, correspondiente principalmente a las harinas de ejote y avena. Este valor proporciona un aporte moderado de fibra dietética, adecuado para mantener el tránsito gastrointestinal de los canes con ERC y sin comprometer la densidad energética del alimento. En canes con ERC, la fibra contribuye también a mejorar la salud intestinal, favorecer el cuidado de la microbiota, apoyar el equilibrio metabólico y reducir riesgos de estreñimiento.

Proteínas (evaluación cualitativa)

El huevo constituye la principal fuente proteica de la formulación. Esta proteína destaca por su alta digestibilidad y su perfil aminoacídico completo, lo que permite satisfacer requerimientos esenciales sin incrementar en exceso la carga nitrogenada, un aspecto crítico en canes con ERC. En este caso es importante destacar que la ausencia de harinas cárnicas o subproductos animales, como lo es el caso de estas croquetas presentadas en este trabajo, podría favorecer un perfil proteico más adecuado para el manejo renal.

Aceptabilidad del producto

Se propone una prueba sensorial básica para evaluar la aceptabilidad de las croquetas en canes. La metodología para esta prueba será sometida a un comité de ética. Se espera que los resultados de la prueba sensorial aporten información útil para futuras mejoras en la formulación.

Análisis nutricional

El análisis nutrimental de la formulación final se realizó a partir de los datos obtenidos experimentalmente por las técnicas de humedad, fibra cruda y cenizas, complementados con una evaluación cualitativa del aporte nutrimental de los ingredientes utilizados. Aunque no se cuantifican los macronutrientes mediante métodos instrumentales, la composición cualitativa permite establecer una

caracterización integral coherente con el propósito terapéutico del alimento. A continuación es mostrada en la Tabla 2 los valores nutrimentales obtenidos para las croquetas presentadas en este trabajo.

Análisis garantizado	
Humedad (%) / 0.617 (promedio)	**Grasas / Bajas**
Fibra cruda (%) / 1.26	Sodio (cualitativa) / Moderado
Proteína (cuantitativa) / Moderada (principalmente huevo)	Porcentaje9 / 1.5 citrato de potasio (5
Carbohidratos (cualitativa) / moderados	

Tabla 2. Tabla nutrimental de las croquetas

Reflexión Académica

El desarrollo de croquetas para canes con Enfermedad Renal Crónica (ERC) demostró ser una posible alternativa nutricional, siempre y cuando sean tomadas en cuenta los lineamientos establecidos para dietas terapéuticas destinadas al manejo de esta patología en la elaboración de croquetas (NMX-Y-358-SCFI-2017) según instituciones como la SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). La formulación basada en ingredientes de alta digestibilidad y bajo contenido fosfórico como el huevo, el camote y el ejote permitió obtener un alimento con carga proteica moderada, con densidad energética adecuada y con concentración mineral controlada, todos estos siendo elementos esenciales para reducir la progresión del daño renal y mantener la estabilidad metabólica del can.

Los resultados mostraron una humedad muy baja, textura estable y vida útil prolongada, lo cual resalta la eficacia del proceso de deshidratación y horneado. Obteniendo de esta manera un producto que difícilmente será contaminado con microorganismos por alto contenido de agua. Además, la inclusión de componentes como el aceite de salmón (rico en ácidos grasos omega-3) y el citrato de potasio, podría aportar beneficios antiinflamatorios y antioxidantes que refuerzan el producto.

Como perspectiva, podría tomarse en cuenta la realización de pruebas organolépticas con canes. Sumado a esto, un análisis estadístico podría ser reconsiderado. Los resultados obtenidos direccionan hacia la creación de una formulación que podría representar una alternativa nutricional prometedora, con potencial para ser implementada tanto en el ámbito clínico como en la producción artesanal o semiindustrial.

En conjunto, este trabajo aporta una propuesta de alimento que puede contribuir a mejorar la calidad de vida de los canes con ERC, ofreciendo una opción basada en fundamentos científicos del manejo nutricional renal.

Referencias

Purina. Todo sobre la insuficiencia renal en perros. (s/f). Com.mx. Recuperado de https://purina.com.mx/purina/perros/insuficiencia-renal-en-perros

De, F., Agropecuarias, C., Dayana, P., Vega, C., Javier, M., & Schuldt, A. (s/f). TRABAJO DE TITULACIÓN. Edu.ec. Recuperado de https://dspace.utb.edu.ec/server/api/core/bitstreams/e0896547-56db-4781-9995-b4679ea290da/content

Energía y los electrolíticos, L., otros., E., De anorexia, L. I. R. C. M. V. un P., & la ingestión energética., P. L. Q. D. (s/f). El tratamiento dietético es uno de los pilares esenciales dentro del manejo conservador de la insuficiencia renal (IR) canina y felina. Gracias a él vamos a conseguir disminuir la uremia, realizar un reequilibrio mineral y evitar el progreso de la enfermedad. Existen diversos factores en la dieta a tener en cuenta como el contenido hídrico, las proteínas, los lípidos. Vetpets.es. Recuperado el 23 de noviembre de 2025, de https://www.vetpets.es/wp-content/uploads/2013/04/01_Insuficienciarenal.pdf

(S/f). Royalcanin.es. Recuperado de https://vetacademy.royalcanin.es/wp-content/uploads/2019/11/Cap-8-Insuficiencia-renal-cronica-importancia-de-la-nutricion.pdf

Más, S. (s/f). Nutrición para la insuficiencia renal en perros. Vetsandclinics.com. Recuperado de https://vetsandclinics.com/es/nutricion-para-la-insuficiencia-renal-en-perros

Marín, H. A. (2023, noviembre 23). Los mejores piensos renales para perros según una veterinaria.Dogsplanet.com;DogsPlanet. https://www.dogsplanet.com/es/alimentacion/mejores-piensos-renales/

Luna, J., Widmer, L., & Feugier, A. (2022). Nutritional Management of Chronic Kidney Disease in Dogs: 2022 Update. Topics in Companion Animal Medicine, 49, 100664. https://doi.org/10.1016/j.tcam.2022.100664

Bernal, A. (2025, 16 octubre). ¿Pueden los perros comer huevo? Somos Maka. https://somosmaka.com/blogs/blog/pueden-los-perros-comer-huevo?utm_term=&utm_campaign=SU_Maxp_Low_new&utm_source=adwords&utm_medium=ppc&hsa_acc=2903208213&hsa_cam=21061220580&hsa_grp=&hsa_ad=&hsa_src=x&hsa_tgt=&hsa_kw=&hsa_mt=&hsa_net=adwords&hsa_ver=3&gad_source=1&gad_campaignid=21061221780&gbraid=0AAAAApAqcD1gusFZwRlAGEkuoeu5E1v2z&gclid=EAIaIQobChMIIPSr5emJkQMVNCRECB3E_R48EAAYASAAEgJkyPD_BwE

Soto Herrera, R. M., & Vila Custodio, E. M. (2023). Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta productora de alimento premium elaborado a base de camote (Ipomoea batatas) para perros adultos.

Seo, S. (2025, 3 octubre). Beneficios del camote en la alimentación canina. Pets Table. https://petstable.mx/blogs/blog/los-perros-pueden-comer-camote-beneficios-y-riesgos?srsltid=AfmBOop2xNb-7O-Sa6nC7psFv4gYkUFXktzNw6LTxzPMuMZFahZw6TzN

Nanoquímica, L. E. N. D. M. (s/f). P R O G R A M A DE L I C E N C I A T U R A EN D I S E Ñ O M O L E C U L A RN A N O Q U Í M I C A. Uaem.mx. Recuperado de https://www.uaem.mx/admision-y-oferta/nivel-superior/licenciatura-en-diseno-molecular-info.pdf

Elaboración de néctar de mango enriquecido con pectina extraída de cáscara de mango

Soto Álvarez Sandra | Universidad Tecnológica de San Juan del Río | ssotoa@utsjredu.mx

Briseño Ávila Marina Guadalupe | Universidad Tecnológica de San Juan del Río | marinaba.qi22@utsjr.edu.mx

Herrera Jaramillo Evelin | Universidad Tecnológica de San Juan del Río | evelinhj.qi22@utsjr.edu.mx

Rodríguez Anaya María Dolores | Universidad Tecnológica de San Juan del Río | doloresra.qi22@utsjr.edu.mx

Zea Ángeles Zayra Quetzali | Universidad Tecnológica de San Juan del Río | quetzaliza.qi22@utsjr.edu.mx

Estrella Chavero Zulma Flor | Universidad Tecnológica de San Juan del Río | zfestrellac@utsjr.edu.mx

Lemus Hernández Julio Cesar | Universidad Tecnológica de San Juan del Río | jclemush@utsjr.edu.mx

Dector Espinoza Andrés | SECIHTI – Universidad Tecnológica de San Juan del Río | andres_dector@live.com

Dector Diana | Universidad Tecnológica de San Juan del Río | diana_dector@live.com

Resumen

La industria del procesamiento de mango genera grandes cantidades de cáscara que comúnmente se desechan, a pesar de contener compuestos funcionales de alto valor, como la pectina. El objetivo de este estudio fue aprovechar la cáscara de mango como fuente de pectina natural para la formulación de un néctar de mango estabilizado. La pectina se obtuvo mediante extracción térmica asistida por ácido y se precipitó con etanol, mientras que el néctar se elaboró con pulpa de mango, agua, azúcar, ácido cítrico y la pectina extraída, seguido de un proceso de pasteurización a 70 – 80 °C durante 10 minutos. El producto final se caracterizó mediante análisis fisicoquímicos, obteniéndose un pH de 3.72, sólidos solubles totales de 13.8 °Brix y una acidez titulable de 0.544 % expresada como ácido cítrico. La presencia de pectina se confirmó mediante espectroscopía FTIR, observándose bandas características asociadas a polisacáridos. En conjunto, la incorporación de pectina derivada de la cáscara mejoró el valor funcional del néctar y promovió un uso sostenible de los residuos agroindustriales. Esta propuesta representa una alternativa viable para valorizar los subproductos del mango y mejorar la estabilidad y calidad de las bebidas a base de fruta.

