



Ambiens Techné et Scientia México

Vol. 14
No. 1
Enero - Junio / January - June 2026

Red para Análisis de la Calidad Ambiental en México, A.C.,

RACAM

ISSN 2954-3622

Directiva / Directorate**Red para Análisis de la Calidad Ambiental en México, RACAM**

María del Carmen Durán-Domínguez,
Facultad de Química, Universidad
Nacional Autónoma de México, UNAM
Presidente / President

Julio Alberto Solís-Fuentes, Instituto de
Ciencias Básicas, Universidad
Veracruzana Xalapa, México
Vice-Presidente / Vice-President

María Irene Cano-Rodríguez, Universidad
de Guanajuato, México
Tesorera / Treasurer

**Red Internacional de Ciencias
Ambientales**

Beatriz Espinosa-Aquino
Instituto de Ciencias, Benemérita
Universidad Autónoma de Puebla,
México
Secretaria Ejecutiva / Executive Secretary

Stanley E. Manahan†
University of Missouri, Prof. Emérito, EE.
UU.
Miembro Emérito / Emeritus Member

Comité Editorial / Editorial Committee**Editores / Editors**

Marisela Bernal-González
Directora (Editora-en-Jefe) / Director
(Editor-in-Chief)

Beatriz Espinosa-Aquino
Directora adjunta (Editora -en-Jefe adjunta) /
Deputy Director (Deputy Editor-in-Chief)

Rolando Salvador García-Gómez
Director administrativo (Editor técnico) /
Administrative Director (Technical Editor)

Samuel Mendoza-Pérez
Director administrativo adjunto (Editor
técnico adjunto) / Deputy Administrative
Director (Deputy Technical Editor)

CINTILLA LEGAL DERECHOS DE AUTOR Y DERECHOS CONEXOS / Legal data, copyright and related rights
Revista electrónica de trabajos selectos: *Ambiens, Techné et Scientia México*, Año 14, No. 1, enero-junio 2026, es una Publicación semestral editada por la Red para Análisis de la Calidad Ambiental en México, A.C., Av. Churubusco 480, Col. El Retiro, Alcaldía Iztapalapa, 09440 Ciudad de México, Tel. (55) 5622-5300, www.ambiental.unam.mx/albumimagenes/Revista.pdf (temporal), atsmexico.org/atsm (definitiva). Editor responsable: Marisela Bernal-González. Reserva de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2022-061617442800-102, ISSN 2954-3622, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este Número, Rolando Salvador García-Gómez, Av. Churubusco 480, Col. El Retiro, Alcaldía Iztapalapa, 09440 Ciudad de México, fecha de última modificación, 30 de diciembre de 2025.

Los artículos han sido arbitrados por pares -modalidad doble ciego- y reflejan opiniones de la exclusiva responsabilidad del(a) o de los(as) autores(as). Queda prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización. Publicación indexada en Latindex (Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal) / The articles have been reviewed by peers -double blind modality- and reflect opinions of the exclusive responsibility of the author(s). The total or partial reproduction of the contents and images of the publication without prior authorization is prohibited. Publication indexed in Latindex (Regional Online Information System for Scientific Journals of Latin America, the Caribbean, Spain, and Portugal).

**Consejo Editorial por líneas temáticas (orden alfabético) /
Editorial Board by subject lines (alphabetical order)****CIENCIAS AMBIENTALES / Environmental Sciences**

Telma Gloria Castro-Romero, Instituto de Ciencias de la Atmósfera y Cambio Climático, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, México

Georgina Fernández-Villagómez, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, México

Peter Kuschk†, Helmholtz Centre for Environmental Research – UFZ, Germany

Luisa T. Molina, Founder, Molina Center for Energy and the Environment (MCE2), EE.UU.

CIENCIAS DE LA SALUD / Health Sciences

Ruth Bustamante-García, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, México

E. Martha Pérez-Armendáriz, Facultad de Medicina, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, México

CIENCIAS EXACTAS / Exact Sciences

Ronny Adrián Flores-Ortega, Departamento de Química, Universidad Central del Ecuador, Ecuador

Stanley E. Manahan†, Emeritus Professor, University of Missouri, EE.UU.

Amado Enrique Navarro-Frómela, Universidad Tecnológica de Izúcar de Matamoros, México

Tania M. Tavares, Universidad Federal da Bahia, Brasil

CIENCIAS NATURALES / Natural Sciences

Andreas Loibner, Bodenkultur Universität Vienna, BOKU, Austria

Irina Salgado-Bernal, Facultad de Biología, Universidad de La Habana, Cuba

Aranyos del Carmen Borja-Urzola, Universidad Simón Bolívar Barranquilla, Colombia

CIENCIAS SOCIALES Y HUMANIDADES / Social Sciences and Humanities

Ann Cyphers†, Instituto de Investigaciones Antropológicas, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, México

Antonio Francisco Díaz-García, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, México

Evguenia Roubina Milner, Facultad de Música, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, México

INNOVACIÓN EDUCATIVA / Innovative Education

Octavio García-Madáhuar, M.A., Universidad Autónoma de Yucatán, México, jubilado

Andoni Garritz-Ruiz†, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, México

Armando Rugarcía-Torres, Universidad Iberoamericana, México

USO EFICIENTE DE LA ENERGÍA / Efficient Use of Energy

Enrique Rodolfo Bazúa-Rueda, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, México, jubilado

John M. Prausnitz, Emeritus Professor, Chemical and Biochemical Engineering Department, University of California, Berkeley, Estados Unidos

Juan H. Vera, Emeritus Professor, Chemical Engineering Department, McGill University, Canadá

TECNOLOGÍAS VERDES / Green Technologies

Alberto Florentino Aguilera-Alvarado†, Departamento de Ingeniería Química. División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato, México

Prof. Dr. Francisco José Barnés-de-Castro, Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México, UNAM, México, jubilado

Dra. Marianela de los Ángeles Cordovés-Herrera†, Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de La Caña de Azúcar, ICIDCA, La Habana, Cuba

Manuel Enríquez-Poy, Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, México, Grupo Machado, Ingenio Central Motzorongo, México

Antonio Esteban Jiménez-González, Instituto de Energías Renovables, Universidad Nacional Autónoma de México, México

Luis Eduardo Zedillo-Ponce-de-León†, Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas, IPN, Director General del Consejo para la Acreditación de la Educación Superior (Copaes), México

Presentación

Este nuevo año queremos iniciar con un par de homenajes que nos llenaron de orgullo ya que incluyeron a dos de nuestros connotados integrantes del Consejo Editorial de esta revista: El Dr. Enrique Rodolfo Bazúa Rueda el sábado 6 de septiembre de 2025 y la Dra. Luisa Tan Molina el miércoles 8 de octubre de 2025.

Al Dr. Bazúa lo consideran uno de los grandes de la Ingeniería Química en México. Desde el libro para celebrar el 8 de marzo con las mujeres en la ingeniería química, presentado el 7 de marzo en la Facultad de Química de la UNAM, se incluyó su nombre con el de otros connotados ingenieros químicos mexicanos así como mujeres ingenieras químicas hasta este evento organizado por el Instituto Mexicano de Ingenieros(as) Químico(as) con un desayuno en el Club de Industriales de la Ciudad de México. Se le otorgó un diploma con una medalla y se le entregó una efigie del Quijote con un escudo del IMIQ.



Sentados el homenajeado, Dr. Enrique Rodolfo Bazúa Rueda, su esposa por 56 años, la Dra. María del Carmen Durán Domínguez de Bazúa. De pie, el Dr. Alfonso Durán Moreno, profesor de carrera de la Facultad de Química de la UNAM, el M. en C. Rolando Salvador García Gómez y la Dra. Marisela Bernal González, editor administrativo y editora-en-jefe de esta revista, respectivamente

A la Dra. Luisa Tan Molina le hicieron un merecido homenaje por su altruista labor en México desde que su esposo, el Dr. Mario Molina ganara el Premio Nobel de Química en

1995. Este evento fue organizado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Semarnat, el Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, INECC, la Comisión Ambiental de la Megalópolis, CAMe y la Iniciativa Climática de México, ICM, en las instalaciones de los Laboratorios de Referencia del INECC ubicados en el Vivero Forestal de Coyoacán en la Ciudad de México. El nombre de la Dra. Luisa Tan Molina engalana el nombre de estos Laboratorios tan importantes.



Las personas que aparecen de izquierda a derecha son: La Dra. Margarita Castillejos, el Dr. José Abraham Ortíz Álvarez, Encargado de la Dirección General del INECC, La Dra. Luisa Tan Molina, sorprendida. La Maestra Ileana Villalobos Estrada, Subsecretaría de Regulación Ambiental de SEMARNAT, el Dr. Adrián Fernández de la Iniciativa Climática de México, ICM, la Dra. Carmen Durán de la RACAM, el Dr. Francisco Barnés, ex-Rector de la UNAM, ex-Director de la Facultad de Química y Consejero de esta revista



La placa que será colocada en el vestíbulo de los Laboratorios dice:

*Laboratorios de Referencia Dra. Luisa T. Molina
El Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC) reconoce las aportaciones científicas de la Dra. Luisa T. Molina en el campo de las ciencias atmosféricas. Su liderazgo, tenacidad, generosidad y compromiso académico han sido fundamentales para impulsar avances significativos en la gestión de la calidad del aire y en las acciones frente al cambio climático en México.*

Ciudad de México, 8 de octubre de 2025



Enrique Bazúa ex-Director de la Facultad de Química-UNAM y la Dra. Telma Castro del ICACC-UNAM, ambos consejeros académicos de esta revista, junto con la homenajeada

Esa misma tarde fue recibida y felicitada por nuestra Presidenta, la Dra. Claudia Sheinbaum Pardo en el Palacio Nacional.



La Dra. Luisa Tan Molina agradeciendo este homenaje donde mencionó a todas las personas que la han apoyado desde que ella inició sus actividades académicas en 1973 junto con su vida como esposa entrañable y después como madre de Felipe José



La Dra. Claudia Sheinbaum Pardo, presidenta constitucional de los Estados Unidos Mexicanos felicitando a la Dra. Luisa Tan Molina por su altruista labor a favor de la calidad del aire de México (Palacio Nacional, 8 de octubre de 2025)

Esperamos que en este nuevo año podamos como sociedad mundial, sin esperar a los gobernantes de sus poblaciones, algunos maniatados por la inequidad que rige nuestro planeta y otros temerosos ante los poderosos como los estadounidenses que siendo una minoría de la población del planeta arrojan a la atmósfera o atmósfera enormes cantidades de CO₂ y otros gases de efecto invernadero, iniciar actividades tendientes a revertir la problemática del cambio climático ya que sus daños son cada vez peores, además de las guerras innecesarias que solamente benefician a los fabricantes de armas y a los mercenarios.

Especialmente entre las poblaciones de los países localizados cerca de los océanos del planeta ocurren ya muchas catástrofes. México, por ejemplo, enfrentó pérdidas humanas y materiales por los ciclones o huracanes, como se les conoce en este país si ocurren en el Océano Pacífico o en Océano Atlántico (y el Mar Caribe y el Golfo de México), respectivamente, el pasado mes de octubre de 2025.

Por ello, esperamos contribuciones que busquen formas de revertir el aumento global de la temperatura promedio de la atmósfera o atmósfera especialmente dirigidas a la sociedad en su conjunto.

Bienvenidos a este foro de las redes fraternas y sororales:

Red para Análisis de la Calidad Ambiental en México y

Red Internacional de Ciencias Ambientales

desde la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México.

La editora-en-jefe

Presentation

This new year 2026, we want to begin with a couple of tributes that filled us with pride, as they included two of our distinguished members of this journal's Editorial Board: Dr. Enrique Rodolfo Bazúa Rueda on Saturday, September 6, 2025, and Mrs. Dr. Luisa Tan Molina on Wednesday, October 8, 2025. Dr. Bazúa is considered one of the greats of Chemical Engineering in Mexico. His name was included, along with those of other prominent Mexican chemical engineers and women, in the book celebrating March 8th with women in chemical engineering, presented on March 7th at the Faculty of Chemistry of the National Autonomous University of Mexico (UNAM). This recognition culminated in an event organized by the Mexican Institute of Chemical Engineers, a breakfast at the Club de Industriales in Mexico City. He was awarded a diploma and a medal and was presented with an effigy of Don Quixote bearing the IMIQ shield.



Seated are the honoree, Dr. Enrique Rodolfo Bazúa-Rueda, and his wife of 56 years, Mrs. Dr. María del Carmen Durán-Domínguez-de-Bazúa. Standing are Dr. Alfonso Durán- Moreno, tenured professor at the Faculty of Chemistry of the National Autonomous University of Mexico (UNAM), Rolando Salvador García Gómez, M.Sc., and Mrs. Dr. Marisela Bernal González, administrative editor and editor-in-chief of this journal, respectively

Mrs. Dr. Luisa Tan Molina was given a well-deserved tribute for her altruistic work in Mexico since her husband, Dr. Mario Molina, won the Nobel Prize in Chemistry in 1995. This event was organized by the Ministry of Environment and Natural Resources (Semarnat), the National Institute of Ecology and Climate Change (INECC), the Megalopolis Environmental Commission (CAME), and the Mexico Climate Initiative (ICM), at the INECC Reference Laboratories located in the Coyoacán Forest Nursery in Mexico City. Mrs. Dr. Luisa Tan Molina's name graces these important laboratories.



The people pictured, from left to right, are: Mrs. Dr. Margarita Castillejos, Dr. José Abraham Ortínez Álvarez, Head of the General Directorate of INECC, Mrs. Dr. Luisa Tan Molina (looking surprised), Ms. Ileana Villalobos Estrada, Undersecretary of Environmental Regulation at SEMARNAT, Dr. Adrián Fernández of the Mexico Climate Initiative (MCI), Mrs. Dr. Carmen Durán from RACAM, and Dr. Francisco Barnés Former Rector of UNAM, former Director of the Faculty of Chemistry and Academic Advisor to this journal



The plaque that will be placed in the lobby of the Laboratories reads:

*Dr. Luisa T. Molina Reference Laboratories
The National Institute of Ecology and Climate
Change (INECC) recognizes the scientific
contributions of Dr. Luisa T. Molina in the field of
atmospheric sciences.*

*Her leadership, tenacity, generosity, and academic
commitment have been fundamental in driving
significant progress in air quality management and
climate change action in Mexico.*

Mexico City, October 8, 2025



her son Dr. Felipe José Molina, and Dr. Enrique Bazúa former director of the Faculty of Chemistry-UNAM, and Mrs. Dr. Telma Castro from INECC-UNAM, both academic advisors of this journal, along with the honoree

That same afternoon, she was received and congratulated by our President, Mrs. Dr. Claudia Sheinbaum Pardo, at the National Palace.

Dr. Luisa Tan Molina, thanking everyone for the tribute in her honor. Seated: Mrs. Dr. Margarita Castillejos, Dr. José Abraham Ortínez Álvarez, Head of the General Directorate of the INECC, M:Sc. Ileana Villalobos Estrada, Subsecretaría de Regulación Ambiental de SEMARNAT, Dr. Erik Velasco Saldaña, collaborator at Molina Center for Energy and the Environment, Mrs. Dr. Amparo Martínez from INECC-UNAM, Mrs. Dr. Carmen Durán from RACAM, Dr. Adrián Fernández of the Mexico Climate Initiative (MCI), Dr. Francisco Barnés Former Rector of UNAM, former Director of the Faculty of Chemistry and Academic Advisor to this journal, Dr. José Agustín García-Reynoso from INECC-UNAM, and with their backs to the camera,



Mrs. Dr. Luisa Tan Molina expressed her gratitude for this tribute, mentioning all the people who have supported her since she began her academic career in 1973, along with her life as a devoted wife and later as the mother of Felipe José



*Mrs. Dr. Claudia Sheinbaum Pardo, Constitutional President of the United Mexican States, congratulating Dr. Luisa Tan Molina for her altruistic work in favor of air quality in Mexico
(National Palace, October 8, 2025)*

We hope that in this new year, as a global society, without waiting for the leaders of their populations—some hamstrung by the inequality that governs our planet and others fearful of powerful nations like the Americans, who, despite being a minority of the world's population, release enormous quantities of CO₂ and other greenhouse gases into the atmosphere—we can initiate actions aimed at reversing the problem of climate change, as its damage is increasingly severe, in addition to the unnecessary wars that only benefit arms manufacturers and mercenaries.