Palabras clave: pectina, néctar de mango, FTIR.

Abstract

The mango processing industry generates large amounts of peel that are commonly discarded, despite containing valuable functional compounds such as pectin. This study aimed to use mango peel as a natural source of pectin to formulate a stabilized mango nectar. Pectin was obtained through acid-assisted thermal extraction and ethanol precipitation. The nectar was prepared using mango pulp, water, sugar, citric acid, and the extracted pectin, followed by pasteurization at 70 to 80 °C for 10 minutes. Physicochemical analysis of the final product showed a pH of 3.72, total soluble solids of 13.8 °Brix, and titratable acidity of 0.544%, expressed as citric acid. The presence of pectin was confirmed by FTIR spectroscopy, which revealed characteristic bands associated with polysaccharides. Overall, incorporating mango peel-derived pectin enhanced the nectar's functional value while promoting the sustainable use of agro-industrial waste. This approach offers a viable alternative for adding value to mango by-products and improving the stability and quality of fruit-based beverages.

Keywords: pectin, mango nectar, FTIR.

1. Introducción

La industria procesadora de mango genera grandes volúmenes de cáscara como subproducto, siendo éste rico en pectina. La pectina es un polisacárido ampliamente utilizado como estabilizante y espesante en bebidas y productos alimentarios. La valorización de este residuo rico en pectina representa una alternativa para reducir desperdicios y obtener insumos funcionales de bajo costo [Codex Alimentarius, 2005; NOM-173-SE-2021; Nom-051-SCFI/SSA1-2010].

En los néctares de fruta, la estabilidad físico-química depende en gran medida del contenido de pectina, la cual contribuye a la viscosidad, retención de pulpa y prevención de la separación de fases. Por ello, la incorporación de pectina extraída directamente de la cáscara de mango puede mejorar la calidad del producto y disminuir el uso de aditivos comerciales [Banerjee, J. 2016; Nguyen H. H. D. 2019; Tzompa-Sosa, D. A. 2024; Alvarado, J. D. 2017].

El objetivo de este estudio fue extraer pectina a partir de cáscara de mango e incorporarla en la formulación de un néctar, evaluando sus efectos sobre parámetros fisicoquímicos como pH, °Brix, acidez titulable y la confirmación estructural mediante FTIR.

2. Marco Metodológico

Materiales

Se emplearon mangos maduros en óptimas condiciones fisiológicas, libres de daño mecánico y signos de deterioro. La fruta se lavó con agua potable y se desinfectó mediante inmersión en una solución de hipoclorito de sodio a 100 ppm durante 5 minutos. A partir de la fruta se obtuvieron dos fracciones: pulpa para la formulación del néctar y cáscara para la extracción de pectina.

Los reactivos empleados fueron: etanol etílico al 96%, hidróxido de sodio 0.1 N, ácido cítrico grado alimenticio, indicador fenolftaleína y agua destilada. Por otra parte, los equipos e instrumentos empleados fueron: balanza analítica (±0.01 g), licuadora o molino de cuchillas, refractómetro digital (0 – 32 °Brix), potenciómetro calibrado con soluciones buffer pH 4 y 7, sistema de filtración (coladores finos y tela manta), recipientes de acero inoxidable, agitador manual, espectrómetro FTIR (rango 4000 – 400 cm^{-1}) y baño María para calentamiento controlado.

La extracción se llevó a cabo siguiendo un método convencional de hidrólisis ácida asistida por calor, con modificaciones para uso alimentario.

Primero, las cáscaras se separaron inmediatamente después del pelado, se lavaron nuevamente para retirar restos de pulpa y se colocaron en charolas en una estufa de secado a 50 – 60 °C durante 12–18 horas, hasta obtener una humedad baja que permitiera su molienda eficiente. Una vez secas, las cáscaras se trituraron en un molino de cuchillas hasta obtener partículas finas. Posteriormente, se pesaron 100 g del polvo de cáscara y se mezclaron con agua destilada en una proporción 1:20 (p/v). Se ajustó la acidez del medio mediante la adición de ácido cítrico hasta alcanzar un pH aproximado de 2.0 – 3.0, condición óptima para la solubilización de protopectinas. La mezcla se calentó a 80 °C durante 60 minutos, manteniendo agitación ocasional para favorecer la extracción. Una vez concluida la extracción, la suspensión se filtró utilizando tela manta para separar el extracto líquido. El filtrado se dejó reposar 5 minutos y posteriormente se adicionó etanol al 96% en una proporción de 1:2 (extracto: etanol), lo que permitió la precipitación de la pectina. La mezcla se mantuvo en reposo durante 20 minutos para favorecer la coagulación del polisacárido. Finalmente, el precipitado se recuperó por filtración y se lavó con etanol al 70% para eliminar restos de impurezas y azúcares solubles. La pectina lavada se dispuso en charolas y se secó durante 12 horas. Finalmente, se molió para obtener un polvo fino y se almacenó en un recipiente hermético para uso posterior [Martínez-Bustos. 2010; Lozano. 2008; FAO, 2019].

Formulación del néctar de mango

La formulación se desarrolló para obtener 5 L de néctar, utilizando la siguiente composición base:

Ingredientes	Cantidad
Pulpa de mango	**2 kilogramos**
Agua	3 litros
Azúcar	300 gramos
Ácido cítrico	**1 a 2 gramos**
Pectina extraída	0.2 a 0.5% p/v (equivalente a 10 – 25 gramos)

Tabla 1. Composición de ingredientes para obtención de formulación. [elaboración propia]

La metodología para el desarrollo de la formulación consistió en calentar el agua ligeramente (40 – 50 °C) para facilitar la disolución del azúcar y del ácido cítrico. Posteriormente, se incorporó la pulpa de mango previamente licuada y tamizada. La pectina seca se hidrató por separado en una pequeña cantidad de agua tibia y se añadió lentamente a la mezcla total bajo agitación constante para evitar la formación de grumos.

Finalmente, la mezcla formulada se sometió a pasteurización mediante un proceso de baja temperatura y tiempo prolongado (LTLT): 70–80 °C durante 10 minutos. El calentamiento se realizó en baño María, monitoreando continuamente la temperatura. Después del tratamiento, el néctar se envasó en caliente en botellas previamente esterilizadas.

Análisis fisicoquímicos del néctar

El análisis fisicoquímico de la formulación desarrollada consistió en la medición del pH con un potenciómetro previamente calibrado con soluciones buffer pH 4 y 7. Las mediciones se realizaron por triplicado.

Posteriormente, el contenido de °Brix se determinó utilizando un refractómetro digital. Se depositó una gota del néctar en el prisma y se registró el valor directo a temperatura ambiente.

La acidez se cuantificó mediante titulación con NaOH 0.1 N usando fenolftaleína como indicador. La acidez se expresó como % de ácido cítrico usando la ecuación:

$$Acidez\ (\%) = \frac{V_{NaOH} \times Eq.wt\ del\ ácido\ cítrico\ (0.064)}{mL\ de\ muestra} \times 100$$

La pectina extraída se analizó en un espectrómetro FTIR en el rango de 4000 – 400 cm^{-1}. Se identificaron las bandas características correspondientes a grupos funcionales típicos de pectina: a) 3200–3400 cm^{-1}: estiramiento O–H, b) 1600–1750 cm^{-1}: estiramiento C=O de grupos carboxílicos y c) 1200–950 cm^{-1}: región de huella dactilar asociada a polisacáridos.

3. Avances y Hallazgos

Propiedades fisicoquímicas del néctar de mango

El néctar formulado con pectina extraída de cáscara de mango fue evaluado mediante análisis fisicoquímicos para determinar su estabilidad y calidad. Los valores obtenidos se presentan en la tabla 2.

Parámetro	Valor obtenido	Unidad	Interpretación
pH	**3.72**	**–**	**Dentro del rango óptimo de estabilidad para néctares.**
Sólidos solubles (°Brix)	13.8	**°Brix**	**Indica un contenido adecuado de azúcares y compuestos solubles.**
Acidez titulable	0.54 %	**% ácido cítrico**	**Compatible con bebidas acidificadas y contribuye a estabilidad.**

Color (observación	**Amarillo intenso**	–	**Apariencia homogénea sin separación de fases.**

Tabla 2. Valores obtenidos de los análisis fisicoquímicos realizados a la formulación de néctar de mango con pectina extraída de cáscara de mango. [elaboración propia].

Caracterización de la pectina mediante FTIR

La pectina extraída se analizó por espectroscopía FTIR para confirmar la presencia de grupos funcionales característicos del polisacárido. El análisis FTIR permitió confirmar la presencia de grupos funcionales típicos de pectina, como se observa en la Figura 1.

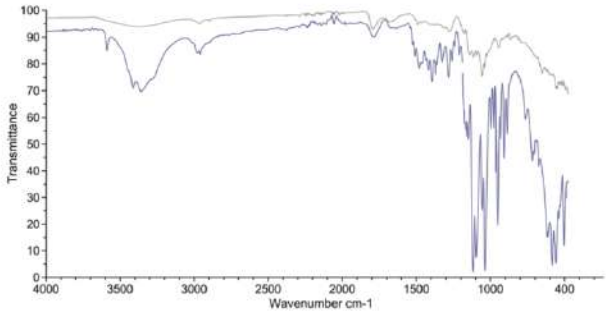


Figura 1. Espectro FTIR de la pectina extraída de cáscara de mango. [elaboración propia]

La dimensión aplicada de la propuesta resultó determinante para la construcción de aprendizajes significativos. Los estudiantes pudieron experimentar situaciones similares a las de su futuro desempeño profesional, lo que incrementó su motivación y facilitó la transferencia del conocimiento a contextos reales.

El espectro evidencia las bandas características de la pectina en la extracción de pectina de cáscara de mango respecto a la pectina grado reactivo.

Según los resultados, el número de onda encontrado ~3300 cm^{-1} en la muestra de pectina extraída de cáscara de mango y comparado con la pectina, corresponde al estiramiento O–H, el cual en valores de 3200-3400 cm^{-1} es asociado a grupos hidroxilo típicos de polisacáridos. Otro valor característico encontrado que nos indica la presencia de pectina en la extracción de pectina de cáscara de mango fue el de ~1730 cm^{-1}, el cual se localiza dentro del rango de 1730-1750 cm^{-1} correspondiente al estiramiento C=O de grupos ésteres, y que nos indica la presencia de grupos metoxilo.

Finalmente, otro valor destacado de número de onda encontrado en la muestra de pectina extraída de cáscara de mango fue el que se encuentra en el rango de 1200–950 $cm^{-}1$, el cual está relacionado con corresponder a la región de huella dactilar de polisacáridos y que en este caso nos confirma la estructura típica de la pectina. Todos estos resultados según el análisis de FTIR confirman la presencia de pectina en la muestra analizada.

4. Reflexión Académica

Los resultados fisicoquímicos obtenidos para el néctar de mango formulado con pectina extraída de la cáscara de mango indican que el producto cumple con parámetros adecuados para bebidas a base de frutas. El pH de 3.72 se encuentra dentro del intervalo esperado para néctares de mango (3.0–4.0), lo cual contribuye tanto a la estabilidad microbiológica como a la preservación del color y sabor. Este valor también es consistente con formulaciones reportadas previamente en la literatura, donde la acidez natural del mango, en combinación con ácido cítrico añadido, mantiene el producto en un rango seguro y sensorialmente aceptable.

El contenido de sólidos solubles (13.8 °Brix) coincide con los valores típicos de néctares comerciales y artesanales, los cuales se sitúan generalmente entre 12 y 16 °Brix. Esto sugiere que la concentración de azúcares y compuestos solubles presentes en el producto es adecuada para lograr una buena percepción sensorial y una viscosidad apropiada. Asimismo, la acidez titulable obtenida (0.544 % expresada como ácido cítrico) se encuentra dentro del rango característico de bebidas acidificadas a base de fruta, lo que confirma que la formulación mantiene un equilibrio adecuado entre dulzor y acidez.

La incorporación de pectina extraída de cáscara de mango demostró ser efectiva como agente estabilizante. La ausencia de separación de fases

durante la observación inicial sugiere que la pectina proporcionó suficiente viscosidad y retención de pulpa, características deseables en néctares. Esto coincide con estudios previos donde la pectina de origen vegetal se ha empleado con éxito para mejorar la textura y la estabilidad de bebidas frutales, reduciendo la dependencia de aditivos sintéticos.

La caracterización espectroscópica mediante FTIR confirmó la identidad del biopolímero extraído. Las bandas observadas en el espectro coinciden con las señales típicas de la pectina: una banda amplia entre 3200–3400 cm^{-1} correspondiente al estiramiento O–H; señales alrededor de 1730–1750 cm^{-1} asociadas al estiramiento C=O de grupos éster; y bandas en la región de 1600–1630 cm^{-1} atribuibles a carboxilatos derivados del ácido galacturónico. La región comprendida entre 1200 y 950 cm^{-1}, considerada la huella dactilar de polisacáridos, refuerza la presencia de estructuras propias de pectinas parcialmente esterificadas. Estas características coinciden con reportes de pectinas extraídas de residuos agrícolas bajo condiciones similares de extracción térmica y precipitación alcohólica.

En conjunto, como proyección a futuro, los resultados demuestran que la pectina obtenida a partir de la cáscara de mango posee las características funcionales necesarias para su aplicación en néctares que puedan incluso llegar a comercializarse con un alto valor nutrimental, además que su incorporación permitiría obtener productos estables, con propiedades fisicoquímicas adecuadas. Aunque como limitante hasta ahora en el desarrollo del proyecto pudiera ser los costos involucrados en el proceso, esta pudiera analizarse a detalle en etapas posteriores. Además, este enfoque promueve el aprovechamiento de residuos agroindustriales, contribuyendo a estrategias de valorización de subproductos y desarrollo de alternativas sostenibles para la industria alimentaria.

5. Referencias

Codex Alimentarius. (2005). Norma general para jugos y néctares (CODEX STAN 247-2005). FAO/OMS.

NOM-173-SE-2021. Bebidas no alcohólicas con contenido de vegetales o de fruta – Denominaciones, especificaciones y métodos de prueba. Diario Oficial de la Federación, México.

NOM-051-SCFI/SSA1-2010. Especificaciones generales de etiquetado para alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasados – Información comercial y sanitaria. Diario Oficial de la Federación, México.

Banerjee, J., Vijayaraghavan, R., Arora, A., & Balasubramanian, S. (2016). Lemon juice based extraction of pectin from mango peels: Waste to wealth by sustainable approaches. ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 4(6), 3240–3247. https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.6b01342

Nguyen, H. H. D., Nguyen, H. V. H., & Savage, G. P. (2019). Properties of pectin extracted from Vietnamese mango peels. Foods, 8(12), 629. https://doi.org/10.3390/foods8120629

Tzompa-Sosa, D. A., Ramírez-Guzmán, N. E., & Aguilar-Olivas, M. A. (2024). Optimization of mango peel pectin extraction (Mangifera indica L.). Current Research in Food Science, 7, 100412. https://doi.org/10.1016/j.crfs.2024.100412

Alvarado, J. D., & Aguilar, C. N. (2017). Tecnología de alimentos: Procesos en la industria de jugos y néctares. Universidad Autónoma de Coahuila.

Martínez-Bustos, R., Figueroa, J., & Morales, M. (2010). Procesamiento de jugos y néctares de frutas tropicales: Avances y perspectivas. Revista Mexicana de Ingeniería Química, 9(3), 291–302.

Lozano, J., & Espinosa, M. (2008). Efecto de la pasteurización sobre la calidad de jugos de frutas tropicales. Revista de la Facultad de Ciencias Agroalimentarias, 26(2), 45–56.

FAO. (2019). El mango: Producción, poscosecha y procesamiento. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Aplicación del Diagrama de afinidad en la identificación de la problemática de los sanitarios del Cetis 105 mediante el Aprendizaje basado en Proyectos

Verónica Ángeles Hernández | Centro de Estudios Tecnológicos industrial y de servicios No. 105 | veronica.angeles@cetis105.edu.mx

Oswaldo Israel Cruz Martínez | Centro de Estudios Tecnológicos industrial y de servicios No. 105 | oswaldo.cruz@cetis105.edu.mx

Rubén Góngora | Centro de Estudios Tecnológicos industrial y de servicios No. 105 | ruben.gongora@cetis105.edu.mx

Resumen

Este artículo presenta un estudio en proceso que explora la experiencia a través del Aprendizaje Basado en Proyectos aplicado como estrategia pedagógica que convierte al estudiante en protagonista de su propio aprendizaje. El trabajo se enmarca en un enfoque cualitativo y se centra en los alumnos del Cetis 105 de sexto semestre de la especialidad de Producción Industrial, quienes mediante el Diagrama de afinidad identifican la percepción de los usuarios de los baños mediante un cuestionario, presentando al final un informe de investigación basado en el Concurso Nacional de Prototipos y Proyectos de Emprendimiento. Esta reflexión aporta a la conversación sobre innovación educativa y el desarrollo de experiencias de aprendizaje significativas en contextos de educación media superior y superior.

Palabras clave: diagrama de afinidad, aprendizaje basado en proyectos, metodologías activas del aprendizaje

Abstract

This article presents an ongoing study exploring the experience of project-based learning as a pedagogical strategy that empowers students to take ownership of their learning. The work employs a qualitative approach and focuses on sixth-semester students specializing in Industrial Production at Cetis 105. Using an affinity diagram, these students identify user perceptions of restrooms through a questionnaire, culminating in a research report based on the National Competition for Prototypes and Entrepreneurial Projects. This reflection contributes to the ongoing discussion on educational innovation and the development of meaningful learning experiences in higher education settings.

Keywords: affinity diagram, project-based learning, active learning methodologies

1. Introducción

Los aprendizajes significativos guardan suma relevancia en las metodologías activas de aprendizaje; los estudiantes hoy más que nunca buscan que lo aprendido guarde relación con lo previamente aprendido, pero sobre todo que sea un contenido relevante, comprobable y con aplicación en la vida diaria. Aun cuando el estudiante es el protagonista de su aprendizaje, requiere de la función directiva del profesor, quien no solo presentará la cultura y el aprendizaje en general de forma atractiva, sino que además deberá conseguir que quien aprenda construya sus contenidos y los transforme en aprendizajes. Cabe destacar que las metodologías activas juegan un papel relevante para lograr dicho cometido (Bernal González & Martínez Dueñas, 2009).

El Centro de Estudios Tecnológicos Industrial y de Servicios 105 (Cetis 105) pertenece a la Dirección General de Educación Tecnológica Industrial (DGETI), donde se ofrece el Bachillerato Tecnológico con una formación profesional, en el cual los alumnos deben adquirir competencias profesionales que les permitan desarrollarse en el área laboral al egresar. Para que los alumnos puedan ver aplicados sus conocimientos teóricos de la carrera de Producción Industrial, se puede recurrir a la utilización de estrategias pedagógicas como el Aprendizaje Basado en Proyectos. Por estas causas se propone a los alumnos que, con base en sus conocimientos adquiridos durante el sexto semestre, se identifique alguna problemática en su entorno más próximo (en este caso en el plantel) y que se aplique el Diagrama de Afinidad como una herramienta para organizar una gran cantidad de opiniones y datos diversos en grupos basados en sus semejanzas para tomar decisiones colaborativas.