Especially among the populations of countries located near the world's oceans, many catastrophes are already occurring. Mexico, for example, faced human and material losses from cyclones or hurricanes, as they are known in this country if they occur in the Pacific Ocean or the Atlantic Ocean (and the Caribbean Sea and the Gulf of Mexico), respectively, last October 2025.

Therefore, we expect contributions that seek ways to reverse the global increase in the average temperature of the atmosphere, especially those aimed at society as a whole.

Welcome to this forum of fraternal and sororal networks:

Network for Environmental Quality Analysis in Mexico and

International Network of Environmental Sciences

from the Faculty of Chemistry at the National Autonomous University of Mexico.

The editor-in-chief

<u>Contenido / Contents</u>	<u>Página / Page</u>
Presentación / Presentation	3
Fe de erratas / Errata	12
Diseño de emulgel y parche a base del extracto del fruto de la <i>Opuntia ficus-indica</i> (nopal/tuna) con efectos cicatrizantes / Design of an emulgel and patch based on <i>Opuntia ficus-indica</i> (prickly pear) fruit extract with wound-healing effects María Rebeca Mata-Servín, Atonatiu Edmundo Gómez-Martínez, Patricia Vergara-Aragón, Rolando Salvador García-Gómez, Rubí Bustamante-García, Aranza Ruth Sánchez-Alcántara, Ana María Vázquez-Álvarez, Abel Zapata-Arenas, Ruth Bustamante-García	13
Main components of the essential oil from leaves, peel, and pulp of the Mexican autochthonous avocado (<i>P. americana</i> var. <i>drymifolia</i> , Schltdl. & Cham.) / Principales Componentes del aceite esencial de las hojas, cáscara y pulpa del aguacate autóctono mexicano (<i>P. americana</i> var. <i>drymifolia</i> , Schltdl. & Cham.) Julio A. Solís-Fuentes, Caroline I. Pliego-Cerdán, María del Rosario Hernández-Medel, Rolando Salvador García-Gómez, Marisela Bernal-González, and María del Carmen Durán-Domínguez-de-Bazúa	31
Impacto del uso de medidas de protección en la propagación de virus: Una simulación con autómatas celulares y una arquitectura de dispositivos unificados de computación, ADUC / Impact of the use of protective measures on the spread of viruses: A simulation with cellular automata and a compute unified device architecture, CUDA Alejandro Jared Soto-Cass, Ivonne Domínguez-Román, Michel Joseph Julien-Lombard	47
Algunos ejemplos de espacios potencialmente utilizables mediante restauración o reciclaje de la antigua industria textil en la región central de Veracruz, México / Some examples of spaces potentially usable through restoration or recycling of the old textile industry in the central region of Veracruz, Mexico Margarita Solís-Zapata	63
Evaluación espacial y temporal de la calidad del agua en los sistemas lagunares de Sinaloa, México, de importancia internacional (Ramsar) / Spatial and temporal assessment of water quality in the lagoon systems of Sinaloa, Mexico, of international importance (Ramsar) Kassandra Meza-Ibarra, Mayra Mayté García-Ayala, Karina Ramírez, Blenda Ramírez-Pereda, Jesús Jaime Rochín-Medina, Leonel Ernesto Amábilis-Sosa	79
Contribución al estudio químico de <i>Picramnia antidesma</i> ssp. <i>Fessonnia</i> / Contribution to the chemical study of <i>Picramnia antidesma</i> ssp. <i>fessonnia</i> María del Rosario Hernández-Medel, Rosa Isela Martínez-Lara, Ana Paulina Ortiz-Cisneros, Lilia Mireya Méndez-Ventura	91
Instructivo para autores / Authors instructions	103

Fe de erratas / Errata

Ninguna / None

Diseño de emulgel y parche a base del extracto del fruto de la *Opuntia ficus-indica* (nopal/tuna) con efectos cicatrizantes

Design of an emulgel and patch based on *Opuntia ficus-indica* (prickly pear) fruit extract with wound-healing effects

María Rebeca Mata-Servín¹, Atonatiu Edmundo Gómez-Martínez¹, Patricia Vergara-Aragón², Rolando Salvador García-Gómez³, Rubí Bustamante-García⁴, Aranza Ruth Sánchez-Alcántara¹, Ana María Vázquez-Álvarez², Abel Zapata-Arenas¹, Ruth Bustamante-García^{1*}

¹Departamento de Biología, Facultad de Química, UNAM; ²Departamento de Fisiología, Facultad de Medicina, UNAM; ³Departamento de Ingeniería Química, Facultad de Química, UNAM; ⁴Departamento de Ecología y Recursos Naturales. Laboratorio de Ecología de Ambientes Limitantes, Facultad de Ciencias, UNAM. Correo-e (e-mail)*: fruthb@quimica.unam.mx

*Autora a quien debe dirigirse la correspondencia / *Corresponding author*

Recibido / *Received*: Agosto / *August* 15, 2025

Aceptado / *Accepted*: Septiembre / *September* 14, 2025

Publicado / *Published*: Diciembre 30, 2025 (Número 1, Enero-Junio 2026) / *December 30, 2025 (Number 1, January-June 2026)*

Resumen

La piel, es el órgano más grande del cuerpo, cumple una función protectora y cuenta con un proceso de cicatrización dividido en cuatro fases: Hemostasia, inflamación, proliferación y regeneración. Este proceso puede ser favorecido por productos cicatrizantes, especialmente aquellos con compuestos polifenólicos como los presentes en la fruta de *Opuntia ficus-indica* (nopal: Tuna). En la práctica clínica, el uso de apósitos bioactivos, como parches de gelatina, es fundamental en el tratamiento de heridas crónicas y quemaduras, seleccionando el tratamiento según el tipo de lesión y paciente. Los emulges son una alternativa cosmeceutica¹ útil por su buena tolerancia, capacidad de humectar y facilidad de aplicación. En esta investigación se evaluó el efecto cicatrizante del extracto de tuna integrándose en dos matrices: Emulgel y parche de gelatina blanda. La metodología utilizada fue la siguiente: Para la obtención del extracto, primero se procesó la pulpa de la tuna y el triturado se dividió en tres fracciones. Cada fracción se maceró durante 7 días usando diferentes solventes: Fracción I: Triturado:Etanol al 96% (1:2), fracción II: Triturado:agua (1:2) y mezcla de metil propil-parabenos al 0.1% como conservador y fracción III triturado más conservador (benzoato de sodio al 0.5%). Se evaluaron las fracciones del extracto para observar la eficacia en el modelo de coagulación. Los extractos I y III fueron los utilizados para incorporarlos en las formulaciones de emulgel y parche en una concentración de extracto 20% v/v, posteriormente se hicieron las pruebas cutáneas de estabilidad, sensibilidad y cicatrización en modelos animales. De acuerdo con los resultados obtenidos en la prueba de coagulación se obtuvo la concentración para el desarrollo del emulgel y parche (Concentración extracto 20% v/v), los cuales fueron sometidos a pruebas físicoquímicas y sensoriales para asegurar su calidad. Se determinó su eficacia y seguridad, en conejo cepa Nueva Zelanda (de acuerdo con la Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos en su 12^a edición) mediante el modelo de sensibilidad cutánea y en rata estirpe Wistar mediante el modelo de cicatrización. De acuerdo con los resultados experimentales se concluyó que, en ambos modelos, las formulaciones fueron seguras y eficaces.

Palabras clave: Tuna, cicatrización, emulgel, coagulación y parche

¹ La cosmeceutica es un término que fusiona "cosmética" y "farmacéutica", refiriéndose a productos cosméticos con ingredientes activos biológicos potentes (similares a los farmacéuticos) que actúan en capas más profundas de la piel para mejorar su salud, tratar signos del envejecimiento y problemas específicos, ofreciendo resultados más eficaces que la cosmética tradicional, pero sin ser medicamentos, que requieren seguimiento profesional para una aplicación óptima (https://sibarirepublic.com/que-es-la-cosmeceutica-diferencia-entre-cosmetica-y-cosmeceutica/?srsltid=AfmBOoqOwfq8tQVh2zhRK_Yo0CKhfMKJf6rnQuel2ZYGjoZUaOJ3uTE)

Abstract

The skin is the body's largest organ, serving a vital protective function. Its healing mechanism is divided into four distinct phases: Haemostasis, inflammation, proliferation, and regeneration. This process can be augmented by scar-healing products, particularly those containing polyphenolic compounds such as those found in *Opuntia ficus-indica* fruit (prickly pear/tuna). In clinical practice, the use of bioactive compounds, such as gelatin patches, is essential for the management of chronic wounds and burns, with treatment selection being dependent on the type of injury and the patient. Emulgels offer a useful cosmeceutical alternative due to their excellent tolerance, moisturising capacity, and accessibility ease of application. Therefore, this project sought to evaluate the wound-healing effect of *Opuntia ficus-indica* extract incorporated into two distinct matrices: an emulgel and a soft gelatin patch. The methodology employed for extract preparation was as follows: the prickly pear pulp was processed, and the resulting mash was divided into three fractions, each subjected to maceration for seven days using different solvents—Fraction I: mash plus 96% ethanol (1:2 ratio); Fraction II: mash plus water (1:2 ratio) and a mixture of methyl and propyl parabens at 0.1% as a preservative; and Fraction III: mash plus preservative (sodium benzoate at 0.5%). The extracts were initially assessed for efficacy using a coagulation model, and Extracts I and III were subsequently selected for incorporation into the emulgel and patch formulations at a concentration of 20% v/v. These formulations were then subjected to sensory, stability, sensitivity, and wound-healing tests in animal models. Based on the coagulation assay results, the optimal concentration for the emulgel and patch development was determined (Extract Concentration 20% v/v); these final formulations underwent physicochemical and organoleptic testing to assure quality. Subsequently, their efficacy and safety were determined using a dermal sensitivity model in New Zealand white rabbits (adhering to the 12th edition guidelines of the United Mexican States Pharmacopoeia) and a wound-healing model in Wistar rats, and in both models, the formulations proved to be safe and efficacious.

Keywords: prickly pear, wound healing, emulgel, coagulation, patch

Introducción

La piel del cuerpo humano, con una masa aproximada del 16% de la masa corporal, se considera como su órgano más grande y está compuesto por tres capas principales: Epidermis, dermis e hipodermis, cada una con funciones específicas e interrelacionadas. Ante cualquier lesión, la recuperación de la funcionalidad y estructura cutánea se logra a través del proceso de cicatrización, el cual ocurre en cuatro fases superpuestas: Hemostasia, inflamación, proliferación y maduración (Buendía-Eisman et al., 2018; Fernández y García, 2008). Históricamente, la medicina tradicional mexicana ha recurrido a recursos naturales como el nopal u *Opuntia ficus-indica* y su fruto, la tuna². Esta planta pertenece a la familia de las Cactáceas, por sus amplias propiedades nutracéuticas. Sus frutos (tunas) son una fuente rica en fibra, vitaminas, minerales y potentes antioxidantes como flavonoides y betalaínas, los cuales sugieren una capacidad para modular positivamente la respuesta inflamatoria y la regeneración tisular (Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana, 2009; Martins et al., 2023).

Investigaciones previas han confirmado el potencial biológico de los extractos de *Opuntia ficus-indica* (nopal/tuna), debido a su alta capacidad antioxidante y su papel protector contra enfermedades degenerativas (Butera et al., 2002; Sumaya et al., 2010), sentando un sólido fundamento teórico para su uso en la terapia de heridas. Sin embargo, a pesar de este conocimiento, existe una brecha en la literatura científica con respecto del desarrollo y optimización de sistemas de liberación que maximicen la acción de estos compuestos bioactivos en el tejido lesionado. Para abordar esta limitación, esta investigación presenta una aproximación novedosa que enfatiza las ventajas de las formulaciones farmacéuticas modernas, centrando la atención en la biodisponibilidad y la adaptabilidad clínica.

Especificamente, la formulación de un emulgel es crucial debido a su estructura semi-sólida híbrida, que combina la capacidad penetrante de una emulsión (permitiendo la incorporación y entrega de compuestos tanto hidrofílicos como lipofílicos del extracto de tuna) con las propiedades refrescantes,

² En náhuatl, la palabra para la **tuna dulce** es *nochtli*, mientras que para la **tuna agria** (xoconostle) se usa *xoconochtli*, que significa "tuna agria" (de *xoco*, agrio, *nochtli*, tuna). La planta del nopal es *nopalli* en náhuatl (Cabrera, 2002). La palabra tuna es de origen taíno (la primera lengua originaria con la que se encontraron Colón y sus marineros y por ello muchas palabras tienen este origen, como maíz, *tlaollí* en náhuatl, también del taíno) [Nota de los(as) editores(as)] / In Nahuatl, the word for sweet prickly pear is *nochtli*, while for sour prickly pear (xoconostle) *xoconochtli* is used, meaning "sour prickly pear" (from *xoco*, sour, *nochtli*, prickly pear). The nopal cactus plant is *nopalli* in Nahuatl (Cabrera, 2002). The word prickly pear is of Taíno origin (the first indigenous language encountered by Columbus and his sailors, and, therefore, many words have this origin, such as maíz, also from Taíno, *tlaollí* in Nahuatl) [Editors' Note]

hidratantes y de alta compatibilidad cutánea de un hidrogel. Esta matriz es ideal para la aplicación localizada en heridas superficiales o en las fases iniciales de la cicatrización, donde se requiere una rápida absorción y un efecto antiinflamatorio directo y confortable, mejorando sustancialmente la adherencia del tratamiento al paciente (Leyva-Gómez et al., 2025).

Por otro lado, el parche cutáneo ofrece una plataforma terapéutica totalmente diferente, con la ventaja fundamental de una liberación controlada y sostenida del extracto a lo largo del tiempo. Al actuar como una barrera oclusiva, el parche no solamente protege la lesión de contaminantes externos y reduce el riesgo de infección, sino que también mantiene un ambiente húmedo óptimo para la migración celular y la formación de tejido de granulación. Esta matriz es, por lo tanto, indispensable para el manejo de heridas crónicas o aquellas que demandan un tratamiento prolongado y una protección continua durante las fases de proliferación y maduración (Villanueva-Flores et al., 2024).

La estrategia de desarrollar y caracterizar de forma comparativa estas dos matrices -el emulgel de acción rápida y el parche de liberación sostenida- es fundamental para ofrecer una solución integral y adaptable a la compleja dinámica de la cicatrización. Este enfoque dual garantiza la máxima versatilidad terapéutica, permitiendo la selección del sistema de liberación más apropiado en función del estadio, el tipo y la ubicación de la lesión, lo que constituye una aplicación original de los compuestos de *Opuntia ficus-indica* al campo de la ingeniería farmacéutica (Noroña-Andrade et al., 2025).

En este contexto, el objetivo principal de la presente investigación es el desarrollo, optimización fisicoquímica y caracterización de formulaciones de emulgel y parche cutáneo a partir de los compuestos bioactivos obtenidos del fruto de *Opuntia ficus-indica*. Se aplicarán metodologías novedosas para la optimización de las formulaciones, buscando establecer una correspondencia directa entre el fundamento teórico (propiedades antioxidantes de la tuna) y la eficacia práctica de las matrices en la regulación de las fases de cicatrización. Este enfoque permitió determinar la formulación farmacéutica más adecuada para trasladar el uso empírico de la medicina tradicional a una aplicación terapéutica estandarizada y altamente eficaz, contribuyendo al desarrollo de nuevos agentes cicatrizantes de origen natural.

Materiales y métodos

Material vegetal. Se utilizaron frutos de origen comercial pertenecientes a la especie *Opuntia ficus-indica*. Se identificaron y caracterizaron. Se utilizó una $n=10$ frutos, los cuales fueron pesados (217.6 g). Estos frutos fueron procesados de tal forma que se retiró la cáscara para ser triturados de forma manual y, posteriormente, fueron filtrados para eliminar las semillas.

Preparación de los extractos. El triturado de la pulpa de tuna se dividió en 3 fracciones para su tratamiento. Los extractos fueron evaluados para verificar la eficacia en el modelo de coagulación, se mezcló el triturado con etanol al 96% en una proporción 1:2 y se mantuvo sin conservador. Para la fracción II se mezcló el triturado con agua ozonificada (agua potable pH=7.0, libre de patógenos, <100 UFC/mL, ozonificada mediante el equipo Biozon^{MR}) en proporción 1:2 y se añadió como conservador la mezcla nipagin/nipasol (mezcla de metil y propil-parabenos al 0.1%). El resto del triturado se etiquetó como fracción III, en la que se utilizó benzoato de sodio al 0.5% como conservador en vez de la mezcla de la fracción II. Una vez realizado esto, las 3 fracciones fueron tratadas de la misma manera: Se agitaron durante 10 min y se mantuvieron en maceración durante 7 días, lapso obtenido por ensayo y error. Transcurrido ese tiempo se observó el aspecto de cada extracto y se midió el pH de estos para el control de calidad. Los extractos fueron almacenados a temperatura ambiente (aproximadamente 25°C) y en frascos color ámbar para protegerlos de la luz directa.