La incorporación de nuevas formas de enseñanza en el aula ha generado transformaciones importantes en la manera en que los estudiantes se relacionan con el conocimiento. Diversas experiencias documentadas en el campo educativo sugieren que cuando los docentes diseñan situaciones de aprendizaje vinculadas al contexto real de los estudiantes, la motivación y la participación aumentan de manera significativa.

¿Cómo influye el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) en el desarrollo de competencias laborales en alumnos del Cetis 105 (Diagrama de afinidad), tanto socioemocionales (trabajo en equipo, resolución de problemas) como técnicas, para permitirles identificar y diagnosticar las problemáticas operativas y de servicio en los baños del Cetis 105 en el periodo febrero-julio del 2026? A partir de esta situación, la presente propuesta se orienta por la siguiente pregunta: ¿De qué manera el Aprendizaje Basado en Proyectos puede ayudar como estrategia pedagógica para que los alumnos del Cetis 105 alcancen sus competencias profesionales en la utilización del Diagrama de Afinidad para identificar las problemáticas en los baños del plantel? En lugar de aprender el Diagrama de Afinidad de manera teórica, tratar de identificar e intentar resolver una problemática de su entorno más próximo puede generar mayor interés y compromiso en el proyecto. Les permite desarrollar una mayor habilidad de observación; asimismo, realizar encuestas y entrevistar a la comunidad estudiantil, administrativa y de servicios sobre las diferentes fallas en los baños desarrolla sus habilidades de comunicación y recolección de información, además de toda la contribución que puede dar el trabajo colaborativo y la toma de decisiones en un ambiente empático. Esto se aplica para cumplir con las competencias profesionales de la especialidad de Producción Industrial durante el periodo febrero-julio 2026.

Esta propuesta se desarrolla desde un enfoque cualitativo de tipo descriptivo, orientado a comprender los procesos y significados que emergen de la práctica educativa documentada. El trabajo se realiza en el Cetis 105 del subsistema DGETI en el nivel medio superior con la participación de 4 alumnos de la especialidad de Producción Industrial para cumplir las competencias laborales de los planes de estudio en el submódulo titulado “Mejora los procesos aplicando herramientas de Calidad”; también se cuenta con la colaboración de 2 docentes como asesores del proyecto durante el sexto semestre de la especialidad en el periodo febrero-julio del 2026.

Las técnicas de recolección de datos que se utilizaron fueron un formulario de Google enviado a los alumnos y docentes, mientras que para directivos y personal de servicios generales se llevó a cabo una entrevista estructurada. Se empleó además la observación como instrumento de registro sistemático y directo del fenómeno a través de visitas en diferentes horarios y en ambos turnos, incluyendo evidencias fotográficas para documentar la situación durante el proceso de investigación. Para la recopilación de información se emplean registros de observación, cuestionarios de percepción aplicados a los participantes y análisis de producciones académicas. Los datos se analizan mediante categorización temática, lo que permite identificar patrones y tendencias. La fase de investigación se sitúa en TRL1 (principios básicos observados), donde se reportan los primeros hallazgos científicos al aplicar el Diagrama de afinidad como herramienta para identificar problemáticas en los baños aplicando ABP. Al momento de redactar este avance, la experiencia se encuentra en su primera fase de implementación (en una segunda fase se realizará la propuesta de mejora y se documentarán los hallazgos), por lo que se presentan a continuación hallazgos preliminares.

La primera fase contemplada ya está completa; consiste primeramente en que los alumnos tengan conocimientos previos de las herramientas estadísticas y gerenciales de calidad. Una vez cubierto esto, de forma grupal se utiliza el Diagrama de Afinidad como una herramienta visual para organizar una cantidad grande de ideas de manera colectiva, agrupándolas de forma natural al buscar semejanzas entre ellas, logrando con esto un consenso visual sobre la problemática de los baños. De este modo se obtuvo un cuestionario grupal aplicado a alumnos, docentes, directivos y personal de servicios generales. Posterior a esto, se procesaron los datos obtenidos elaborando gráficos que proporcionaron la información esperada, se realizó un análisis de los resultados y se redactaron las conclusiones.

Hasta el momento, la experiencia ha permitido identificar algunas tendencias relevantes en relación con el interés de los alumnos en la aplicación del Diagrama de afinidad, observando que permite tomar decisiones e identificar situaciones. Con esto se obtiene un producto útil tanto para identificar problemáticas como para realizar propuestas de mejora sin confrontaciones, fomentando el trabajo colaborativo y la empatía. Los primeros registros indican que los estudiantes muestran interés al darse cuenta de que la aplicación práctica de los conocimientos teóricos permite identificar causas de problemáticas y desarrollar un análisis situacional en busca de una mejora continua en un ambiente colaborativo.

Esta tendencia es consistente con lo reportado por Medina y Tapia (2017), quienes afirman que el Aprendizaje Basado en Proyectos es considerado una metodología o estrategia de enseñanza-aprendizaje donde los estudiantes protagonizan su propio aprendizaje, desarrollando un proyecto de aula que permite aplicar los saberes adquiridos sobre un producto o proceso específico, poniendo en práctica todo el sistema conceptual para resolver problemas reales. Al abordar el proceso de enseñanza-aprendizaje desde una perspectiva interdisciplinar, se incorpora una metodología innovadora que sitúa la enseñanza en una dimensión transformadora, capaz de dar respuesta a las diferentes demandas de los distintos campos profesionales, sociales y científicos.

Morera y Pechuán (2012) afirman que podemos definir el *affinity diagram* (diagrama de afinidad) como una representación gráfica que combina información cualitativa y cuantitativa, y que refleja el resultado de un pensamiento grupal, indicando la agrupación de las ideas por su similitud o cercanía, así como la importancia relativa de las mismas.

De acuerdo con Juárez Pulido y Rasskin Gutman (2019), la metodología cooperativa en pequeños grupos permite al alumnado la adquisición de competencias muy demandadas en el mercado laboral, tales como el liderazgo, la capacidad crítica, la comunicación, el trabajo en equipo, la división de tareas, la toma de decisiones, la resolución de conflictos o la coordinación en equipos multidisciplinares.

Lo cual abre preguntas adicionales sobre el siguiente paso por realizar, el cual propone elaborar una propuesta de mejora en el servicio de los baños del Cetis 105. Con estas acciones los estudiantes interactúan con el conocimiento, mejorando significativamente la retención y la aplicación práctica de lo aprendido.

2. Marco Metodológico

El enfoque y diseño de la investigación es cualitativo y de tipo descriptivo.

El enfoque cualitativo se utiliza comúnmente para descubrir y refinar preguntas de investigación. A veces, aunque no necesariamente, se prueban hipótesis (Grinnell, 1997). Con frecuencia se basa en métodos de recolección de datos sin medición numérica, como las descripciones y las observaciones. Por lo general, las preguntas e hipótesis surgen como parte del proceso de investigación, el cual es flexible y se mueve entre los eventos y su interpretación, así como entre las respuestas y el desarrollo de la teoría. Su propósito consiste en "reconstruir" la realidad tal como la observan los actores de un sistema social definido (Sampieri Hernández & Fernández Collado, 2004). Por Investigación cualitativa entendemos cualquier tipo de investigación que produce hallazgos a los que no se llega por medio de procedimientos estadísticos u otros medios de cuantificación. Puede tratarse de investigaciones sobre la vida de la gente, las experiencias vividas, los comportamientos, emociones y sentimientos, así como el funcionamiento organizacional, los movimientos sociales, los fenómenos culturales y la interacción entre naciones. Algunos de los datos pueden cuantificarse (por ejemplo, censos o antecedentes), pero el grueso del análisis es interpretativo (Strauss & Zimmerman, 2002). Afirman Guevara y Verdesoto (2020) que la elección del tipo de investigación determinará los pasos a seguir del estudio y servirá de guía para el investigador en cuanto a técnicas y métodos a emplear. En general, determina todo el enfoque de la investigación, influyendo en los instrumentos y en la manera de analizar los datos recabados. Así, la selección del tipo de investigación constituye un paso fundamental en la metodología. La investigación descriptiva se efectúa cuando se desea describir una realidad en todos sus componentes principales. La investigación explicativa es aquella de relación causal que no solo persigue describir o acercarse a un problema, sino que intenta precisar sus causas, valiéndose de diseños experimentales y no experimentales. La investigación experimental se centra en controlar el fenómeno a estudiar y emplea el razonamiento hipotético-deductivo, muestras representativas y metodología cuantitativa para analizar datos. El presente trabajo adopta un diseño de investigación-acción, ya que permite al docente-investigador reflexionar sobre su propia práctica e introducir mejoras a partir de la evidencia generada. Esta elección metodológica se justifica por la naturaleza participativa y contextualizada del problema de estudio. A continuación, se describe parte del referente teórico y conceptual que sustenta la propuesta pedagógica. Según Serna Gómez y Díaz Peláez (2013), las metodologías activas brindan una atractiva alternativa al educador tradicional para enfatizar lo que aprende el estudiante por encima de lo que enseña el docente, generando mayor comprensión, motivación y participación en su proceso de aprendizaje. De esta manera, la metodología activa se refiere a todas aquellas formas de dirigir las clases que tienen por objetivo implicar a los estudiantes en su propio proceso de aprendizaje. En conclusión, se pasa de una enseñanza centrada en el profesor a una centrada en el estudiante; es decir, de la educación bancaria al aprendizaje creativo. El profesor en este nuevo entorno debe cambiar la pregunta inicial al encontrarse con los estudiantes: esta debe ser "¿qué vamos a aprender?", y nunca "¿qué voy a enseñar?". Creer en este nuevo paradigma abrirá las puertas a las metodologías activas. De acuerdo con Maldonado Pérez (2008), el ABP implica formar equipos integrados por personas con perfiles, disciplinas, profesiones e idiomas diversos que trabajan juntos para realizar proyectos con el propósito de solucionar problemas reales. Estas diferencias ofrecen grandes oportunidades para el aprendizaje y preparan a los estudiantes para trabajar en un ambiente y una economía cambiantes. Para que los resultados del trabajo en equipo bajo el Aprendizaje Basado en Proyectos sean exitosos, se

requiere de un diseño instruccional definido, roles claros y fundamentos de diseño de proyectos. Emplear el ABP como estrategia didáctica se considera relevante al considerar que: (a) la metodología de proyectos permite lograr aprendizajes significativos al surgir de actividades relevantes para los estudiantes que trascienden lo curricular; (b) permite la integración de asignaturas, reforzando la visión de conjunto de los saberes humanos; (c) permite organizar actividades en torno a un fin común definido por los intereses de los estudiantes y el compromiso adquirido; y (d) fomenta la creatividad, la responsabilidad individual, el trabajo colaborativo y la capacidad crítica. Según Muñoz y Bautista Paz (2007), existen diferentes herramientas para la clasificación de conceptos no cuantificables. En este trabajo se utiliza la metodología KJ, que consiste en clasificar conceptos con base en la afinidad de las imágenes que estos invocan en la mente del clasificador. Diferentes autores han demostrado que ciertas características del lenguaje inhiben la creatividad, por lo que la actuación a través de imágenes implica un esfuerzo consciente para romper la dependencia sintáctica y liberar el verdadero significado de los datos cualitativos. El método KJ está pensado para aprovechar el potencial creativo de un grupo, alcanzando su máximo rendimiento con alrededor de 10 miembros. El método propone realizar una primera agrupación de ideas y, posteriormente, una segunda y tercera agrupación para finalmente estudiar las relaciones causales entre los grupos del último nivel. Las agrupaciones se deben realizar de forma consensuada y priorizarse por votación. El presente trabajo se basa en las metodologías empleadas durante esta investigación: el Diagrama de afinidad y el Aprendizaje Basado en Proyectos aplicados en un grupo de la especialidad de Producción Industrial como una dinámica para desarrollar empatía hacia la situación y analizar profundamente el entorno actual, construyendo su propio conocimiento para lograr la meta propuesta. En esta combinación, el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) estructuró el proyecto y el Método del Diagrama de Afinidad KJ (creado por Jiro Kawakita) sirvió como herramienta clave de pensamiento de diseño para procesar la experiencia del servicio de los baños. Con el ABP se otorga protagonismo y autonomía a los alumnos, mientras que el Diagrama de afinidad permite organizar el conjunto de opiniones sobre la problemática. Desde esta perspectiva, el diseño de la intervención parte del supuesto de que, al aplicar el Aprendizaje Basado en Proyectos y el Diagrama de afinidad, los alumnos lograrán aplicar los conocimientos adquiridos en el entorno escolar. Las técnicas e instrumentos principales de la investigación fueron la lluvia de ideas (generada mediante el Diagrama de afinidad) y métodos de análisis cuantitativo y cualitativo (recopilación de datos, histogramas, diagrama de Ishikawa). La aplicación del ABP favorece el desarrollo del pensamiento crítico de los alumnos, el trabajo en equipo en el componente laboral y el respeto hacia las opiniones ajenas, evitando conflictos mediante el uso del Diagrama de afinidad. Esta dinámica combinada ofrece la oportunidad de ser reproducible en cualquier grupo, ya sea escolar o en el ámbito laboral.

Memoria y Contexto

La implementación de la propuesta se organiza en tres momentos: diagnóstico inicial, desarrollo o intervención, y valoración de resultados. Cada etapa cuenta con actividades, instrumentos y criterios de seguimiento claramente definidos. La propuesta didáctica incorpora estas ideas creando entornos de aprendizaje ricos en contexto. Cada pieza de información presentada en la plataforma está cuidadosamente integrada en un entorno virtual que proporciona un contexto relevante y significativo; esto se manifiesta, por ejemplo, en entornos diseñados para replicar situaciones del ámbito profesional del estudiante. Esta investigación es cualitativa dado que se espera que durante el proceso los alumnos involucrados en la aplicación del ABP y el Diagrama de afinidad adquieran habilidades para el trabajo y la vida personal o laboral. Su enfoque es descriptivo porque, tras esta experiencia, los alumnos pueden describir una situación mediante las habilidades adquiridas, reflejando el desarrollo de un pensamiento crítico. Esta propuesta se fundamenta en un enfoque de investigación cualitativo centrado en la práctica educativa y orientado hacia la mejora continua del proceso de enseñanza-aprendizaje. Se busca

comprender los procesos, percepciones y resultados generados a partir de la intervención didáctica propuesta desde una perspectiva reflexiva y participativa.

Métodos

1. La técnica metodológica utilizada es el Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP), el cual consta de los siguientes pasos: 1. Clarificar términos y conceptos (compartir conocimientos previos, proponer explicaciones o hipótesis); 2. Definir el problema (identificar y formular de qué trata la problemática); 3. Analizar el problema (lluvia de ideas); 4. Hacer un resumen sistemático (organizar y clarificar ideas); 5. Formular objetivos (definir qué debe investigar el equipo); 6. Estudio independiente (investigar de forma individual buscando información confiable); 7. Compartir y sintetizar resultados (reunirse en grupo para debatir la información encontrada y llegar a una solución).

Asimismo, la utilización del Diagrama de Afinidad contempla los siguientes pasos: 1. Definir el problema o tema; 2. Generar ideas (lluvia de ideas); 3. Pegar tarjetas en una superficie; 4. Agrupar tarjetas por afinidad; 5. Crear tarjetas de cabecera (categorías); 6. Dibujar el diagrama final y analizar.

2. Se utiliza un enfoque de diseño centrado en el estudiante para desarrollar los componentes didácticos de la propuesta, asegurando que respondan a las necesidades reales del contexto educativo.

El método utilizado es el Diagrama de afinidad o KJ (creado por Jiro Kawakita), una herramienta visual para organizar y clasificar grandes cantidades de ideas, datos e información desordenada en grupos basándose en las relaciones naturales que existen entre ellos. El primer paso consiste en reunir al grupo y establecer el objetivo o la pregunta que se quiere resolver; cada miembro escribe sus ideas en notas adhesivas individuales (post-its) y las coloca en una pared o pizarra de forma aleatoria para que todos puedan verlas. El equipo coordinador mueve y agrupa las tarjetas según las relaciones encontradas (este paso se realiza en silencio para evitar discusiones prematuras); si una tarjeta encaja en dos grupos, se puede replicar. Posteriormente, se crean tarjetas de cabecera por categorías. Una vez formados los grupos, el equipo debate y asigna un nombre corto (tarjeta de afinidad), conecta los grupos visualmente y revisa los hallazgos para tomar decisiones o definir los siguientes pasos. La Figura 1 muestra el diagrama de afinidad construido por el grupo a partir de las preguntas guía sobre la problemática de los baños.

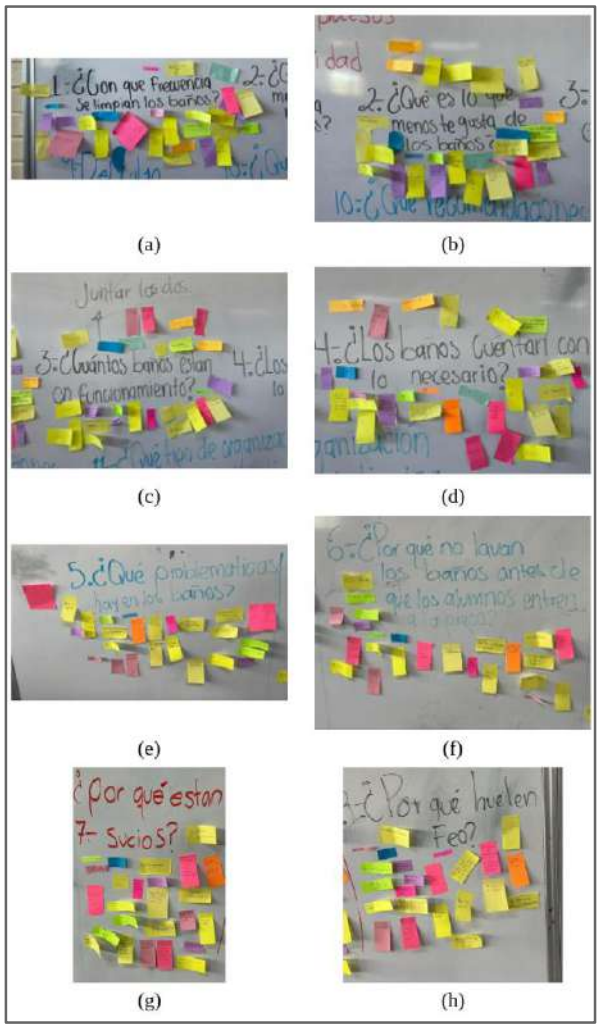


Figura 1. Diagrama de afinidad elaborado por los alumnos: (a) ¿Con qué frecuencia se limpian los baños?; (b) ¿Qué es lo que menos te gusta de los baños?; (c) ¿Cuántos baños están en funcionamiento?; (d) ¿Los baños cuentan con lo necesario?; (e) ¿Qué problemáticas hay en los baños?; (f) ¿Por qué no lavan los baños antes de que los alumnos entren a la prepa?; (g) ¿Por qué

están sucios?; (h) ¿Por qué huelen feo? Fuente: fotografías de Luisa Fernanda Palacios Villagómez, 2026.