Prueba de coagulación. Se realizó la prueba de coagulación mediante el modelo modificado y validado "in situ" (Briones-Garduño et al., 2024), con los extractos obtenidos con el fin de demostrar su posible efecto cicatrizante, y para determinar la concentración de trabajo para la elaboración de los productos cosmecéuticos se realizaron los gráficos de Concentración versus Tiempo de coagulación. Se prepararon soluciones de cada extracto en concentraciones de 1.5, 2.5, 5, 10 y 20% en las que se utilizó solución salina isotónica al 0.9% (SSI 0.9%) como disolvente. Se obtuvieron muestras de sangre de voluntarios sanos de entre 19 y 25 años de edad que aceptaron participar en esta prueba y firmaron voluntariamente su consentimiento antes de dar inicio al estudio. La muestra de sangre fue obtenida por venopunción con mariposa, se mezclaron en tubos de ensayo 1 mL de sangre con 1 mL de disolución de extracto y se cronometró el tiempo desde la extracción y hasta que se formó el coágulo de sangre en cada tubo. De la misma manera se determinó el tiempo de coagulación basal de cada voluntario cronometrando el tiempo desde la extracción y hasta la formación de coágulo sin la adición de los extractos.

Desarrollo del emulgel con el extracto de tuna. Se propuso una formulación para la elaboración del emulgel base en la que se utilizaron los excipientes que se muestran a continuación en la Tabla 1.

Tabla 1. Excipientes utilizados en la formulación del emulgel base (modificado de Rowe et al., 2009)

Excipiente	Función	Concentración, %
Carbopol 940	Agente emulsificante, gelificante	0.5 - 2.0
Tween 80	Tensioactivo	5 - 10
Glicerina	Humectante	1
Aceite vegetal (soya)	Fase oleosa	20 - 30
TEA	Ayuda a la formación de las redes del carbómero	c.b.p.
Agua ozonificada	Fase acuosa	70 - 80
Benzoato de sodio	Conservador	0.1 - 0.5
Nipagin/nipasol *	Conservador	0.1 - 0.5
Esencias (Citrus marca aquaterra)	Mejorar el olor	c.b.p.
Colorante verde esmeralda no transferible para cosmético marca aquaterra	Para darle color al parche	1µg

c.b.p.:cuanto baste para; *Mezcla de metil y propil parabenos

El emulgel se preparó mediante la hidratación del carbómero (1 g) con 10 mL de agua caliente a 30°C y 1.5 mL de trietanolamina (TEA), los cuales se dejaron reposar en un recipiente color ámbar perfectamente sellado durante 24 h a temperatura ambiente. Paralelamente, se mezcló la fase oleosa (aceite vegetal de soya, Tween 80 y glicerina a razón de 1:1:1), la cual se incorporó gradualmente al carbómero hidratado bajo agitación constante. Posteriormente, se añadió el conservador, las esencias y el colorante verde. El emulgel base obtenido se dividió en cuatro porciones: a) Emulgel base (sin extracto), b) Emulgel I (Emulgel base más la fracción I), c) Emulgel II (Emulgel base más la fracción II) y d) Emulgel III (Emulgel base más la fracción III).

A las formulaciones finales se les cuantificaron los siguientes parámetros: Valor de pH (con tiras reactivas), homogenización (microcentrifuga a 3000 rpm/1 min de la marca Fast-Gene). Evaluación sensorial: Color, olor, textura y consistencia. Estabilidad del producto (Cambios de temperaturas entre 2 y 20°C por semana durante 1 mes) y análisis microbiológico de conformidad con el método general de análisis (MGA 0571) de la Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos (FEUM, 2018).

En la Tabla 2, se muestran las especificaciones establecidas como control de calidad para el emulgel, los análisis microbiológicos se realizaron mediante las pruebas de recuento total de microorganismos aerobios viables (*S. aureus*, *P. aeuruginosa* y *C. albicans*) de acuerdo con la ISO 17516:2014 para productos cosméticos (<https://www.iso.org/standard/59938.html>). El uso de conservadores como parabenos y control del valor de pH disminuye la probabilidad de contaminación por enterobacterias o *Salmonella*.

Tabla 2. Especificaciones que debe cumplir el emulgel (FEUM, 2018)

Prueba	Especificaciones
pH	4.5-5.5
Estabilidad del producto	Sin separación de fases
Pruebas sensoriales (olor, color, textura, apariencia)	Olor característico a la tuna, color blanco, apariencia homogénea y textura suave y cremosa
Microbiológica	OMA no más de 100 UFC, HL no más de 10 UFC CT no más de 10 UFC/g Ausencia de microorganismos patógenos específicos: <i>S. aureus</i> , <i>P. aeuruginosa</i> , y <i>C. albicans</i>

OMA: organismos mesófilos aerobios; UFC: Unidades formadoras de colonias; HL: Hongos y levaduras; CT: Coliformes totales; g: gramo

Desarrollo del parche con el extracto de tuna. Para el desarrollo del parche se propuso la formulación base con los excipientes que se muestran a continuación en la Tabla 3.

Tabla 3. Excipientes utilizados en la formulación del parche base (modificado de Rowe et al., 2009)

Excipiente	Función	Concentración, %
Grenetina, goma xantana	Gelificante	10 - 15
Glicerina	Humectante	1
Agua ozonificada	Solvente	80 – 90
Benzoato de sodio	Conservador	0.1 - 0.5
Esencias	Mejorar el olor	c.b.p.

El parche base se elaboró al disolver grenetina en agua caliente, a la cual se incorporaron los excipientes restantes bajo agitación continua. La mezcla se vertió en moldes de parches para ojos de plástico de alta calidad, transparentes de 9.5 cm de largo x 7.5 cm de ancho y 0.7 cm de profundidad, marca ANGGREK y se dejó solidificar durante 24 h. Paralelamente, se prepararon los sueros con agua ozonificada y cada extracto. Una vez solidificados, los parches fueron desmoldados y cortados en cuadros de 1 cm² y almacenados en cajas Petri estériles, manteniéndose embebidos en los sueros preparados: Parche base (agua ozonificada), parche I (Parche base más fracción I), parche II (Parche base más fracción II) y parche III (Parche base más fracción III).

A las formulaciones finales se les realizaron pruebas de estabilidad: Evaluación sensorial (olor, color, textura y consistencia), determinación del valor de pH semanalmente en los sueros y análisis microbiológicos de conformidad con MGA 0571 de la FEUM (2018). En la Tabla 4 se muestran las especificaciones establecidas como control de calidad para el parche.

Tabla 4. Especificaciones que debe cumplir el parche

Prueba	Resultado
Olor	Característico de la tuna
Color	Verde
Apariencia	Homogénea, sin partículas o grumos
Textura	Suave, ligero, húmedo
pH	4.5-6.0

Tabla 4. Especificaciones que debe cumplir el parche

Prueba	Resultado
Microbiológica	OMA no más de 100 UFC, HL no más de 10 UFC CT no más de 10 UFC (por 1 parche)

OMA: organismos mesófilos aerobios; UFC: Unidades formadoras de colonias; HL: Hongos y levaduras; CT: Coliformes totales; g: gramo

Prueba de sensibilidad cutánea en conejos de la cepa Nueva Zelanda. Para esta prueba, se utilizaron tres conejos de la cepa Nueva Zelanda de 2.5 kg de masa corporal a los que se les administró anestesia (Xilacina/Ketamina, 1 mg/kg y 10 mg/kg respectivamente) por vía intravenosa en la vena marginal con aguja 27 G y jeringa de 1 mL. Posteriormente, se realizó una tricotomía (rasurado) en el dorso con navaja de afeitar y se observó la zona durante 24 h para descartar irritación. Una vez limpia, se delimitaron cuadrantes con plumón indeleble (Figura 1) y se aplicaron los productos correspondientes. El procedimiento se llevó a cabo conforme a la NOM-062-ZOO-1999 (DOF, 2001) y los Lineamientos Éticos para la Investigación del Dolor Experimental en Animales y contó con la aprobación del CICUAL de la Facultad de Química, UNAM (OFICIO/FQ/CICUAL/371-2/19).

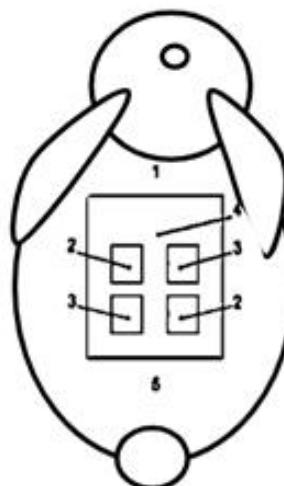


Figura 1. División de cuadrantes en conejos para prueba de sensibilidad como lo establece la FEUM 12^a edición (FEUM, 2018). Donde, 1:Extremo craneal; 2:Sitio de prueba; 3:Sitio de control; 4:Región dorsal recortada y 5:Extremo caudal

La zona tratada se cubrió con una gasa durante 5 min y se evaluó a los 60 min, 24, 48 y 72 h, registrando evidencia fotográfica en cada intervalo. En un conejo se aplicaron los emulgeles y en otro los parches, siguiendo el mismo procedimiento en ambos casos. Los parámetros de evaluación se establecieron de acuerdo con la FEUM (2018): MGA No. 0515, tal como se muestran en la Tabla 5, donde el grado de irritación se determinó a partir del promedio de las reacciones observadas, calculado como la suma de los valores obtenidos dividida entre cuatro.

Tabla 5. Evaluación de la reacción de irritación en piel (FEUM, 2018)

Reacción cutánea	Valor
Eritema y formación de escaras:	0
Eritema muy ligero (apenas perceptible)	1
Eritema bien definido	2
Eritema de moderado a severo	3
Eritema severo a formación ligera de escaras (heridas en profundidad)	4
Formación de edema	0

Tabla 5. Evaluación de la reacción de irritación en piel (FEUM, 2018)

Reacción cutánea	Valor
de edema	
Edema muy ligero (apenas perceptible)	1
Edema ligero (bordes del área conspicuos por elevación definida)	2
Edema moderado (elevación de aproximadamente 1 mm)	3
Edema severo (elevación mayor de 1 mm y extendiéndose más allá del área de exposición)	4

Prueba de sensibilidad cutánea en ratas Wistar. Esta prueba cuenta con la aprobación por el Comité de Ética para el Uso de Animales de Laboratorio (CICUAL) de la Facultad de Química, UNAM (OFICIO/FQ/CICUAL/371-2/19). Para su realización se utilizaron un total de 16 animales divididos en 2 grupos con 8 ratas hembra de la estirpe Wistar de 250 ± 50 g de masa corporal. En un grupo se evaluaron las diferentes formulaciones de emulgel y en el otro las del parche. Para ello, para ambos casos, se aplicó anestesia a las ratas (Pentobarbital en dosis de 32 mg/kg, aplicación vía intraperitoneal; utilizando aguja calibre 27 G y jeringa de 1 mL) y una vez que se presentó el efecto hipnótico (anestesia) se realizó la tricotomía (rasurado) del dorso con navaja de afeitar. Cuando la zona estuvo libre de pelo se dividió en cuadrantes como se muestra en la Figura 2, marcándose con plumón indeleble. Para el modelo de heridas inducidas en ratas Wistar se prosiguió con la realización de las heridas, utilizando una navaja de doble filo, de acero inoxidable y estéril en lugar de un bisturí para asegurar un corte más controlado y uniforme sobre la piel de la rata (Ada et al., 2021), evitando desgarros debido a la naturaleza laxa y elástica de la misma (esta metodología ha sido desarrollada y validada en el laboratorio de la UNEXA permitiendo cortes más precisos y exactos y menos lesión por desgarro) (Figura 2).

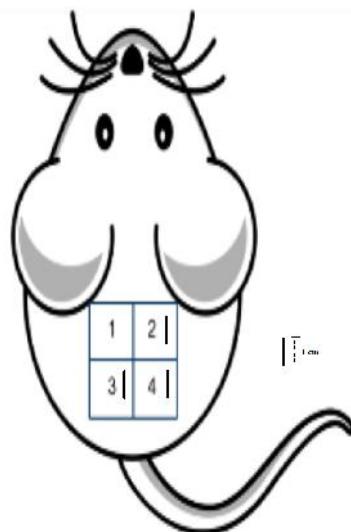


Figura 2. Distribución de cuadrantes para prueba de cicatrización en ratas. Donde: (1) Control intacto (sin herida), (2) control emulgel sin extracto, (3) control comercial (Cicatricure MR), (4) grupos con extracto de tuna o parche con extracto de Tuna respectivamente. | = representa el corte de piel de 1cm de largo

Inmediatamente después de inducir la herida se aplicaron las formulaciones correspondientes en cada grupo y la zona se cubrió con una gasa estéril durante todo el tiempo que estuvieron en estado hipnótico. Los cuadrantes marcados de los grupos fueron: (1) Control intacto (sin herida), (2) control emulgel sin extracto, (3) control comercial (Cicatricure MR), (4) grupos con extracto de tuna o parche con extracto de tuna, respectivamente. La aplicación se realizó 2 veces al día durante 8 días, de la misma manera que se describió anteriormente y en el caso del parche se sujetó la gasa con cinta adhesiva para lograr un tiempo de contacto más largo entre la piel y el parche, debido a que el movimiento de los animales dificulta esta condición. Durante este tiempo se sacrificó una rata de cada grupo cada 24 h con el método de dislocación cervical y se procedió a obtener los tejidos de piel. Para

este procedimiento se cortó cada cuadrante con navaja de afeitar siguiendo las marcas realizadas y con la ayuda de unas pinzas de extracción se fue obteniendo cada cuadrado de piel, los tejidos se mantuvieron embebidos en formol en todo momento hasta que se completó el tratamiento para el último individuo.

Histología de tejidos. Una vez obtenidas todas las muestras se llevó a cabo la técnica de histología de tejidos para su visualización al microscopio. Despues de la necropsia los órganos fueron colocados en una solución amortiguadora de formol al 10%. Se fijaron durante 48 h. Posteriormente, fueron introducidos al histoquinette donde se realizó el proceso de deshidratación mediante un tren de disoluciones, iniciando con sumersión progresiva en grados de alcohol absoluto de concentración ascendente del 50, 80 y 100%. A este último se le realizaron 3 recambios; seguido de un aclaramiento con xileno (xilol; grado reactivo analítico LT 1234 Sigma Aldrich CAS 108-38-3) e impregnación en parafina. Todo el procedimiento anterior tuvo una duración de 18 horas. Al finalizar el proceso en el histoquinette los tejidos fueron colocados en charolas de acero inoxidable con parafina líquida (punto de fusión de 56 a 58°C, viscosidad de 3.54 cSt. número CAS: 64742-51-4). Tras la obtención del bloque de parafina se cortó en el microtomo con un grosor de 3 micras y se extendió en un baño de flotación a una temperatura de 46°C. Los tejidos extendidos se recolectaron utilizando portaobjetos e inmediatamente fueron identificados. Estas laminillas se dejaron secar y se procedió a su tinción con hematoxilina y eosina, H-E. Una vez seca la resina se procedió con la observación en un microscopio óptico marca VEVOR Microscopio Trinocular 40X-5000X con los objetivos de 10 y 40X.

Análisis estadístico

El análisis de los datos obtenidos se llevó a cabo por medio del programa Sigma Plot 14.0, realizando pruebas de normalidad (Shapiro-Wilk) y prueba de equi-varianza (Brown-Forsythe) a una $p=0.05$. Se vió que cumplió con los criterios para la realización de la prueba de análisis de varianza de una vía (ANDEVA de una vía), donde a $p<0.05$ hubieron diferencias significativas. El análisis post-hoc Control versus comparación múltiple, se hizo mediante la prueba de Holm-Sidak.