3. El Aprendizaje Basado en Proyectos (ABP) funciona como un método porque sigue una serie de fases claras y secuenciales; también se considera una metodología activa porque transforma por completo el rol del alumno y sitúa al docente como guía. Asimismo, se conoce como técnica porque utiliza herramientas como la lluvia de ideas, el debate, el mapa conceptual o el trabajo colaborativo. Con base en una pregunta inicial se plantea un desafío o problema lo más real posible: los alumnos organizan al equipo, el tiempo y las tareas, buscando información y recopilando datos para resolver la situación. Finalmente, los estudiantes crean un producto final tangible (maqueta, video, aplicación, campaña, etc.).

Se realiza un estudio de caso en múltiples grupos y asignaturas, con el fin de evaluar la pertinencia y adaptabilidad de la propuesta en diferentes contextos académicos.

4. Como tercer instrumento o técnica metodológica, los alumnos entregan un informe del proyecto al final del semestre con los hallazgos obtenidos en la aplicación del Diagrama de afinidad. Este informe contiene: Introducción, planteamiento del problema, justificación, hipótesis, objetivo general, objetivos específicos, tipo de investigación, marco teórico, descripción del desarrollo e implementación, propuesta de valor, estudio de viabilidad, estudio de factibilidad técnica y financiera, análisis de resultados, conclusiones, referencias bibliográficas y anexos. Adicionalmente, realizan una presentación en PowerPoint por equipo donde comparten los resultados con sus compañeros, recibiendo retroalimentación tanto del docente como del grupo.

Se emplea un análisis interpretativo de las experiencias de los participantes, con el objetivo de comprender en profundidad el impacto de la propuesta en el aprendizaje y en las percepciones de los estudiantes.

Técnicas

1. Recurso digital principal de la propuesta: Se utiliza Google Classroom para el grupo específico donde se realiza la estrategia pedagógica ABP; mediante este medio se envía al alumno la información requerida para llevar a cabo todo el proceso, y los alumnos envían sus avances para recibir retroalimentación docente (la cual también se otorga de manera presencial durante las clases). Los alumnos deben entregar el documento de investigación engargolado y formateado según la norma APA 7.ª edición, además de compartir la versión digital con el profesor. Se emplea esta plataforma para gestionar representaciones digitales precisas de los entornos de aprendizaje físicos, facilitando la aplicación de la metodología activa y la creación de marcos de referencia espaciales robustos.

2. Respecto al instrumento o técnica metodológica, una vez que los alumnos tienen bien definido el objetivo de su proyecto, programan actividades principalmente orientadas al trabajo de campo. Ellos buscan espacios (incluso fuera y dentro de su horario de clase o a contraturno) para realizar inspecciones visuales y encuestar a alumnos, personal administrativo y personal de intendencia para obtener información más significativa. Las inspecciones visuales permitieron documentar el estado de las instalaciones (Figura 2) y concentrar las respuestas recabadas en un registro grupal (Figura 3).



Figura 2. Estado de los baños de los alumnos del CETis 105. Fuente: fotografía de Kimberly Carrillo, 2026.



Figura 3. Registro y conteo de respuestas en pizarrón. Fuente: elaboración de los alumnos participantes, 2026.

3. Se realiza observación directa de manera continua sobre las actividades que desarrollan los alumnos para el proyecto. La mayoría de las actividades se llevan a cabo dentro del horario escolar (4 horas diarias programadas), debido a que el programa de estudios de Producción Industrial requiere que los alumnos entreguen un proyecto con su respectivo informe de investigación al final del semestre. Por otra parte, los alumnos entregan un reporte diario con evidencias de las actividades realizadas y el avance logrado, el cual el docente revisa y firma.

4. No se llevaron a cabo entrevistas ni cuestionarios sobre las percepciones de los alumnos respecto a la aplicación de la estrategia pedagógica debido a que las características del grupo no lo permitieron; por ende, no se cuenta con ese dato específico. Sin embargo, en las conclusiones del trabajo final los alumnos expresaron haber aprendido considerablemente y manifestaron gran interés al aplicar la teoría en un caso real dentro de su entorno escolar.

5. Los registros de la actividad e interacción de los alumnos participantes correspondieron al avance del proyecto conforme al cronograma programado desde el inicio del semestre, así como a las calificaciones obtenidas al aplicar la rúbrica de evaluación. Todo ello se ve reflejado en un puntaje sumativo dividido en tres parciales. Se realiza un análisis con cada equipo sobre los avances y las calificaciones obtenidas mediante la rúbrica, proporcionando una retroalimentación pertinente donde los alumnos pueden reflexionar para mejorar.

Se analizan los registros de actividad e interacción de los participantes para identificar patrones de uso y construcción de conocimiento dentro de la propuesta.

Las estrategias de aprendizaje colaborativo se llevan a cabo durante todo el proceso mediante equipos de trabajo bien estructurados. Los reportes diarios permiten observar si algún integrante del equipo no ha realizado sus tareas asignadas, lo cual se refleja en el avance del proyecto y en la calificación grupal. Para asegurar que los integrantes sigan una dinámica de trabajo colaborativo, al inicio del semestre (antes de realizar los proyectos) se capacita a los alumnos mediante dinámicas de colaboración e integración.

La propuesta incorpora estrategias colaborativas que enriquecen la experiencia al combinar elementos de interacción social con los componentes activos del diseño didáctico, creando un ecosistema de aprendizaje más completo y efectivo.

Instrumentos

1. El instrumento de recolección de datos sobre los avances del proyecto consiste en una lista de cotejo para verificar el cumplimiento en tiempo y forma, y una rúbrica sumativa para la evaluación. El principal instrumento de esta propuesta es la actividad didáctica en sí

misma, la cual sirve como vehículo de intervención y recolección de datos. Su diseño se basa en principios pedagógicos que facilitan la navegación activa y el aprendizaje situado.

2. No se utilizaron entrevistas para explorar las percepciones de los alumnos sobre la experiencia de aprendizaje, ya que no se logró llevar a cabo esta fase.

3. Las herramientas de análisis cualitativo de datos para procesar transcripciones de entrevistas y notas de observación no se han empleado, debido a que hasta el momento no se han aplicado entrevistas o cuestionarios de percepción. La información disponible proviene de listas de cotejo, rúbricas y reportes diarios.

4. El seguimiento y revisión del avance del proyecto se realiza mediante dos instrumentos: una lista de cotejo para verificar el cumplimiento del cronograma, y una rúbrica con escala numérica que otorga una calificación parcial y permite al alumno identificar áreas de mejora por sí mismo. De este modo, el docente cuenta con insumos para ofrecer una retroalimentación más fructífera.

La implementación de la propuesta se organiza en las siguientes fases:

1. La propuesta se diseña partiendo del plan de estudios de la especialidad de Producción Industrial, el cual requiere la presentación de un proyecto al final del curso. La estrategia aprovecha la Convocatoria del Concurso Nacional de Prototipos y Proyectos de Emprendimiento que organiza la DGETI. Se presenta a los alumnos dicha convocatoria y su guía de operación, siendo obligatorio cumplir con sus lineamientos a lo largo del semestre. Previo al inicio de clases, se elabora la planeación didáctica junto con los instrumentos de evaluación (lista de cotejo y rúbrica para evaluar el proyecto en sus tres momentos).

2. Implementación y prueba piloto: la propuesta se pone en marcha en grupos seleccionados. Los docentes reciben formación sobre los fundamentos teóricos y prácticos del enfoque. Durante esta fase se observa cómo los estudiantes interactúan con la propuesta, recabando datos de interacción y aprendizaje.

Esta propuesta se implementa únicamente en el grupo de sexto semestre de Producción Industrial del turno correspondiente para cumplir con las competencias que exige el plan de estudios. El docente debe contar al menos con una participación previa en el Concurso Nacional de Prototipos y Proyectos Emprendedores y haber recibido la capacitación que ofrece la DGETI. Durante esta fase se observa cómo interactúan los estudiantes con la propuesta; el seguimiento es constante dentro del horario de clase y se refuerza mediante los reportes diarios elaborados por los alumnos, concentrando la información en una base de datos.

3. Evaluación y refinamiento de la propuesta a partir del análisis integrador de los datos recopilados. Los hallazgos orientan ajustes y mejoras iterativas en el diseño didáctico.

Esta estructura metodológica permite una evaluación integral de la propuesta, tomando en cuenta tanto la eficacia en términos de aprendizaje como su capacidad para crear experiencias educativas significativas y transformadoras. El enfoque metodológico integra saberes de distintas disciplinas del componente básico (redacción de textos, matemáticas, física, química, cultura digital), lo que permite abordar de manera holística los desafíos de diseñar experiencias de aprendizaje cognitivamente significativas y pedagógicamente efectivas. En suma, la metodología de esta propuesta representa un avance significativo en la práctica educativa. Asimismo, se identificaron áreas de oportunidad relacionadas con el desarrollo de habilidades académicas como la organización y el trabajo colaborativo. Estos hallazgos orientan las decisiones de la siguiente fase del trabajo y abren diversas posibilidades para el futuro académico, profesional y personal de los alumnos, fortaleciendo sus competencias

investigativas, pensamiento crítico, autonomía, capacidad de análisis y generación de propuestas ante problemáticas de su contexto. En conjunto, estos primeros hallazgos representan una base sólida para continuar con las siguientes fases del trabajo y ajustar los componentes que lo requieran.

3. Avances y Hallazgos

Hallazgos preliminares

Los hallazgos preliminares observados durante este trabajo son:

- **Académicos-científicos**
- **Formativos**

Los alumnos lograron adquirir habilidades para identificar problemáticas de su entorno más próximo, así como globales, pudiendo formular propuestas de solución viables. Demostraron dominio del método científico (planteamiento de problemas, hipótesis, delimitación, selección de variables y estructuración del marco teórico y desarrollo del proyecto). Los primeros registros obtenidos en esta etapa del trabajo muestran tendencias relevantes en torno a la sistematización del análisis cualitativo. De manera general, se aprecia que los participantes muestran una mayor autonomía en la organización e integración de la información recolectada.

Tabla 1. Organización de avances por categoría de análisis
Categoría 1: Condiciones de higiene y limpieza de los baños
Se identificó una falta constante de limpieza, presencia de basura y malos olores en los baños durante el diagnóstico inicial.
Tras la intervención, se observaron mejoras parciales en la limpieza, especialmente en horarios posteriores a las campañas de concientización.
Categoría 2: Uso y comportamiento de los estudiantes
Se detectó un uso inadecuado de las instalaciones, reflejado en el mal manejo de residuos y descuido de los espacios.
Se observaron cambios iniciales en los hábitos, como mayor disposición para mantener limpio el espacio y respetar normas básicas.
Categoría 3: Participación y conciencia estudiantil
Se evidenció poca conciencia sobre la importancia del cuidado de los baños como espacio común.
Con las actividades implementadas, aumentó la participación de los estudiantes y su interés en contribuir a la mejora del entorno.
Categoría 4: Disponibilidad de insumos y mantenimiento
Se identificó la falta de insumos básicos como jabón, papel higiénico y botes de basura suficientes.
Se logró una mejora parcial mediante la gestión de recursos y coordinación con el personal de limpieza.
Categoría 5: Impacto de la intervención educativa
Las campañas de concientización permitieron generar reflexión en los estudiantes sobre hábitos de higiene.
Se evidenció que las estrategias dinámicas y colaborativas favorecen cambios positivos, aunque requieren continuidad.
Dificultades o retos encontrados
Se presentó dificultad para mantener de manera constante las mejoras en la limpieza, debido a la falta de seguimiento continuo.
Se identificó la necesidad de reforzar la supervisión y asegurar el suministro permanente de insumos para lograr resultados sostenibles.

Tabla 1. Hallazgos preliminares por categoría de análisis (Elaboración propia).

Finalmente, los resultados preliminares indican que la propuesta tiene un impacto positivo inicial, ya que se lograron pequeñas mejoras en la limpieza y en la percepción de los estudiantes. No obstante, también se reconocen áreas de oportunidad, como la necesidad de reforzar la supervisión.

El procesamiento de los datos con las herramientas de calidad permitió a los alumnos jerarquizar la problemática. El mal olor fue el problema más reportado, muy por encima de la limpieza, el estado de los lavamanos y la falta de papel (Figuras 4 y 5). El análisis de Pareto señaló la falta de responsabilidad de los usuarios como la causa principal (Figura 6), lo que coincide con el diagrama de Ishikawa, que agrupa las causas en personas, métodos, materiales y entorno (Figura 7). El diagrama de dispersión sugiere que la calificación de limpieza disminuye conforme aumenta el uso del baño (Figura 8). Por último, la gráfica de promedios muestra la variación entre las muestras registradas (Figura 9).

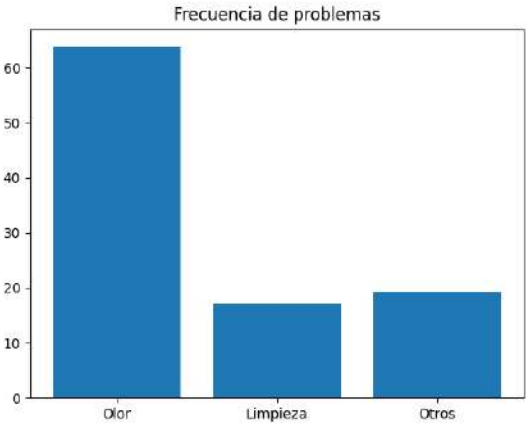


Figura 4. Frecuencia de problemas reportados en los baños. Fuente: José Manuel López Hernández, 2026.

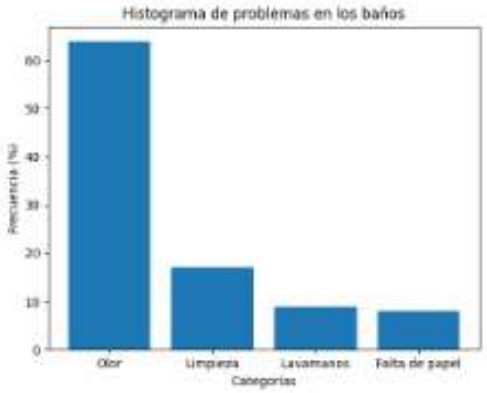


Figura 5. Histograma de problemas en los baños por categoría. Fuente: elaboración de los alumnos participantes, 2026.

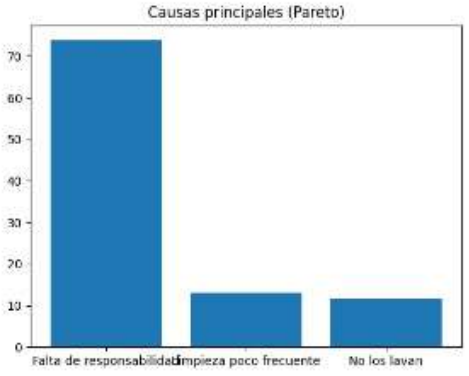


Figura 6. Diagrama de Pareto de las causas principales. Fuente: elaboración de los alumnos participantes, 2026.

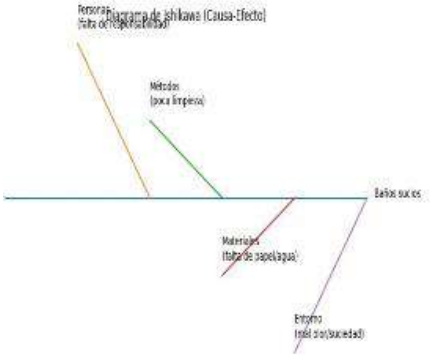


Figura 7. Diagrama de Ishikawa (causa-efecto) de la problemática de los baños. Fuente: elaboración de los alumnos participantes, 2026.

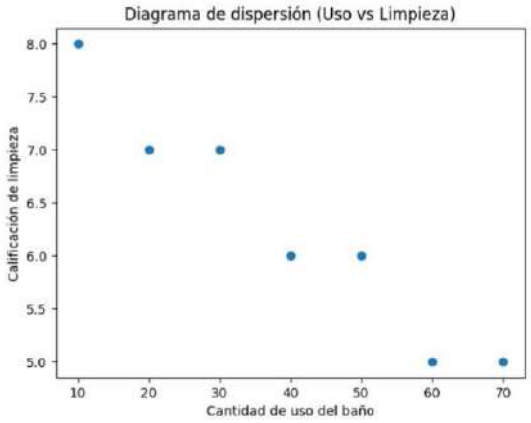


Figura 8. Diagrama de dispersión: uso del baño frente a calificación de limpieza. Fuente: Jacqueline Valdez Rodríguez, 2026.

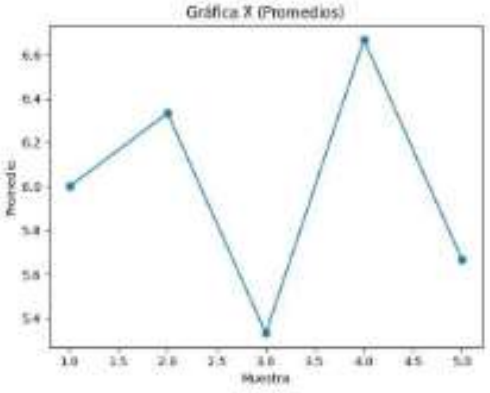


Figura 9. Gráfica X de promedios por muestra. Fuente: elaboración de los alumnos participantes, 2026.

Los hallazgos iniciales de esta experiencia muestran que los estudiantes que participaron en la propuesta reportaron mayor claridad conceptual al finalizar las sesiones. En particular, se observó que la estrategia favoreció el diálogo entre pares y la construcción colectiva de significados, lo cual resultó en una participación más activa durante las actividades propuestas.

La propuesta didáctica implementada en este proyecto representa una integración práctica de enfoques pedagógicos contemporáneos. A través del uso de herramientas digitales, los participantes pudieron explorar contenidos de manera activa y situada, fortaleciendo su comprensión conceptual y su capacidad para conectar la teoría con escenarios reales de aprendizaje. Este enfoque favoreció el desarrollo de habilidades cognitivas y digitales en los estudiantes, quienes lograron aplicar los conocimientos teóricos en situaciones prácticas. Los resultados preliminares sugieren una mejora en la comprensión de los contenidos y una mayor disposición hacia el aprendizaje autónomo.

La propuesta demostró ser especialmente valiosa en contextos donde los estudiantes debían aplicar sus conocimientos ante situaciones complejas y cambiantes. Se observó que la metodología fomentó el pensamiento crítico y la capacidad de toma de decisiones, aportándoles herramientas relevantes para su futuro desempeño profesional.

El carácter colaborativo e interdisciplinario de la propuesta enriqueció significativamente la experiencia de aprendizaje. Los participantes trabajaron en equipo, integrando perspectivas de distintos campos del conocimiento, lo cual fortalece su capacidad de comunicación, negociación y construcción colectiva del saber.

Los participantes reportaron una mejora notable en su motivación y compromiso con el aprendizaje. El entorno práctico y situado potenció el desarrollo de competencias técnicas, creativas y colaborativas, alineándose con investigaciones recientes sobre el impacto positivo de entornos de aprendizaje activos en la educación superior.

Los datos obtenidos en esta fase confirman que el aprendizaje contextual y situado fortalece la retención de conocimientos y mejora la capacidad del estudiante para transferirlos a nuevas situaciones. Esto representa un avance metodológico relevante para la educación superior en contextos de alta complejidad.