Resultados y discusión

Fracciones del extracto del fruto de *Opuntia ficus-indica*. En la Figura 3 se muestran los resultados obtenidos de la prueba de coagulación para los extractos de tunas dulces de *Opuntia ficus-indica*. El tiempo en que se formó el coágulo en la muestra de sangre al añadir cada extracto comparado con el tiempo basal al que no se le añadió extracto fue menor para las Fracciones I y III, lo cual sugiere un posible efecto cicatrizante.

En la Figura 4 se muestran los resultados para las Fracciones I y III de la concentración del extracto de *Opuntia ficus-indica* vs. tiempo de coagulación respectivamente; donde para la Fracción I se encontraron diferencias significativas a la concentración de 20% v/v a un $p<0.01$ de la ANDEVA de una vía ($F_{9,14}=175.281$; prueba post hoc: para 20% v/v la $t=7.555$ $p<0.01$).

Por otro lado, con respecto de la Fracción III, se encontraron diferencias significativas de las concentraciones: 5, 10 y 20% v/v, $p<0.01$ ANDEVA de una vía ($F_{9,14}=81.361$; prueba post hoc: al 5%v/v la $t = 12.9$ $p<0.01$; 10%v/v la $t = 17.228$ $p<0.01$ y para 20%v/v la $t = 20.731$ $p<0.01$, con lo cual se determinó que la concentración de trabajo para el diseño de las formas cosmeceuticas es del 20% v/v.

Prueba de coagulación para las fracciones de extracto de *Opuntia indica*

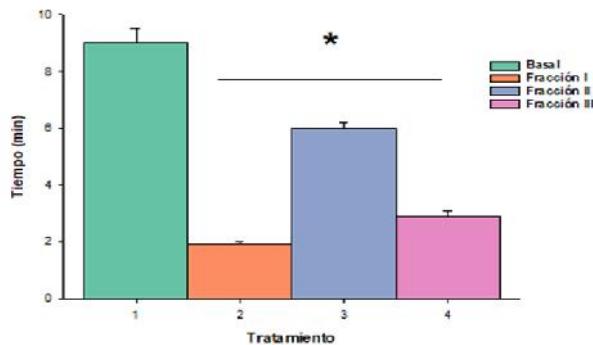


Figura 3. Tiempo de coagulación para cada extracto obtenido en la prueba de coagulación. Cada barra representa el promedio de tiempo de coagulación \pm E.E. *diferencia significativa a $p<0.01$ grupos tratados con las fracciones I, II y III versus basal (ANDEVA de una vía: $F_{g,1}=403.623$; prueba post hoc: Holm-Sidak: $t=31.40$; $p<0.01$)

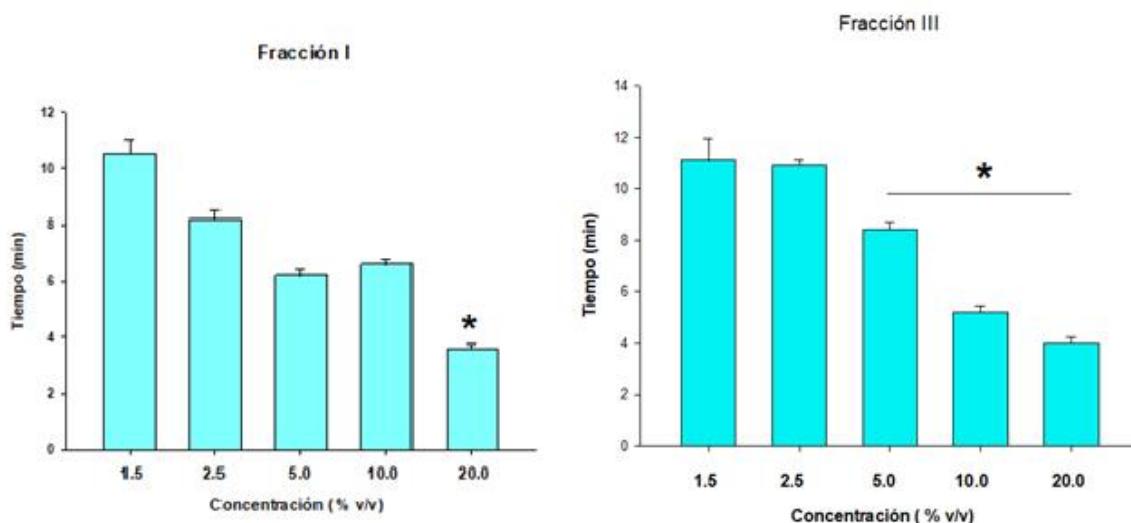


Figura 4. Tiempo de coagulación en función de la concentración de los extractos I y III. Cada barra representa el tiempo de coagulación de las fracciones del fruto de *Opuntia ficus-indica* (nopal/tuna) \pm E.E. *diferencias significativas a $p<0.01$ con respecto al tiempo de la concentración 1.5%. Fracción I: ANDEVA de una vía ($F_{g,1}=175.281$; prueba post hoc: para 20%v/v la $t=7.555$ $p<0.01$) y Fracción III: ANADEVA de una vía ($F_{g,1}=81.361$; prueba post hoc: al 5%v/v la $t=12.9$ $p<0.01$; 10%v/v la $t=17.228$ $p<0.01$ y para 20%v/v la $t=20.731$ $p<0.01$)

Emulgel

En la Tabla 6 se muestran los resultados de las pruebas sensoriales, fisicoquímicas y microbiológicas, en donde se demuestra que cumplieron con las especificaciones propuestas para los emulgeles I y III.

Tabla 6. Resultados de las pruebas sensoriales y fisicoquímicas de los emulgeles I y III

	Prueba	Especificaciones	Resultados	Criterio de aceptación
Emulgel I	Olor	Característico de la tuna	Característico de la tuna	Cumple
	Color	Blanco	Blanco	Cumple
	Textura	Suave, cremosidad	Suave, cremosidad	Cumple
	Aspecto	Homogéneo	Homogéneo	Cumple
	pH	4.5-6.5	5	Cumple
	Centrifugación	Sin separación de fases	Sin separación de fases	Cumple
	Ciclado de temperatura	Sin separación de fases ni cambios en las pruebas sensoriales	Sin separación de fases ni cambios en las pruebas sensoriales	Cumple
	Microbiológicas	OMA 100 UFC, HL 10 UFC CT 10 UFC (por 1 g)	OMA <100 UFC HL <10 UFC CT <10 UFC	Cumple
Emulgel III	Olor	Característico de la tuna	Característico de la tuna	Cumple
	Color	Blanco	Blanco	Cumple
	Textura	Suave, cremosidad	Suave, cremosidad	Cumple
	Aspecto	Homogéneo	Homogéneo	Cumple
	pH	4.5-6.5	5	Cumple
	Centrifugación	Sin separación de fases	Sin separación de fases	Cumple
	Ciclado de temperatura	Sin separación de fases ni cambios en las pruebas sensoriales	Sin separación de fases ni cambios en las pruebas sensoriales	Cumple
	Microbiológicas	OMA 100 UFC, HL 10 UFC CT 10 UFC (por 1 g) Ausencia de microorganismos patógenos específicos: <i>S. aureus</i> , <i>P. aeruginosa</i> , y <i>C. albicans</i>	OMA <100 UFC HL <10 UFC CT <10 UFC Ausencia de microorganismos patógenos específicos: <i>S. aureus</i> , <i>P. aeruginosa</i> , y <i>C. albicans</i>	Cumple

OMA: organismos mesófilos aerobios; UFC: Unidades formadoras de colonias; HL: Hongos y levaduras; CT: Coliformes totales; g: gramo

Parche

En la Tabla 7 se muestran los resultados de las pruebas sensoriales, fisicoquímicas y microbiológicas, donde cumplen con los criterios de aceptación de acuerdo a las especificaciones propuestas.

Tabla 7. Resultados de las pruebas sensoriales y fisicoquímicas para el parche I y III

	Prueba	Especificaciones	Resultados	Criterio de aceptación
Parche I	Olor	Característico de la tuna	Característico de la tuna	Cumple
	Color	Verde	Verde	Cumple
	Textura	Suave, húmedo, ligero	Suave, húmedo, ligero	Cumple
	Aspecto	Homogéneo, sin partículas o grumos	Homogéneo, sin partículas o grumos	Cumple
	pH	4.5-6.5	5	Cumple

Tabla 7. Resultados de las pruebas sensoriales y fisicoquímicas para el parche I y III

	Prueba	Especificaciones	Resultados	Criterio de aceptación
Parche III	Microbiológicas	OMA 100 UFC, HL 10 UFC CT 10 UFC (por 1 g)	OMA <100 UFC HL <10 UFC CT <10 UFC	Cumple
	Olor	Característico de la tuna	Característico de la tuna	Cumple
	Color	Verde	Verde	Cumple
	Textura	Suave, húmedo, ligero	Suave, húmedo, ligero	Cumple
	Aspecto	Homogéneo, sin partículas o grumos	Homogéneo, sin partículas o grumos	Cumple
	pH	4.5-6.5	5	Cumple
	Microbiológicas	OMA 100 UFC, HL 10 UFC CT 10 UFC (por 1 g) Ausencia de microorganismos patógenos específicos: <i>S. aureus</i> , <i>P. aeruginosa</i> , y <i>C. albicans</i>	OMA <100 UFC HL <10 UFC CT <10 UFC Ausencia de microorganismos patógenos específicos: <i>S. aureus</i> , <i>P. aeruginosa</i> , y <i>C. albicans</i>	Cumple

OMA: organismos mesófilos aerobios; UFC: Unidades formadoras de colonias; HL: Hongos y levaduras; CT: Coliformes totales; g: gramo

Prueba de sensibilidad cutánea en conejo Nueva Zelanda

En la Figura 5 se muestran las imágenes de los resultados para la prueba de sensibilidad en conejos donde se demostró que fue seguro ya que el grado de irritación fue 0/4 evaluados a los 5 minutos, 24 y 72 h al aplicar las formulaciones propuestas (emulgel y parche con el extracto de tuna).

Prueba de cicatrización

Para demostrar el efecto cicatrizante del extracto de tuna, en la Figura 6 se muestran las imágenes obtenidas de los cortes histológicos, posterior a la realización del modelo de heridas inducidas en ratas Wistar (Figura 6).

Discusión final

Los extractos I y III mostraron una disminución en el tiempo de coagulación (2'6" y 3'2" respectivamente) comparado con el tiempo basal que fue de 5'49", mientras que, el extracto II no tuvo cambio con respecto del basal. Considerado que el 85% de la tuna es agua, en la Fracción III donde se tenía el resto del triturado se llevó a cabo una extracción acuosa al igual que en la Fracción II, la diferencia fue que, en la Fracción II se adicionó agua en proporción 1:1 mientras que en la Fracción III la extracción se realizó con el agua ya contenida en la muestra, por lo que el extracto se diluyó, disminuyendo así la concentración de los compuestos de interés en la Fracción II. Esta disminución en el tiempo de coagulación pudo dar indicio del posible efecto cicatrizante de los extractos debido a la presencia de los compuestos polifenólicos considerados cicatrizantes hemostáticos. La función de estos compuestos cicatrizantes es la de promover la formación del coágulo de fibrina que se lleva a cabo durante la primera etapa del proceso de cicatrización y condiciona el inicio de la siguiente etapa que es la inflamación (Senet, 2007; Valencia-Gómez et al., 2016). La actividad antiinflamatoria es atribuida al poder antioxidante que puede ayudar a la cicatrización o regeneración de la herida. En el extracto etanólico de tuna blanca se reporta un

contenido de fenoles totales de 3.87 miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo de extracto (mgeq AG/g) y un contenido de flavonoides de 2 miligramos equivalente a quercetina por gramo de extracto (mgeq/g), que promueven la actividad antiinflamatoria y antioxidante del extracto (Enciso-Roca et al., 2021).

Reacción cutánea	Valor	Conclusión	Evidencia
Eritema y formación de escaras para piel intacta	24h 0 72h 0	No irritante	
Formación de edema para piel intacta	24h 0 72h 0		

Figura 5. Resultados de la prueba de sensibilidad cutánea en conejo para emulgel y parche. En el cuadrante (A) se muestra la distribución de aplicación de las formulaciones. En el cuadrante (B) está la evaluación a los 5 min de su administración. En los cuadrantes (C) y (D) están las evaluaciones a las 24 y 72 h, respectivamente

Las pruebas realizadas en los emulgeles mostraron su estabilidad, ya que no hubo separación de las fases acuosa y oleosa. Por otro lado, la formulación resultó adecuada al no haber diferencias entre los resultados del emulgel base (control) y los elaborados con los extractos, ya que no hubo incompatibilidad de excipientes. Las pruebas sensoriales y fisicoquímicas también se mantuvieron constantes durante cada semana para cada emulgel, indicando también su estabilidad debido a que un cambio en su aspecto físico, color u olor indicaría incompatibilidad, inestabilidad, descomposición de la formulación, contaminación bacteriana, oxidación o hidrólisis y la presencia de alguna de estas alteraciones podrían provocar disminución o pérdida del efecto esperado o incluso desarrollar efectos adversos (Sabater y Mourelle, 2013).

Las pruebas microbiológicas efectuadas avalaron el control de calidad para los productos elaborados, ya que durante el proceso de diseño y producción se cumplieron las medidas de higiene e inocuidad, siguiendo los lineamientos establecidos en el Reglamento de Higiene y Seguridad de la Facultad de Química (2013). Lo mismo ocurrió para el parche debido a que no se observaron diferencias en las pruebas sensoriales realizadas cada semana, pero se observó que debían mantenerse hidratados en el

suero porque se endurecieron algunas muestras. En cuanto a los parches, a las 6 semanas de su elaboración se absorbió el suero por completo, debiéndose mantener hidratados. Las formulaciones que en este trabajo se elaboraron y evaluaron no han sido reportadas en la literatura. Por lo tanto, fueron muy importantes las medidas de higiene durante su desarrollo ya que pueden servir como base para futuros desarrollos en esta línea de investigación.

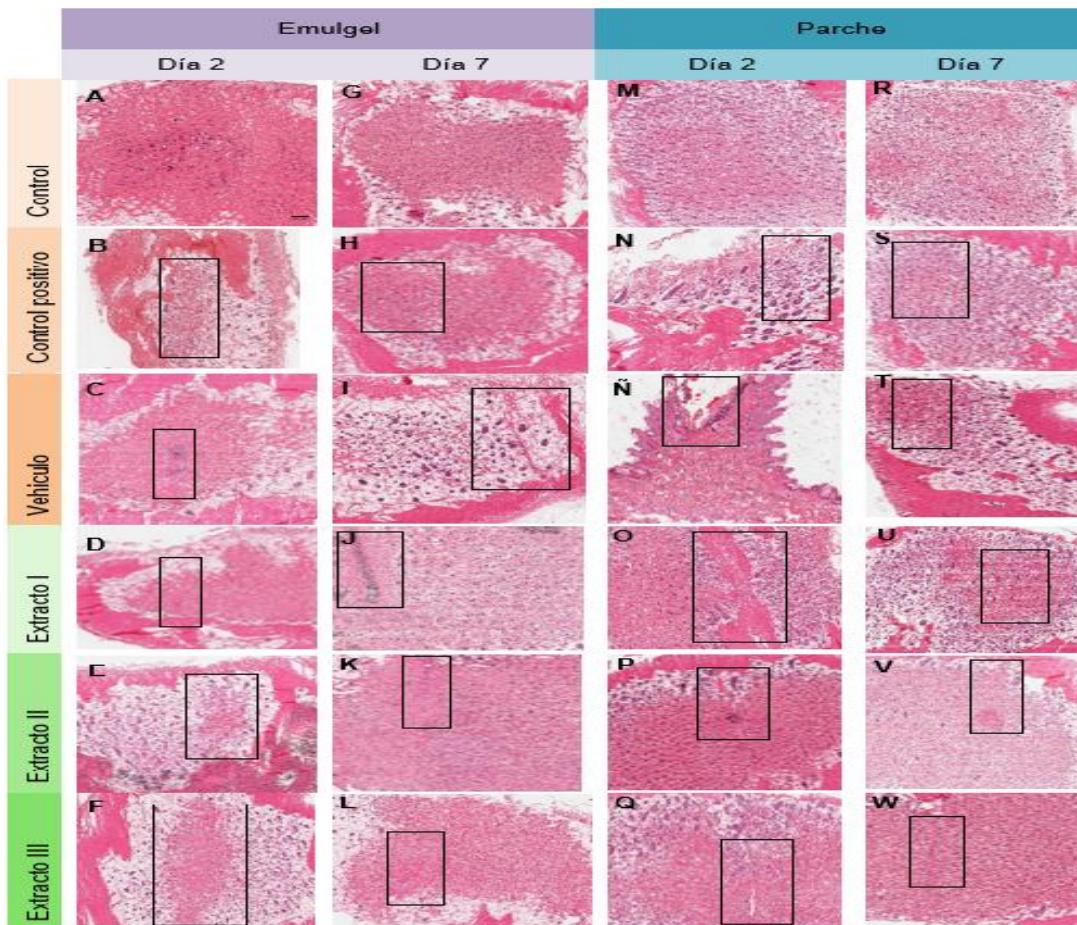


Figura 6. Tinciones de Hematoxilina-Eosina de piel de rata (estirpe Wistar) modelo de heridas inducidas para emulgel y parche de extracto de tuna. A, G, M y R corresponden al control de los días 2 y 7 de emulgel y parche, respectivamente; B, H, N y S corresponden al control positivo en los días 2 y 7 del emulgel y parche, respectivamente; C, I, N y T corresponden al vehículo en los días 2 y 7 del emulgel y parche, respectivamente; D, J, O y U corresponden a las formulaciones con el extracto I en los días 2 y 7 del emulgel y parche, respectivamente. E, K, P y V corresponden a las formulaciones con el extracto II en los días 2 y 7 del emulgel y parche, respectivamente y F, L, Q y W corresponden a las formulaciones con el extracto III en los días 2 y 7 del emulgel y parche, respectivamente. Todas las imágenes tienen la misma escala. <□> Representa la zona de la herida

La prueba de sensibilidad cutánea en conejos cepa Nueva Zelanda demostró que, tanto el emulgel como el parche, son productos inocuos para su aplicación tópica, debido a que no se mostró ninguna reacción de irritación a las 72 h de su aplicación como se especifica en los lineamientos de la FEUM 12^a edición, MGA 0515 (FEUM, 2018).

Con respecto del modelo de heridas inducidas en ratas de la estirpe Wistar para evaluar el efecto cicatrizante de los extractos, a nivel macroscópico, fue posible observar la formación de la costra

desde el primer día de aplicación, ya que no se observó en ningún momento signos de alguna infección. La reparación total del tejido sin una cicatriz evidente, se pudo observar al sexto día en el emulgel y séptimo día en el parche. La rápida inducción de la cicatrización podría deberse a las propiedades de los extractos de tuna, ya que, en ellos se encuentran compuestos como vitaminas y minerales que forman parte del valor nutrimental de la tuna y que también participan en el proceso de cicatrización. Está demostrado que una mala nutrición produce alteraciones y prolonga las fases de la cicatrización, por lo que, a los pacientes también se les proporciona una terapia con suplementos alimentarios para ayudar a la regeneración de la piel (Miren, 2015).

Hay estudios que reportan que el 15% de la actividad antioxidante total de la tuna es responsabilidad de la vitamina C y el resto es debido a los compuestos polifenólicos, flavonoides y a las betalaínas (Galati et al., 2003). La actividad antioxidante evita la formación de radicales libres y previene los efectos secundarios de especies reactivas de oxígeno. Además, promueve la actividad de los neutrófilos, aumenta la proliferación y migración de los fibroblastos e interviene en la angiogénesis y la síntesis de colágeno (Martínez-García et al., 2021).

En un estudio realizado por Jawad et al. (2008), se demostró que los pacientes con lesiones por quemadura a los que se les administraron antioxidantes (vitaminas C y E, y el mineral Zn, entre los compuestos presentes en la tuna) mostraron un tiempo de recuperación menor, en comparación con los que no se les administraron antioxidantes. Durante el proceso de cicatrización se liberan radicales libres y especies reactivas de oxígeno (ROS, por sus siglas en inglés) por los neutrófilos como un mecanismo de defensa frente a patógenos específicos: *S. aureus*, *P. aeruginosa* y *C. albicans*. (Carvajal, 2019). Los compuestos antioxidantes ayudan a degradar estas especies para mantener un equilibrio y asegurar el buen funcionamiento del organismo, de manera que la presencia de vitaminas E y C, además de flavonoides son benéficos en el proceso de cicatrización (Miquet-Romero et al., 2021).

El calcio juega un papel importante en el proceso de cicatrización, debido a que participa en la diferenciación celular y es precursor de la descamación de los corneocitos en el estrato corneo. En la tuna es un ion que se encuentra en gran proporción: 93 mg en una porción de 103 g de tuna (Angulo-Bejarano et al., 2014; Kamble et al., 2017). Por otro lado, en un estudio realizado por Piña-Barba et al. (2004) se observó que en los grupos experimentales tratados con materiales enriquecidos con calcio y zinc tuvieron una cicatrización de la piel más rápida y presentaron mejor arreglo de las fibras de colágeno en comparación con el grupo control. Estudios más recientes han demostrado que después de que se realiza una lesión se produce una onda de incremento en la concentración de calcio citosólico desde el borde de la herida, esto produce un aumento en la migración y proliferación celular debido a que reduce la tasa de apoptosis. Este incremento solamente dura unos minutos, pero sus efectos duran más tiempo (Justet, 2019). Adicional la vitamina A durante la fase inflamatoria estimula el sistema inmunológico y aumenta la cantidad de monocitos y macrófagos en la herida, lo que ayuda a acelerar este proceso y dar pie a la siguiente fase de la cicatrización. Esta vitamina, además de tener acción antioxidante, estimula la epitelización ya que es un cofactor en la síntesis del colágeno e interviene en la diferenciación de los fibroblastos (Miren, 2015).

El magnesio es cofactor de muchas reacciones enzimáticas en todo el cuerpo para la producción de energía, incluidas las que suceden durante el proceso de cicatrización como la síntesis de colágeno y proteínas (Miren, 2015). En un estudio realizado por Afzali et al. (2019), se comprobó que la suplementación con magnesio y vitamina E tuvo efectos benéficos en el tamaño de úlceras en pie diabético. En el caso del hierro un componente de la hemoglobina, molécula proveedora de oxígeno a los tejidos nuevos, la neovascularización depende de las concentraciones de oxígeno y este proceso es muy importante para la regeneración del tejido, además este mineral forma parte de la matriz extracelular temporal la cual sirve para el entrelazado del colágeno inmaduro (Miquet-Romero et al., 2022). Así mismo, los carbohidratos son compuestos que se encuentran en la tuna en un gran porcentaje siendo aproximadamente 9.8 g /103 g de tuna (Angulo-Bejarano et al., 2014; Kamble et

al., 2017), los cuales son sumamente importantes durante el proceso de cicatrización debido a que las células necesitan energía para proliferar y llevar a cabo sus funciones de síntesis como la producción de colágeno, incluso una persona con heridas en la piel debe aumentar la ingesta de carbohidratos para cubrir el gasto energético (Miren, 2015).

Conclusión final

El extracto de tuna mostró una disminución en el tiempo de coagulación, debido a que promovió el coágulo en un menor tiempo con respecto al control, pudiéndose diseñar el parche y el emulgel con el extracto para su aplicación tópica en heridas. Además, dichos productos demostraron su estabilidad y seguridad gracias a las pruebas realizadas. Finalmente, se demostró con el modelo de heridas inducidas en ratas Wistar que el extracto de tuna mostró una mejoría y reducción del tiempo de cicatrización del tejido.

Glosario

Acrónimos o términos	Significado
MGA	Método General de Análisis
FEUM	Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos
E.E.	Error estándar
DOF	Diario Oficial de la Federación
NOM	Norma Oficial Mexicana
mg EO/g	miligramo equivalente/ gramo
mgeq AG/g	miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo de extracto
g	Gramo
% v/v	Porciento volumen /volumen
OMA	Organismos mesófilos aerobios
UFC	Unidades formadoras de colonias
HL	Hongos y levaduras
CT	Coliformes totales
ROS	Especies reactivas de oxígeno, ERO (por sus siglas en inglés, reactive oxygen species)
h	Hora u horas de acuerdo con la IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry, Unión Internacional de Química Pura y Aplicada). En el Sistema Internacional de Unidades la unidad para el tiempo es el segundo
c.b.p.	Siglas para “cuanto baste para”
g.l.	Grados de libertad
ANDEVA	Análisis de varianza
MR	Marca registrada
mg/kg	Miligramo por kilogramo
<hr/>	
Letras griegas	
μ g	Microgramo

Reconocimientos y agradecimientos

Los(as) autores(as) agradecen al Dr. Hugo Antonio Hernández Pérez por su apoyo para la realización de las pruebas microbiológicas. Asimismo, reconocen el apoyo del Consejo Coordinador Colegiado, CoCoCol, del Colegio de Profesores de la Facultad de Química y a la sección 024 del AAPAUNAM por su apoyo para la realización de este trabajo a través de una cátedra académica.

Conflictos de interés

Los autores no declaran algún conflicto de interés.

Referencias bibliográficas

- Ada, F., Gümü, E., Kasıimzade, F. 2021. Nano-based ceramic surgical blade accelerates wound healing. *Journal of Surgery and Medicine*. 5(9): 924-927. <https://doi.org/10.28982/josam.857885>

Afzali, H., Jafari, A., Momen, M. 2019. The effects of magnesium and vitamin E co-supplementation on wound healing and metabolic status in patients with diabetic foot ulcer: A randomized, double-blind, placebo-controlled trial. *Wound Repair Regen.* 27(3):277-284.

Angulo-Bejarano, P.I., Martínez-Cruz, O., Paredes-López, O. 2014. Phytochemical content, nutraceutical potential, and biotechnological applications of an ancient Mexican plant: Nopal (*Opuntia ficus-indica*). *Current Nutrition & Food Science.* 10(3):196-217. <https://doi.org/10.2174/157340131003140828121015>

Biblioteca Digital de la Medicina Tradicional Mexicana. 2009. *Opuntia ficus-indica: Usos Tradicionales*. Pub. Universidad Nacional Autónoma de México.

Briones-Garduño, J.C., Villa-Guerrero, M., Orozco-Zúñiga, B., Cérbulo-Vázquez, A., Borges-Ibáñez, M., Amaya-Pérez, V., Reyes-Mendoza, L.E., DeAnda-Aguilar, L., Briones-Vega, C.G., 2024. Coagulación en la práctica médica (Obstetricia crítica) / Coagulation in medical practice (critical obstetrics). *Revista CONAMED.* 29(2): 146-154. http://www.conamed.gob.mx/gobmx/revista/pdf/vol_29_2024/COMPLETO_2.pdf

Buendía-Eisman, A., Mazuecos-Blanca, J., Camacho-Martínez, F.M. 2018. Anatomía y fisiología de la piel. En *Manual de dermatología*. Conejo-Mir, J., Moreno, J.C., Camacho, F.M. Capítulo 1. Pp. 2-27. Vol. I. ISBN Volumen I: 978-84-7885-628-2. ISBN Obra completa: 978-84-7885-627-5. ISBN Volumen II: 978-84-7885-629-9. Grupo Aula Médica, S.L. [https://www.berri.es/pdf/MANUAL%20DE%20DERMATOLOGIA%20E%2080%9A%2020220%20Vols.%20\(Tapa%20Dura\)/9788478856282](https://www.berri.es/pdf/MANUAL%20DE%20DERMATOLOGIA%20E%2080%9A%2020220%20Vols.%20(Tapa%20Dura)/9788478856282)

Butera, D., Tesoriere, L., Di Gaudio, F., Bongiorno, A., Allegra, M., Livrea, M.A. 2002. Antioxidant properties of Sicilian prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 50(4):856-861.

Cabrera, L. 2002. Diccionario de aztequismos. Revisión y puesta en orden: J. Ignacio Dávila-Garibi. Términos nahuas: Luis Reyes-García. Términos latinos (clasificaciones botánicas y zoológicas): Esteban Inciarte. Ed. Colofón S.A. 5^a edición. ISBN 968-867-038-3. México D.F. México.

Carvajal, C. 2019. Especies reactivas del oxígeno: Formación, función y estrés oxidativo. *Medicina Legal de Costa Rica.* 36(1):91-100. http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-00152019000100091&lng=en&tlang=es.

DOF. 2001. Especificaciones técnicas para la producción, cuidado y uso de los animales de laboratorio - NOM-062-ZOO-1999. Diario Oficial de la Federación, 22 de agosto de 2001. https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/203498/NOM-062-ZOO-1999_220801.pdf.

Enciso-Roca, E.C., Aguilar-Felices, E.J., Común-Ventura, P.W., Tinco-Jayo, J.A. 2021. Actividad antiinflamatoria y antioxidante de tres variedades de *Opuntia ficus-indica* "Tuna". *Revista de Sociedad Química del Perú.* 87(3): 207-216. <http://dx.doi.org/10.37761/rsqp.v87i3.348>

Fernández, V., García M. 2008. La cicatrización de las heridas. *Formación Dermatológica.* 3:8-15. <https://anedicidic.com/descargas/formacion-dermatologica/03/la-cicatrizacion-de-las-heridas.pdf>

FEUM. 2018. Farmacopea de los Estados Unidos Mexicanos. 12^a edición. Secretaría de Salud. Ciudad de México, México.

Galati, E.M., Mondello, M.R., Giuffrida, D., Dugo, G., Miceli, N., Pergolizzi, S., Taviano, M.F. 2003. Chemical characterization and biological effects of Sicilian *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. fruit juice: Antioxidant and antiulcerogenic activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 51(17):4903-4908. <https://doi.org/10.1021/jf030123d>

ISO 17516:2014. Cosméticos – Microbiología – Límites microbiológicos. Publicado: Edición 1, 2014. Esta publicación fue revisada y confirmada por última vez en 2020. Por lo tanto, esta versión sigue vigente. Se espera que sea reemplazada por ISO/DIS 17516. <https://www.iso.org/standard/59938.html>

Jawad, F.H., Sahib, A.S., Kaisy, A.A. 2008. Role of antioxidants in the treatment of burn lesions. *Annals of Burns and Fire Disasters.* 21(4):186-191.

Justet, C. 2019. Rol de la onda fugaz de calcio en la cicatrización de células de endotelio de córnea de bovino. Tesis doctoral, Universidad de la República. Montevideo, Uruguay. PEDECIBA. <https://hdl.handle.net/20.500.12008/26656>

Kamble, S.M., Prashant, D., Ranveer, R.C., Sahoo, A.K. 2017. Nutritional importance of cactus: A review. *Trends in Biosciences.* 10(37):7668-7677.

Leyva-Gómez, G., Santillán-Reyes, E.R., Torres, L.A. 2025. Desarrollo de hidrogel para cicatrización de heridas con materiales biodegradables. Facultad de Química, UNAM. Ciudad de México, México.