Las conclusiones preliminares de este proyecto de investigación son las siguientes:

Con el desarrollo del trabajo de investigación los alumnos de sexto semestre de la especialidad de Producción industrial lograron de manera significativa alcanzar los objetivos que marca el plan de estudios.

Los alumnos adquirieron habilidades del pensamiento crítico durante su desarrollo.

Los alumnos adquirieron habilidades para desarrollar proyectos de mejora utilizando una herramienta estadística de calidad, como es el Diagrama de afinidad (KJ)

Los alumnos utilizaron los conocimientos previos de la especialidad de producción industrial, durante el desarrollo del trabajo de investigación.

Los alumnos adquirieron habilidades y conocimientos científicos que les permitirán desarrollarse de manera más integral a nivel profesional y laboral.

En síntesis, la propuesta presentada muestra un potencial transformador para la educación superior. Los primeros resultados sugieren que la integración de metodologías activas e innovadoras no solo mejora los resultados de aprendizaje, sino que también prepara a los estudiantes para enfrentar los desafíos del entorno profesional del siglo XXI.

Esta propuesta favorece pedagógicamente como una herramienta potente para lograr objetivos académicos, científicos y de desarrollo personal, impulsando habilidades para la vida de los estudiantes. También sirve como antecedente y motivación para otros docentes interesados en explorar o incursionar en el área científica. La propuesta integra estrategias didácticas que favorecen el aprendizaje significativo, permitiendo a los estudiantes construir conexiones

entre los contenidos y sus contextos de aplicación. Esta vinculación teoría-práctica se refleja positivamente en la retención y uso del conocimiento en situaciones nuevas.

La dimensión aplicada de la propuesta resultó determinante para la construcción de aprendizajes significativos. Los estudiantes pudieron experimentar situaciones similares a las de su futuro desempeño profesional, lo que incrementó su motivación y facilitó la transferencia del conocimiento a contextos reales.

Integración multidisciplinaria y colaboración

Mediante el desarrollo de un trabajo de investigación en los alumnos de bachillerato se tiene la oportunidad de romper con las barreras que hay entre disciplinas y módulos de especialidad, conectándolas con un contexto real. Para realizar esto se requiere hacer uso de conocimientos previos de diferentes disciplinas que obtienen durante su estancia en el bachillerato. La naturaleza multidisciplinaria de esta propuesta permitió a los estudiantes integrar saberes de diferentes áreas del conocimiento, propiciando una experiencia de aprendizaje más rica y cercana a las dinámicas del entorno profesional real.

Complejidad y adaptación al aprendizaje

Respecto a la complejidad de los procesos observados en la propuesta pedagógica, no todos los alumnos muestran el mismo interés o habilidades para desarrollar un trabajo de investigación; sin embargo, resulta valioso considerar que logran adquirir conocimientos y habilidades aplicables en cualquier ámbito de su interés. La complejidad inherente a los procesos de aprendizaje involucrados en esta propuesta no es un obstáculo, sino una oportunidad para desarrollar estrategias más flexibles y adaptativas que respondan a las necesidades reales de los estudiantes.

Impacto emocional y aprendizaje significativo

Se logra observar un impacto emocional y motivacional en los alumnos durante el avance de la investigación: cuando los resultados no son del todo favorables tienden a desmotivarse; sin embargo, el acompañamiento y la retroalimentación docente logran que sigan adelante. Asimismo, se observa un aprendizaje significativo donde ellos construyen su propio conocimiento de manera individual y colaborativa. La dimensión emocional de la propuesta jugó un papel determinante en la construcción de aprendizajes duraderos. Los estudiantes reportaron que la experiencia les resultó significativa y motivadora, lo cual impulsó su compromiso y participación activa.

La carga emocional positiva generada por la propuesta contribuyó a la formación de memorias más sólidas y duraderas. Los estudiantes describieron la experiencia como significativa y emocionalmente involucrada, lo cual potenció la retención de los aprendizajes más allá de la memorización superficial.

Desafíos y consideraciones de implementación

La implementación de la propuesta requirió enfrentar retos relacionados con el acceso a recursos, la formación docente y la adaptación institucional. Estos desafíos, lejos de constituir impedimentos definitivos, orientaron la búsqueda de soluciones más inclusivas y sostenibles.

Las oportunidades que surgen de los desafíos son el desarrollo de competencias para la vida y una transformación cultural. Los alumnos aprenden a mediar conflictos, practicar la empatía ante situaciones de necesidad o problemáticas y ejercer una responsabilidad compartida (es decir, habilidades colaborativas y posiblemente una mayor responsabilidad social). Las dificultades presentadas fueron principalmente la falta de interés inicial de algunos alumnos y la falta de apoyo de ciertas autoridades educativas. Las dificultades encontradas durante el proceso permitieron identificar áreas de mejora y rediseñar estrategias, lo cual fortaleció la solidez y pertinencia de la propuesta didáctica.

Aprendizaje experiencial y propuesta didáctica

Esta propuesta genera experiencias de aprendizaje prácticas y seguras en situaciones que serían difíciles de replicar en entornos seguros, siguiendo los principios de aprendizaje basado en la experiencia, en consonancia con los enfoques contemporáneos del aprendizaje activo y situado.

Esta propuesta puede permitir un desarrollo más avanzado en las redes neuronales del estudiante, haciendo que el aprendizaje sea mucho más profundo, significativo y duradero. El trabajo colaborativo activa mecanismos neuronales fundamentales para la empatía y la imitación de conductas complejas, lo que favorece la cohesión social. Discutir ideas, negociar roles y resolver conflictos en equipo exige al cerebro ejecutar funciones ejecutivas de alto nivel.

Al vincular los contenidos con representaciones espaciales y experiencias situadas, la propuesta aprovecha la tendencia natural del cerebro para retener información contextualizada, favoreciendo una memoria más profunda y accesible.

La realización de un trabajo de investigación permite al alumno seguir un proceso metodológico para conectar la teoría con la práctica, transformando el conocimiento abstracto en una herramienta útil para transformar el entorno. La propuesta presenta un vínculo sólido entre el fundamento teórico y la experiencia práctica. Sus resultados demuestran que los principios pedagógicos adoptados pueden aplicarse de manera efectiva y transformadora en el aula universitaria.

Los alumnos también se interesan por proyectos sostenibles, pensando en propuestas que permitan perdurar en el tiempo. A pesar de los avances logrados, la generalización de la propuesta enfrenta retos estructurales importantes. Es fundamental considerar con atención las dimensiones pedagógicas, tecnológicas e institucionales para asegurar su sostenibilidad y escalabilidad.

La propuesta prefigura un modelo educativo más flexible, activo y centrado en el estudiante. Su desarrollo continuo podría contribuir a reimaginar los procesos de enseñanza-aprendizaje en la educación superior, abriéndose a posibilidades pedagógicas hasta ahora poco exploradas.

4. Reflexión Académica

Los resultados preliminares de esta propuesta son prometedores en diversas áreas: se observa una mejora en la retención de contenidos, mayor participación de los estudiantes y un desarrollo más sólido de competencias transversales vinculadas al pensamiento crítico y a la colaboración.

La propuesta también ha permitido identificar áreas de mejora que orientarán el diseño de las próximas fases. Los hallazgos iniciales requieren mayor validación con muestras más amplias y en diferentes contextos institucionales, lo que refuerza la naturaleza iterativa y reflexiva del proceso investigativo.

Entre los componentes clave para una implementación exitosa se identifican los siguientes:

- Adaptación pedagógica para optimizar el aprendizaje

- Recursos tecnológicos adecuados para soportar la propuesta

- Formación docente específica en el uso de los recursos de la propuesta

- Atención a criterios éticos, de equidad y accesibilidad

El desarrollo continuo de esta propuesta debe mantener el equilibrio entre la innovación y los principios del aprendizaje efectivo. La tecnología y la pedagogía deben avanzar de la mano, con el objetivo de enriquecer y profundizar la experiencia educativa sin sustituir la dimensión humana del proceso de investigación.

Esta investigación contribuye a generar conocimiento situado sobre las posibilidades y los retos de integrar prácticas innovadoras en contextos de educación superior en México y América Latina.

5. Referencias

Medina, M. A., & Tapia, M. M. (2017). El aprendizaje basado en proyectos una oportunidad para trabajar. Revista de la Facultad de Cultura Física de la Universidad de Granma.

Muñoz, M., & Bautista Paz, E. (2007). Aplicación de Métodos de reingeniería de Procesos para la mejora de la Enseñanza-aprendizaje en la Universidad politécnica de Madrid. 8º Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica.

Bernal González, M., & Martínez Dueñas, M. S. (2009). Metodologías activas para la enseñanza aprendizaje. Revista Panamericana de Pedagogía.

Guevara, A., & Verdesoto, A. A. (2020). Metodologías de investigación educativa. Recimundo.

Juárez Pulido, M., & Rasskin Gutman, I. (2019). El aprendizaje cooperativo, una metodología activa para la educación del siglo XXI. Revista Prisma social No.26.

Maldonado Pérez, M. (2008). Aprendizaje basado en Proyectos. Redalyc.

Morera, P., & Pechuán, G. (2012). Podemos definir el affinity diagram como una representación gráfica que combina. Working Papers on Operations Management, Vol.3 No.1.

Sampieri Hernández, R., & Fernández Collado, C. (2004). Metodología de la investigación. México: McGraw-Hill.

Serna Gómez, H., & Díaz Peláez, A. (2013). Metodologías activas de Aprendizaje. Fundación Universitario María Cano.

Strauss, A. C., & Zimmerman, E. (2002). Bases de la investigación cualitativa: técnicas y procedimientos para desarrollar la teoría fundamentada. Editorial Universidad de Antioquia.

CONCYTEQ

CONSEJO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
DEL ESTADO DE QUERÉTARO