-
- https://quimica.unam.mx/desarrollan_en_la_fq_hidrogel_para_cicatrizacion_de_heridas/
- Martínez-García, R.M., Fuentes-Chacón, R.M., Lorenzo-Mora, A.M., Ortega, R.M. 2021. La nutrición en la prevención y curación de heridas crónicas. Importancia en la mejora del pie diabético. *Nutricion hospitalaria*. 38(SPE2):60-63. <https://dx.doi.org/10.20960/nh.3800>
- Martins, M.S., Oliveira, J., Silva, R. 2023. Propiedades nutracéuticas de *Opuntia ficus-indica* y su potencial antioxidante. *Journal of Functional Foods*. 15(2):400-415.
- Miquet-Romero, L.M., Barreto-Peníé, J., Rodríguez-Garcell, R. Rodríguez-Sánchez, O. 2022. Cicatrización y su relación con la nutrición: un enfoque necesario. *Acta Médica*. 23(3):e332-e350. <https://revactamedica.sld.cu/index.php/act/article/view/332>
- Miquet-Romero, L.M., Rodríguez-Garcell, R., Chávez-Mondragón, M.A., Orozco-Jaramillo, M.A., Delgado-Roche, L. 2021. Niveles de ascorbato en pacientes quemados durante la fase aguda. *Cirugía Plástica Ibero-Latinoamericana*. 47(2):227-234. <https://dx.doi.org/10.4321/s0376-78922021000200014>
- Miren, A. 2015. El papel de la nutrición en la cicatrización de las heridas. [Trabajo de fin de grado, Universidad del País Vasco] <https://www.enfermeriaaps.com/portal/wp-content/uploads/2017/03/Papel-de-la-nutricion-en-la-cicatrizacion-de-las-heridas.pdf>
- Noroña-Andrade, E.A., Crespo-Velasco, Y.L., Solis-Narváez, L.E. 2025. Avances en la cicatrización de heridas crónicas: Aplicación de factores de crecimiento, biomateriales y terapias regenerativas. *RECIMUNDO*. 9(1): 1049-1063.
- Piña-Barba, M.C., Tejeda-Cruz, A., Regalado-Hernandez, M.A., Arenas-Reyes, M.I., Martín-Mandujano, S., Montalvo, C. 2004. Cerámicas mexicanas para cicatrización de piel / Mexican Ceramic Material for Skin Healing. *Gaceta Médica de México*. 140(1):7-14. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0016-38132004000100002&lng=es&tlng=es
- Rowe, R.C., Sheskey, P.J., Quinn, M.E. 2009. *Handbook of pharmaceutical excipients*. 6^a. ed. Pharmaceutical Press. <https://adiyugatama.wordpress.com/wp-content/uploads/2012/03/handbook-of-pharmaceutical-excipients-6th-ed.pdf>
- Sabater, I., Mourelle, L. 2013. Estabilidad de los cosméticos. Hernando, P., revisión técnica. En *Cosmetología para estética y belleza*. Rayón, P., Santamaría, P. Eds. Parte 11. Pp. 173-189. McGraw-Hill. Madrid, España. <file:///C:/Users/Dra%20Duran/Downloads/8448183274.pdf>
- Senet, P. 2007. Fisiología de la cicatrización cutánea. *Dermatología*. 98-040-A-10 <https://cirugia.facmed.unam.mx/wp-content/uploads/2018/07/Fisiolog%C3%ADa-de-la-cicatrizaci%C3%B3n-cut%C3%ADnea.pdf>
- Sumaya, V.V., Flores, J., Torres, L. 2010. Beneficios antioxidantes de la tuna. *Revista Latinoamericana de Química*. 38(3):267-275.
- Reglamento de Higiene y Seguridad para Laboratorios de la Facultad de Química. 2013. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química. <https://quimica.unam.mx/wp-content/uploads/2019/06/reglamento-de-higiene-y-seguridad.pdf>
- Valencia-Gómez, L.E., Martel-Estrada, S.A., Vargas-Requena, C.L., Rodríguez-González, C.A., Olivas-Armendáriz, I. 2016. Apóritos de polímeros naturales para regeneración de piel. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*. 37(3):235-249. <https://doi.org/10.17488/rmib.37.3.4>
- Villanueva-Flores, F., Peralta-Cuevas, M.E., Ortiz, R. 2024. Parche inteligente con nanopartículas para tratar heridas crónicas: Liberación controlada y acción dual. *Revista IPN de Biociencias*. 20(4):101-115.

Hoja en blanco / *Intentionally blank page*

Main components of the essential oil from leaves, peel, and pulp of the Mexican autochthonous avocado (P. americana var. drymifolia, Schltdl. & Cham.)

Principales Componentes del aceite esencial de las hojas, cáscara y pulpa del aguacate autóctono mexicano (P. americana var. drymifolia, Schltdl. & Cham.)

Julio A. Solís-Fuentes^{1*}, Caroline I. Pliego-Cerdán², María del Rosario Hernández-Medel¹, Rolando S. García-Gómez³, Marisela Bernal-González³, María del Carmen Durán-Domínguez-de-Bazúa³

¹Universidad Veracruzana, Instituto de Ciencias Básicas, Av. Dr. Luis Castelazo Ayala, Col. Industrial Ánimas, 91190 Xalapa, Ver., México. Correo-e (e-mail)*: jsolis@uv.mx; ²Universidad Veracruzana, Facultad de Ciencias Químicas-Xalapa, Circuito Universitario Gonzalo Aguirre Beltrán, Xalapa, Ver., México; ³UNAM, Facultad de Química, Departamento de Ingeniería Química, Conjunto "E", Labs. 301-302-303 de Ingeniería Química Ambiental y de Química Ambiental, Av. Universidad 3000, Ciudad Universitaria, 04510 Ciudad de México, México. Correo-e (e-mail): mcduran@quimica.unam.mx

*Autor a quien debe dirigirse la correspondencia / *Corresponding author*

Recibido / *Received*: Agosto / *August* 15, 2025

Aceptado / *Accepted*: Septiembre / *September* 14, 2025

Publicado / *Published*: Diciembre 30, 2025 (Número 1, Enero-Junio 2026) / *December 30, 2025 (Number 1, January-June 2026)*

Abstract

In this paper, the extraction and analysis of the volatile compounds of the leaves, peel, and pulp of *Persea Americana* var. *drymifolia* (avocado³) are presented. The essential oils, EO, from these parts of the plant and fruit were extracted by hydrodistillation and their composition was determined through a gas chromatography coupled with a mass spectroscopy. The results showed EO yields of 1.18 ± 0.24 , 0.74 ± 0.05 , and $0.28 \pm 0.17\%$ (db) for the leaf, peel, and pulp, respectively. The leaves, peel, and pulp volatile compounds constituting their flavor and aroma; were identified: 20, 31, and 31 compounds, respectively. The main compounds were benzene derivatives: 86.75, 73.08, and 60.24%; terpene derivatives: 6.51, 21.38, and 36.51% in the leaf, peel, and pulp EOs, respectively. Individually, the highest contents were estragole, ledene oxide (II), aromadendrene, α -pinene, methyleugenol, and benzaldehyde, 4-methoxy-, among others. The toxicological characteristics of the identified majority volatile components, the bioactivation of food-borne genotoxic carcinogens, and the toxicity risks involved in the consumption of the majority volatile component, estragole, found in the EOs of autochthonous avocado peel and pulp were discussed.

Keywords: *Persea Americana* var. *drymifolia* essential oils in avocado fruit, peel, and pulp, autochthonous avocado, alkenylbenzenes, estragole

Resumen

En este trabajo, se presenta la extracción y análisis de los compuestos volátiles de las hojas, cáscara y pulpa de *Persea americana* var *drymifolia* (aguacate⁴ autóctono). Los aceites esenciales, AE, de estas partes de la planta y fruto se extrajeron por hidrodestilación y su composición se determinó mediante cromatografía de gases acoplada a espectroscopía de masas. Los resultados mostraron rendimientos de AE de 1.18 ± 0.24 , 0.74 ± 0.05 y $0.28 \pm 0.17\%$ (base seca, bs) para la hoja, cáscara y

³ *Avocado, a word of Nahuatl origin, ahuacatl, fruit of the avocado. A tree of America, of the laurel family, eight to ten meters tall, with alternate, leathery, evergreen leaves, dioecious flowers and edible fruit* (<https://dle.rae.es/aguacate?m=form>)

⁴ Aguacate, palabra de origen náhuatl, *ahuacatl*, fruto del aguacate. Árbol de América, de la familia de las lauráceas, de ocho a diez metros de altura, con hojas alternas, coriáceas, siempre verdes, flores dioicas y fruto comestible (<https://dle.rae.es/aguacate?m=form>)

pulpa, respectivamente. Los compuestos volátiles de hojas, cáscara y pulpa que constituyen su sabor y aroma se identificaron, siendo 20, 31 y 31 compuestos, respectivamente. Los principales compuestos fueron: Derivados del benceno: 86.75, 73.08 y 60.24%; derivados terpénicos: 6.51, 21.38 y 36.51% en el extracto de hoja, cáscara y pulpa, respectivamente. Individualmente, los mayores contenidos fueron estragol, óxido de ledeno (II), aromadendreno, -pineno, metileugenol y benzaldehído, 4-metoxi-, entre otros. Se discutió la información sobre las características toxicológicas de los componentes volátiles mayoritarios identificados, la bio-activación de carcinógenos genotóxicos transmitidos por alimentos y los riesgos de toxicidad asociados al consumo del componente volátil mayoritario, el estragol, presente en el extracto de cáscara y pulpa de aguacate autóctono.

Palabras clave. Aceites esenciales de *Persea americana* var. *Drymifolia* en fruto, cáscara y pulpa, aguacate autóctono, alquenilbencenos, estragol

Introduction

The origin of the avocado is possibly Mesoamerica, since its name comes from the Nahuatl word *ahuacatl*, a tree fruit that have the shape of testicles (Cabrera, 2002). Mexico is the main producer and exporter of avocado (more than 2.3 million tons in 2020, around 32% of the world production of this fruit), produced in almost all the states of the country, but mainly in the state of Michoacán, where its success has caused the botanical transformation of a large area of natural ecosystems (Pérez, 2019).

In recent years, the avocado has occupied a prominent place worldwide in the cultivation and trade of fruits. In Mexico, its cultivation and production have grown significantly due to its progressive acceptance in consumption in the internal and external markets, due to its organoleptic characteristics, as well as the progressive knowledge of its nutritional and functional qualities (Bhuyan et al., 2019; Jiménez-Patiño et al., 2020; Lara-García et al., 2021). From an economic perspective, avocado is currently a relevant export product in Mexico, generating income and foreign exchange in significant amounts that have led it to be considered as a true "green gold". This has also led to its cultivation experiencing high annual growth rates, mainly Hass variety which is the most commercially accepted. In traditional producing regions and in many others, its promotion has led to the undermining of the regional natural biodiversity by displacing not only other more traditional crops, but also endemic avocado varieties with various socioeconomic and environmental consequences (Barrientos-Priego, 2010; Barrientos-Priego and López-López, 2010; Salgado-Garciglia, 2017).

The pre-Hispanic cultures settled in Mesoamerica had extensive knowledge about the avocado. According to the Florentine Codex, three types of avocado were distinguished, according to their characteristics, the *aoacatl* which could correspond to the so-called Mexican race, the *tlacacolaocatl*, the Antillean race and the *quilaocatl* for the Guatemalan race.

Currently in Mexico, there is also a large number of hybrids with mixed traits which causes problems for their location in one race or another. The avocado called 'Hass' is, for example, one of these hybrids -the most advanced one-, from the Guatemalan and Mexican races, which has been estimated to have, between 10 and 15%, of genes from the Mexican race (Barrientos-Priego and López-López, 2010).

The autochthonous or Creole avocado is a small avocado from the highlands of Mexico, and is grown in Chile, in California in the U.S., in the south of France, in Italy, and in Algeria too. It has an elongated shape and a thin, smooth, dark-colored peel. Its peel and pulp have a strong and outstanding aroma and flavor defined as aniseed, the pulp has an appreciated almost creamy texture (Gupta et al., 2018).

Research on the composition and properties of creole avocado var. *drymifolia* are relatively scarce with respect to those directed to Hass avocado. However, various studies and some practical evidence have shown that various parts of the avocado plant var. *drymifolia*, have, in addition to its nutritional and functional qualities, properties against various herbivorous predators, insects, and pathogens.

Such properties make this plant, potentially important for applications in agriculture and medicine, among other fields of use (Bravo-Monzon and Espinosa-Garcia 2008; Corrales-García et al., 2019; García-Moreno et al., 2017; Granados-Echegoyen et al., 2015; Niogret et al., 2013; Ochoa-Zarzosa et al., 2021; Ramos-Aguilar et al., 2021a,b; Rincón-Hernández et al., 2011; Sagrero-Nieves and Bartley, 1995; Torres-Gurrola et al., 2011).

Among the compounds from plants with biological activity of interest and application, essential oils have been recognized and used since the Middle Ages. They are relative ease to obtain. As well as, they have multiple applications. And they have bactericidal, virucidal, fungicidal, antiparasitic, insecticidal, repellent and aromatic properties and applications in medicine, and agrochemical, pharmaceutical, health, cosmetic, and food industries, etc. (Báez-Magaña et al., 2019; Bakkali et al., 2008; Djilani and Dicko 2012; Friedman et al., 2002; Lara-Marquez et al., 2020; Nerio et al., 2010; Raut and Karuppayil 2014; Sarkic and Stappen 2018; Sharma et al., 2021).

However, the components of essential oils also involve risk. Various authors and investigations have shown that some of these components could have toxic effects at the cellular, organic or systemic levels. These effects ranging from mild to severe, such as irritation, corrosion, sensitization, and even carcinogenicity or teratogenicity, which has limited their use in various applications and caution is recommended in the consumption of foods that naturally or artificially contain them (Raut and Karuppayil, 2014; Vigan, 2010).

The investigation of the volatile compounds of *P. americana* var. *drymifolia* is scarce. The existing reports have focused preferentially on the essential oil extracted from the leaves of the plant (Bravo-Monzon and Espinosa-Garcia, 2008; Granados-Echegoyen et al., 2015; King and Knight 1992; Niogret et al., 2013; Sagrero-Nieves and Bartley, 1995; Torres-Gurrola et al. 2011; among others). However, the Mexican avocado landrace fruit, known in some Mexican rural areas as "odorous" avocado, has a characteristic aroma that is shared by the leaves, with the traditionally edible portions of the plant i.e. peel and pulp; although to date there are no further reports on the compounds that constitute the essential oil extracted from the latter to date.

At present, the expectations faced by autochthonous avocados in Mexico are not favorable because of their current conservation status, which is very precarious. Their original cultivated areas have decreased in recent years for various reasons attributable to the dynamics of changes in agricultural and livestock activities, and urban growth, but mainly due to the effect of the substitution of traditional creole cultivars for improved hybrid cultivars. The commercial success of the latter in the international market has resulted in their predominance in the regions of high avocado production in the world, as is the case in Mexico, where the Hass variety covers more than 90% of the currently existing orchards (Torres-Gurrola et al., 2009). One of the public politics adopted in the country to counteract this trend, has been the establishment of germplasm banks.

Another possible impact in the rescue of this phytogenetic richness is the generation of greater knowledge and its dissemination, about the characteristics, nutritional and medicinal, properties and potential of the plant and their various portions (Solís-Fuentes et al., 2024). An extended use, a higher and better valuation, and a growing demand of *P. americana* var. *drymifolia* in the markets can propitiate its greater conservation, cultivation, and production (Corrales-García and Méndez-Zúñiga, 2020).

The objective of this work was to analyze and evaluate the composition of the volatile components of the essential oil, EO, extracted from the leaf and the portions of the peel and pulp of the fruit of Mexican autochthonous avocado known as "criollo" in Spanish.

Materials and methods

Autochthonous criollo avocado samples

The avocado samples *Persea americana* var. *drymifolia* were obtained at the municipality of Jalacingo, in the central region of the state of Veracruz, Mexico. The fruits were selected considering their state of maturation, according to their physical appearance, with mesocarp firm to the finger touch, and with a black-purple peel. The fruits were separated into their fractions of pulp, peel, and seed. Leaf samples were collected in the same producing region too.

Mass percentage of each portion and chemical analysis

Each one of the anatomical parts of the fruits, were weighed, and their percentage participation in the mass of complete fruit, was estimated. Moisture content for the samples of leaves, peel, pulp, and seed, as well as crude fat content of peel, pulp and seed were realized following the official analysis techniques (Horwitz, 2010). The measured values are reported as means and standard deviation of at least 3 replicates.

Obtaining essential oils from the leaf and from the peel, pulp, and seed portions

The extraction of the essential oils from the leaf and peel samples were made through steam distillation. Pulp and seed portions of essential oils were extracted with the help of a hydro-distillation apparatus. Briefly, in each case, the plant materials were washed and cut with scissors into small pieces (for the pulp portion this was not necessary). Wet sample was weighed and placed inside the extraction chamber and sufficient water was added in a stirring mechanism. The sample was heated to a boiling point and the distillate was collected in a glass container, being careful to keep the organic phase formed taking care that when the trap cap was opened. Once the extraction was finished (approximately after 90 min), the obtained distillate presented an amount of emulsified oil, so it was extracted with methylene chloride, dried with anhydrous Na_2SO_4 , and subsequently, the excess of solvent was removed with the help of a rotary steam apparatus. The processed samples were stored in containers hermetically sealed under refrigeration (minus $5\pm2^\circ\text{C}$) and protected from light until analysis.

Estimation of essential oil yield

The yield of essential oil, EO, extracted from each of the samples of leaf, peel, pulp, and seed studied were estimated using the relationship: Yield (%) = [mass EO/mass of sample (dry basis, db)] x100.

Analysis of volatile components by gas chromatography coupled to mass spectroscopy

For the analysis of the volatile organic compounds constituents of the respective essential oils, a gas chromatograph Pegasus® III GC-TOFMS (LECO) was used. It was equipped with a column Agilent DB5, 121-5022, 20 m x 0.18 mm x 0.18 μm film thickness (J&W Scientific, Folsom, CA, US). The mass spectrometer provided included a full spectrum scan detector (SCAN) of 50 to 500 -m/z. The apparatus had a ChromaTOF® software. The operating conditions in the chromatograph were: An initial temperature of 40 °C for 3 min, with a heating rate of 20 °C/min up to 300 °C for 5 min; the carrier gas was helium at 1.0 mL / min, the injector temperature was 300 °C and, an ionization source of electronic impact was used.

Results and discussion

Characteristics and EO yields of leaves, peel, and pulp of autochthonous criollo avocado

The studied samples of odorous Mexican autochthonous avocado were physiologically mature fruits, with dark skin, bright green flesh, and with a strong and characteristic aroma. The avocados had an average length of 7.27 ± 1.16 cm. This is an intermediate size for this variety because data reported this race ranging from 4 to 12 cm in length (Campos-Rojas et al., 2011). The measurements taken for the widest or equatorial diameter of the fruit had, on average, 6.9 ± 0.58 cm. The seed in these avocados has a size that covers an important part of the fruit, this portion had a length of 5.16 ± 0.71 cm and a diameter of 4.47 ± 0.53 cm (González-Rodríguez, 2017). The leaf samples were fresh, green, and mature, and it was observed that they were smaller and thinner than those of the Hass variety.

Table 1 shows the percentage, moisture, and crude fat content of each one of the portions of the fruit, as well as the yields of the essential oil extracted from the peel, pulp, seed, and leaf of the Criollo avocado. The portions of pulp and peel, traditionally edible, together represented little more than 67% of the mass of a complete fruit. The essential oil (EO) content was higher in the leaf ($1.18 \pm 0.24\%$), followed by the peel ($0.74 \pm 0.05\%$), the pulp ($0.28 \pm 0.17\%$), and the seed with the lowest percentage ($0.04 \pm 0.1\%$). Compared to other plant constituents, the EO content of plant material is often low and varies in each species, but typically ranges from 1 to 3% of the plant mass. The percentages obtained here are in the levels commonly reported for EO contents in various portions, generally the leaves of various plants. According to some used criteria, values greater than 0.5% could be considered a high yield. Small values are generally found in oils distilled from fruits, seeds, buds, and flowers (Kumar and Tripathi, 2011).

Table 1. Percentage of the total mass of the fruit, moisture, crude fat, and essential oil yield, extracted from the peel, pulp, seed, and leaf of *P. americana* var. *drymifolia*

	Peel	Pulp	Seed	Leaves
Mass, g*	4.98 ± 1.72	32.45 ± 10.53	17.39 ± 5.76	--
% of the fruit	8.93	58.10	31.15	--
Moisture	69.06 ± 1.42	79.83 ± 0.43	66.23 ± 0.68	61.17 ± 0.27
Crude fat**	6.07 ± 0.85	34.91 ± 3.26	1.00 ± 0.19	--
Essential oil***	0.74 ± 0.05	0.28 ± 0.17	0.04 ± 0.1	1.18 ± 0.24

* % Wet basis (wb); ** % Dry basis (db); ***% Essential oil (m/m), dry basis

Essential oil composition

As it is known, EOs are mixtures of a large number (sometimes hundreds) of chemical compounds that can be grouped into a few groups: Aliphatic compounds, terpenes, and terpene and benzene derivatives, although sometimes some other compounds present in the mixture have little resemblance to any of these groups (Kumar and Tripathi, 2011). The chromatograms resulting from the analysis of the studied EOs, showed a large number of signals corresponding to a large number of compounds (Figure 1). However, only the largest peaks were considered, which corresponded to at least 0.05% of the total area in the case of the leaf EO, larger to 0.10 in the peel, and greater than 0.15% of the pulp. Table 2 shows 59 volatile compounds included and identified in the essential oils extracted from these parts of the Mexican autochthonous avocado, plant and fruit.

Leaf EO composition

One total of twenty-three volatile compounds were identified for the EO of the avocado leaves. Of these 4.45% of the total area of the identified compounds, in the chromatogram, corresponded to aliphatic compounds, 6.51% terpenes and terpene derivatives, and 86.75% benzene derivatives compounds. For the leaf, 81.14% of its EO was p-allyl anisole (1-methoxy-4(2 propenyl) benzene), more widely known as estragole; followed by methyleugenol (2.96%), calamenene (1.85%), 3-hexen-1-ol, acetate, (Z)- (1.73%) and 2-nonenone (1.46%), followed by lower percentages of 4-carene, pentafluoropropionic acid, hexyl ester, -pinene, eucalyptol, and others as shown in Table 2.

These results are consistent with the predominance of estragole, which is a component of several trees and plants, including turpentine (pine oil), anise, fennel, bay, tarragon, and basil (Arsenijevi et al., 2025). Very often, they are used in the preparation of fragrances, and other products. King and Knight (1992) considered that estragole could be up to 1% by mass of the fresh leaf of the Mexican criollo avocado. Rincón-Hernández et al. (2011) reported between 75-86% of estragole in leaf EOs. Torres-Gurrola et al (2009) found a great variability in the estragole contents of samples from different cultivation sites in Mexico with values between 22 and 72% of this compound in leaf oil samples of criollo avocado populations stored at INIFAP germplasm bank, a governmental institute in Guanajuato, Mexico. It should be highlighted that the presence and concentration of estragole, the main compound in leaves of criollo avocado, has a genetic basis and a great variability in the foliar

chemical profile in this and other volatile compounds, such as: Sabinene and α -cubebene, in addition to caryophyllene, p-cymene, and β -phellandrene (and chavicol-methyl-ether).

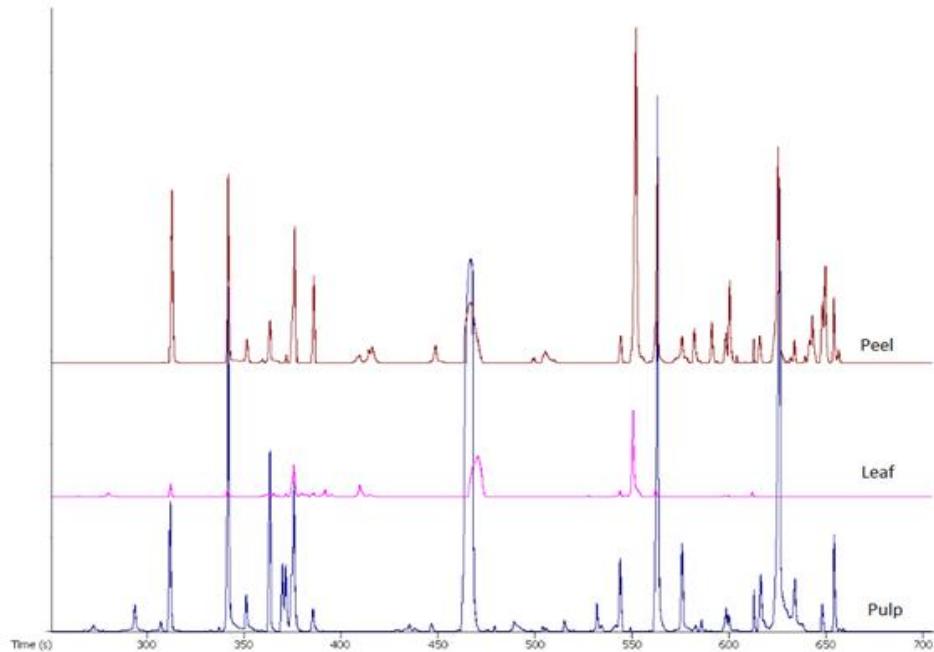


Figure 1. Processed chromatograms for the signals to identify the Kovats retention indices of the essential oils volatile compounds from leaves, peel, and pulp of Mexican autochthonous avocado

Table 2. Compounds identified in the essential oil from the leaf, peel, and pulp of Mexican autochthonous avocado

Compounds	RT, s*	Formula	Area, %**		
			Leaf	Peel	Pulp
1 Pentafluoropropionic acid, hexylester	264.6	C ₉ H ₁₃ F ₅ O ₂	1.17		
2 Ethanone,1-(2-methyl-2-cyclopenten-1-yl)-	272.5	C ₈ H ₁₂ O			0.78
3 Ethane, 1,1,2,2-tetrachloro-	293.8	C ₂ H ₂ Cl ₄			1.54
4 β -Phellandrene	307.2	C ₁₀ H ₁₆			0.26
5 α -Pinene	312.2	C ₁₀ H ₁₆	0.33	1.28	1.07
6 1,3,5-Cycloheptatriene, 3,7,7,-trimethyl-	337.3	C ₁₀ H ₁₄			0.18
7 β -Pinene	342.05	C ₁₀ H ₁₆	1.00	1.24	4.23
8 α -Myrcene	351.6	C ₁₀ H ₁₆		0.45	0.80
9 3-Thujene	359.5	C ₁₀ H ₁₆	0.60		
10 3-Hexen-1-ol, acetate, (Z)-	361.5	C ₈ H ₁₄ O ₂	1.73		
11 γ -Terpinene	363.3	C ₁₀ H ₁₆		1.53	1.53
12 Acetic acid, hexylester	365.3	C ₈ H ₁₆ O ₂	0.05		
13 o-Cimene	369.9	C ₁₀ H ₁₄			0.50
14 m-Cimene	371.5	C ₁₀ H ₁₄	0.13		0.69
15 Cyclohexene, 4-ethenyl-1,4-dimethyl-	374.5	C ₁₀ H ₁₆			2.06
16 Eucalyptol	376.1	C ₁₀ H ₁₈ O	0.82	1.46	2.06
17 trans- β -Ocimene	379.8	C ₁₀ H ₁₆	0.53		
18 3-Carene	385.8	C ₁₀ H ₁₆	0.74	1.55	0.63
19 4-careno (1S,3R,6R)-(-)-	391.9	C ₁₀ H ₁₆	1.26		
20 2-Nonanone	409.8	C ₉ H ₁₈ O	1.46	0.45	
21 1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-, acetate	414.4	C ₁₂ H ₂₀ O ₂		0.27	
22 2-octeno, 1-(metoximetoxi)-(E)	414.7	C ₁₀ H ₂₀ O ₂	0.02		
23 Nonanal	416.2	C ₉ H ₁₈ O		0.89	
24 Cosmene	435.3	C ₁₀ H ₁₆ O			1.68
25 Pinecarbone	446.8	C ₁₀ H ₁₄ O			0.32
26 Bornylchloride	448.7	C ₁₀ H ₁₇ Cl		0.26	

Table 2. Compounds identified in the essential oil from the leaf, peel, and pulp of Mexican autochthonous avocado

	Compounds	RT, s*	Formula	Area, %**		
				Leaf	Peel	Pulp
27	Estragole	467.7	C ₁₀ H ₁₂ O	81.14	67.97	52.43
28	2-Nonene	479.3	C ₉ H ₁₈			0.27
29	Benzaldehyde, 4-methoxy-	489.2	C ₈ H ₈ O ₂			4.86
30	1,3-Cyclooctadiene (Z,Z)	499.7	C ₈ H ₁₂		0.11	
31	Bicyclo[2.2.1]hept-2-ene, 1,7,7-trimethyl-	503.8	C ₁₀ H ₁₆			1.02
32	Anetol	504.0	C ₁₀ H ₁₂ O		0.37	
33	2-Dodecanone	505.4	C ₁₂ H ₂₄ O		1.75	
34	2,4-Decadienal, (E,E)-	506.1	C ₁₂ H ₂₀ O		1.90	
35	D-Verbenone	515.2	C ₁₀ H ₁₄ O			0.32
36	Fenol, 4-(2-propenil)-acetate	527.7	C ₁₁ H ₁₂ O ₂	0.66		
37	Cubenene	531.9	C ₁₅ H ₂₄			0.50
38	-Cubebene	543.0	C ₁₅ H ₂₄	0.35		1.67
39	Copaene	544.2	C ₁₅ H ₂₄		0.32	
40	Methyleugenol	552.0	C ₁₁ H ₁₄ O ₂	2.96	3.44	
41	Aromadendrene	562.8	C ₁₅ H ₂₄	0.53	2.39	6.31
42	1,4,7-Cycloundecatriene, 1,5,9,9-tetramethyl-, Z,Z,Z-	575.7	C ₁₅ H ₂₄			1.63
43	-Caryophyllene	575.7	C ₁₅ H ₂₄		1.71	
44	Cyclohexene, 6-ethenyl-6-methyl-1-(1-methylethyl)-3-(1-methylethylidene)-, (S)-	582.2	C ₁₅ H ₂₄		0.56	
45	Germacrene D	585.8	C ₁₅ H ₂₄			0.43
46	Isoleldene	591.2	C ₁₅ H ₂₄		0.43	
47	Naphthalene, 1,2,3,5,6,8a-hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-, (1S, cis)-	600.0	C ₁₅ H ₂₄			0.47
48	Calamenene	600.566	C ₁₅ H ₂₂	1.85	0.81	
49	-Calacorene	608.2	C ₁₅ H ₂₀		0.28	
50	(E,E)-geranylinalool	612.6	C ₂₀ H ₃₄ O	0.34	0.22	
51	3-Methoxycinnamaldehyde	615.4	C ₁₀ H ₁₀ O ₂		0.21	0.79
52	Ledene oxide (II)	625.2	C ₁₅ H ₂₄ O		4.61	7.25
53	Seychellene	633.7	C ₁₅ H ₂₄		0.096	
54	p-Methoxybenzoic acid, 2-methylphenyl ester	635.1	C ₁₅ H ₁₄ O ₃			0.97
55	Tetracyclo[6.3.2.0(2.5).0(1.8)]tridecan-9-ol, 4,4-dimethyl-	642.8	C ₁₅ H ₂₄ O		1.15	
56	-Eudesmol	647.9	C ₁₅ H ₂₆ O		0.49	0.46
57	4,4-dimethyl-3-(3-methylbut-3-enylidene)-2-methylenecyclo[4.1.0]heptanes	649.7	C ₁₅ H ₂₄ O		0.81	
58	(-)Spathulenol	654.1	C ₁₅ H ₂₄ O		0.54	
59	7-Tetracyclo[6.2.1.0(3.8)0(3.9)]undecanol, 4,4,11,11-tetramethyl-	654.3	C ₁₅ H ₂₄ O			1.62
Total of identified compounds				20	31	31
Area of identified compounds, %				97.71	99.55	99.33
Aliphatic compounds, %				4.451	4.99	2.58
Terpene and derivatives, %				6.51	21.38	36.51
Benzene and derivatives, %				86.75	73.08	60.24
Miscellaneous, %					0.11	

*RT: Retention time; ** Percentage of the total area of the compounds identified in the respective chromatogram

Regarding the other compounds identified in this work, there are coincidences in their presence in the EO from the leaves, even when they differ in the percentage of participation reported. Rincón-Hernández et al. (2011) highlighted greater relevance for -caryophyllene (1.4-3.1%), -pinene (1.3-1.8%) and -pinene (0.8-1.5%). Guzmán-Rodríguez et al. (2020) found greater percentages of: Estragole 61.2, 68.0, and 81.5%, caryophyllene 19.4, 5.2, and 3.2%, (+) - 4-carene 7.5, 6.8, and 2.7% and - terpinen 6.9, 8.0, and 2.7 % in samples of drymifolia, "Hass", and "Mendez" avocado varieties, respectively.

Peel EO composition from the fruit of Mexican landrace avocado

Table 2 also contains compounds identified in the essential oil from the peel of the studied fruit of Mexican criollo avocado. It shows that 4.99% of the total area corresponded to aliphatic compounds, 21.38% were terpenes and terpene derivatives, 73.06% of benzene derivatives and 0.11% were

miscellaneous compounds. This oil contains, although less than in the leaf, a high percentage of p-allyl anisole, around 68%, followed in abundance by ledene oxide (4.60%), methyleugenol, and aromadendrene (3.43 and 2.38%, respectively), 2,4-decadienal, (E,E)-(1.90), 2-dodecanone (1.74%), followed by α -caryophyllene, 3-carene, γ -terpinene, eucalyptol, β -pinene, and others with percentages <1%, for a total of 31 volatile compounds.

No references of studies of the essential oil of the criollo avocado peel were found. From the reports reviewed, it is evident that in recent years the research interest in this part of the fruit has been towards the phytochemical composition, mainly of compounds with antioxidant properties (polyphenols, sterols, carotenoids, chlorophylls, cyanidins, enzymes, etc.), mainly of varieties of greater commercial interest (Prabha et al., 1980; Ramos-Aguilar et al., 2021b; Trujillo-Mayol et al., 2020). This scarcity of research for the Mexican criollo is relevant due to the characteristic aroma and flavor of the peel; traditionally also an edible part of this avocado, with an aroma that is shared with those registered for the plant leaf and the fruit pulp.

Pulp essential oil composition from criollo avocado

The few reports in the literature on volatile compounds in avocado pulp refer to varieties other than criollo avocado. Generally, they are hybrids, such as the Australian cultivar Sherwil (Whitfield et al., 1980), identified pentanal, hexanal, (E)-2-hexenal, α -caryophyllene, and β -copaene). Cultivars California and Hass studied by Pino et al. (2000), and the Cuban cultivar Moro by Pino et al. (2004). They found higher contents of terpene types such as (E)-nerodiol, α -caryophyllene, β -pinene, trans- β -bergamotene and β -bisabolene, for the former and (Z)-nerodiol, (E,E)-2,4-decadienal, (E,E)-farnesene, α -caryophyllene, caryophyllene oxide and β -copaene as major volatile compounds in the Moro variety.

Authors de-Sousa-GALVAO et al. (2016) studied, by simultaneous distillation and extraction with a solvent technique, the volatile compounds from the pulp of avocado fruit of four cultivars, Barker, Collinson, Fortuna, and Geada. Some of the main volatile compounds that were common in all the studied cultivars were hexanal (3.5-30.3%), ethyl acetate (7.4-19.8%), methyl dodecanoate (5.8-6.3), 2,5-dimethyl furan (3.0-8.7%), 1,3-butanediol (5.2-2.4%), α -caryophyllene (3.0-14.5%), among others.

In a recent report, Kilic-Buyukkurt (2021) investigated the aroma profile of cold-pressed avocado oil from Turkey using the 'Headspace solid-phase microextraction method' (HS-SPME), without specifying the part of the fruit and variety of origin of the oil. This author identified through a gas chromatography-mass spectrometry, 19 different compounds, with tridecane (23.2%), hexanal (12.8%), and (Z)-5-tridecene (11.6) as the major constituents, in addition to dodecane, undecane, and 2-heptanone, among others.

Table 2 shows the 31 identified constituents of the essential oil of criollo avocado pulp, in the present study. By groups of compounds, the pulp EO contains 2.58% of aliphatic compounds, 36.51% of terpenes and terpene derivatives, and 60.24% benzene derivatives. Here estragole was also the main compound (52.43%), followed by ledene oxide II (7.25%), aromadendrene (6.31%), benzaldehyde 4-methoxy (4.86%), β -pinene (4.23%), cyclohexene, 4-ethenyl-1,4-dimethyl- and eucalyptol (2.06% each one), cosmene (1.68%), α -cubebene (1.67%), with lower percentages of 1,4,7-cycloundecatriene, 1,5,9,9-tetramethyl-, Z,Z,Z-Ethane, 1,1,2,2-tetrachloro, and γ -terpinene, among others.

Main volatile components of peel and pulp of Creole avocado

According to the results obtained, the EO from leaves and the fruit portions of peel and pulp of the Mexican criollo avocado var. drymifolia have high contents of compounds derived from benzene, specifically alkenylbenzenes and mainly estragole. This result is in accordance with various investigations and reports. They showed a content between 3 and 85% of estragole in the EO of

criollo avocado leaf (EMEA, 2004; King and Knight, 1992; Rincón-Hernández et al., 2011; Torres Gurrola et al., 2009). On the other hand, no reports on the volatile compounds that make up the aroma and flavor of the peel and pulp of Mexican criollo avocado, were found.

Simple compounds derived from benzene, as safrole, methyleugenol, elemicin, and apiole, are secondary metabolites commonly found in various herbs and species but also, although in smaller quantities, in agricultural products such as tomatoes, apples, oranges, bananas, and grapes, among many other fruits, since they are important components in the aroma and flavor of many food products. The type and quantity of these compounds in each one of these natural sources, depends on a number of factors: The geographic region of origin (soil, humidity, solar irradiance, etc.), their genetic variability, the physiological state, and part (fruits, seeds, flowers, leaves, stems, roots) of the plant, harvest conditions, processing, and storage, among others (Martins et al., 2018; Torres-Gurrola et al., 2009).

Alkenylbenzene compounds in avocado var. drymifolia

The interest in alkylbenzenes dates back several decades when safrole was found to induce liver tumors in rats and was evaluated by the International Agency for Research on Cancer (IARC) in the 1980s (Martins et al., 2018). In addition to the controlling alkenylbenzene, estragole, in the studied avocado peel and pulp EOs, o-cymene, m-cymene, anethole, methyleugenol, calamenene, and - calacorene, among other aromatic derivatives, were also identified in smaller amounts.

Estragole is a phenylpropanoid chemically known also as tarragon, methyl-chavicol, p-allyl anisole, among other names (R&DChemicals, 2022). It consists of a benzene ring replaced by a methoxy and a propenyl group (Figure 2).

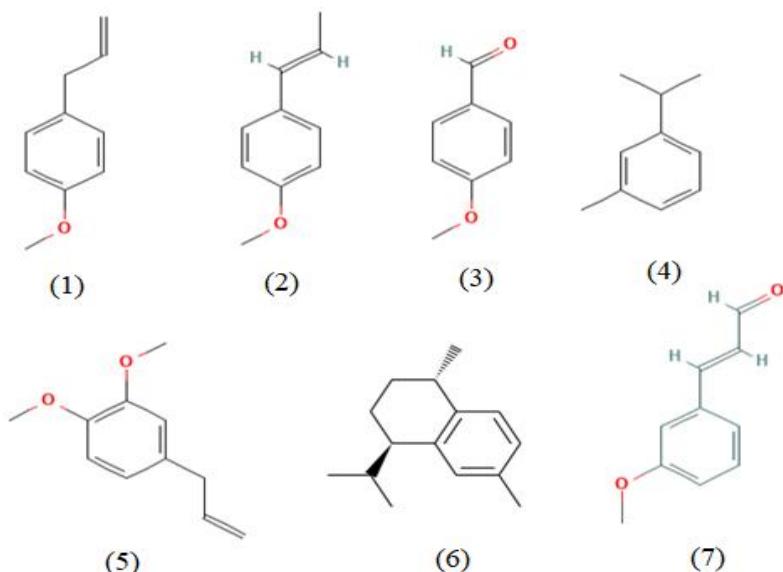


Figure 2. Chemical structure of the major benzene derivatives identified in the essential oils of peel and pulp of Mexican autochthonous avocado: 1) Estragole, 2) Anethole, 3) Benzaldehyde 4-Methoxy, 4) m-Cimene, 5) Methyleugenol, 6) Calamenene, 7) p-Methoxybenzoic acid 2-methylphenylester

It is a natural constituent of a number of aromatic plants species and many trees and their essential oils. Some plants containing estragole are widely used as culinary herbs or additives in food preparation, and as medicinal plants in folk medicine. The group of plants with estragole contents comprises turpentine (pine oil), anise, fennel, laurel, tarragon, and basil (*Ocimum basilicum*), Ravensara anisata (madeira), *Croton zehntneri*, nutmeg, coriander, cinnamon, *Melissa officinalis*,

Tamarindus indica, Zingiber officinalis, black pepper, and many other spices and species (Alves-Júnior et al., 2020; Arsenijevi et al., 2025; Dief et al., 2025; EMEA, 2004; Siano et al., 2003). EOs of some of these plants are used in aromatherapy and as flavoring additives in pharmaceutical, cosmetic, and food products, and as an important constituent of insecticides (Ebadollahi, 2020).

Estragole is described, in scientific reports, as a compound with a broad biological activity, such as antioxidant and antimicrobial, anxiolytic, skeletal muscle contracturant, and visceral muscle relaxant, as well as an anti-inflammatory and gastric protector (Alves-Júnior et al., 2020; Batista et al., 2024). However, like safrole and other alkenylbenzenes (such as methyleugenol and isosafrole), estragole is also considered a genotoxic liver carcinogen in rats. When this alkenylbenzene was administered to laboratory rats in pure form and at high doses together with its proximate carcinogenic metabolite 1-hydroxyestragole for 12 to 15 months it caused a significant increase in the incidence of hepatocellular carcinomas (Akermann et al., 2025; Martins et al., 2018; Miller et al., 1983). Notwithstanding the foregoing, for several well-founded reasons, its potential toxicity in humans is, at present, still under debate (Yadav et al., 2021).

The hepatocarcinogenicity of some alkenylbenzenes such as estragole and methyleugenol, among others, has been attributed to their bioactivation by cytochrome P450 enzymes that lead to the formation of the proximate carcinogen. With estragole for example, 1'-hydroxyestragole is formed and is subsequently activated with the participation of sulfotransferase enzymes (SULT) to the carcinogenic metabolite 1'-sulfooxyestragole with the ability to bind covalently to other endogenous nucleophiles including DNA leading, in the latter case, to DNA adduct formation. The sulfonation pathway is essential for the genotoxicity (Alhusainy et al., 2010, 2013; Bergau et al., 2021; Miller, 1994; Miller et al., 1983; Phillips et al., 1981, 1984; Smith et al., 2002).

Alkenylbenzenes and the matrix effect

Eisenreich et al. (2021) conducted a discussion on the various aspects that currently prevent the conclusive evaluation of the adverse effects on human health of alkenylbenzenes present in food. Their arguments allow to say that although the toxicity of single safrole or single estragole has been verified in animals in the laboratory, the toxicological action of these compounds when they are constituent part of more complex matrices has not been fully studied and confirmed in humans.

Some studies have shown that the genotoxic potential of alkenylbenzenes can be reduced by other plant or food components, which act as sulfotransferase inhibitors (Alhusainy et al., 2013; Eaton et al., 1996; Gori et al., 2012; Huang et al., 2009; Marabini et al., 2019; van den Berg et al., 2013). In this regard, several studies have shown the inhibitory effect of naturally occurring flavonoids in foods and plants on the enzymatic sulfonation reaction (Alhusainy et al., 2013; Bertelli et al., 2021; Ghazali and Waring, 1999; Morimitsu et al., 2004; Rietjens et al., 2011; Wan and Jiang, 2018).

Alhusainy et al. (2013) and Al-Subeih et al. (2013) reported the inhibition of SULT mediated estragole and methyleugenol on DNA adduct formation by the flavone nevandesin (a trimethoxyflavone) showing that this flavonoid, like quercetin, kaempferol, myricetin and apigenin have an inhibitory effect on the bioactivation of food-borne genotoxic carcinogens like estragole or methyleugenol.

Other aspects that have impeded the final evaluation of the risk of consuming foods that naturally contain these compounds, are: The limited knowledge of their content of alkenylbenzenes, the difficulties in establishing the possible exposure doses that derive from consumption habits, and the scarcity of studies related to the carcinogenicity of the different alkenylbenzenes (Eisenreich et al., 2021).

In the specific case of the result of this work, it corroborated the high content of estragole and other alkenylbenzenes, in the essential oil of the leaves (already known for decades), and they also shown the relatively high content of these compounds in the EOs extracted from the edible portions of the pulp and peel of the Mexican criollo avocado.

It is important to note that *P. americana* in its different varieties, including the drymifolia variety, have shown, through several studies, that the plant and its fruit have antioxidant phenolic compounds, especially, flavonoids (Bhuyan et al., 2019; Dabas et al., 2013; Prabha et al., 1980; Ramos-Aguilar et al., 2021a,b; Rodríguez-Carpéna et al., 2012; Trujillo-Mayol et al., 2020).

As tarragon, basil, and fennel, and now criollo avocado fruit, and their essential oils, with known high alkenylbenzenes content, have one ancestral consumption in their complex biological matrices, showing up to now, in the absence of scientific evidence to the contrary, minimal risks of its toxicity. Different as presented by single alkenylbenzenes in laboratory animals (Marabini et al., 2019; Schrader, 2003).

Conclusions

- The Mexican criollo avocado is an endemic plant of Mexico whose economic, cultural, and functional biochemical characteristics are of great importance since pre-Hispanic times and it represents a phytogenetic richness
- The main attribute of this avocado variety, that distinguishes it from others widely traded varieties, resides in its aroma and flavor of its fruit -peel and pulp- and leaves
- Even though the constituent volatile components of the leaves have been analyzed for a long time, for the special repellent properties of the plant, against insects and microorganisms, the corresponding components of the aroma of the peel and pulp of the fruit had not been widely established
- In this research, the extraction yield and analysis of the composition of the essential oil from leaves, peel, and pulp, were done. The yields in essential oil were 1.18 ± 0.24 , 0.74 ± 0.05 , and $0.28 \pm 0.17\%$ (db) for the leaf, peel, and pulp, respectively
- There were identified 59 different volatile compounds in the analyzed parts of the plant. The majority of the compounds were benzene derivatives: 86.75, 73.08, and 60.24%; terpene derivatives: 6.51, 21.38, and 36.51% in the leaf, peel and pulp EOs, respectively. Individually, the highest contents were estragole, ledene oxide (II), aromadendrene, -pinene, methyleugenol, and benzaldehyde, 4-methoxy-, among others
- The toxicological characteristics of the identified volatile components, the bio-activation of food-borne genotoxic carcinogens, and the toxicity risks involved in the consumption of some major volatile components such as estragole, found in the EOs of criollo avocado peel and pulp were discussed. In the light of some recent scientific contributions about the character chemoprotector and inhibitory of other natural components, like flavonoids, and the matrix effect of plants and food, in the case of the Mexican autochthonous avocado it seems that the risk might be minimized.

Glossary

Acronyms or terms	Meaning
Db	Dry basis
EO	Essential oil
HS-SPME	Headspace solid-phase microextraction method
INIFAP	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias (Mexico)
IARC	International Agency for Research on Cancer
SULT	Sulfotransferase enzymes
USAII	Spanish acronym for Unidad de Servicios de Apoyo a la Investigación y a la Industria (Research and Industry Support Services Unit) of the Faculty of Chemistry -Facultad de Química in Spanish- of the National Autonomous University of Mexico, UNAM in Spanish
Wb	Wet basis

Acknowledgements

Authors acknowledge the collegial support of their universities to carry out this research. They thank the USAII of Facultad de Química of the UNAM, Mexico, for its technic support to carry out the Gas chromatography and Mass spectroscopy analysis included in this work as well as to Prof. Siegfried Erich Haid for revising and correcting, the manuscript.

References

- Ackermann, G., Peil, M., Quarz, C., Schmidt, A., Halaczkiewicz, M., Thomas, A.D., Stegmüller, S., Richling, E., Manolikakes, G., Christmann, M., Küpper, J.H., Schrenk, D., Fahrer, J. 2025. Molecular dosimetry of estragole and 1-hydroxyestragole-induced DNA adduct formation, clastogenicity and cytotoxicity in human liver cell models. *Archives of Toxicology*. 99(9):3769-3785. <https://doi.org/10.1007/s00204-025-04084-2>
- Alhusainy, W., Paini, A., Punt, A., Louisse, J., Spenkinkel, A., Vervoort, J., Delatour, T., Scholz, G., Schilter, B., Adams, T., van Bladeren, P.J., Rietjens, I.M.C.M. 2010. Identification of nevadensin as an important herb-based constituent inhibiting estragole bioactivation and physiology-based biokinetic modeling of its possible in vivo effect. *Toxicology and Applied Pharmacology*. 245:179-190.
- Alhusainy, W., Paini, A., van den Berg, J.H.J., Punt, A., Scholz, G., Schilter, B., van Bladeren, P.J., Taylor, S., Adams, T.B., Rietjens, I.M. 2013. In vivo validation and physiologically based biokinetic modeling of the inhibition of SULT-mediated estragole DNA adduct formation in the liver of male Sprague-Dawley rats by the basil flavonoid nevadensin. *Mol. Nutr. Food Res.* 57(11):1969-1978. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201300144>
- Al-Subeih, A., Alhusainy, W., Paini, A., Punt, A., Vervoort, J., van Bladeren, P.J., Rietjens, I.M.C.M. 2013. Inhibition of methyleugenolbioactivation by the herb based constituent nevadensin and prediction of possible in vivo consequences using physiologically based kinetic modeling. *Food and Chemical Toxicology*. 59:564-571
- Alves-Júnior, E.B., de-Oliveira-Formiga, R., Alves-de-Lima-Serafim, C., Araruna, M.E.C., de-Souza-Pessoa, M.L., Carvalho-Vasconcelos, R., Gomes-de-Carvalho, T., Gonçalves-de-Jesus, T., Antunes-Araújo, A., Fernandes-de-Araujo Junior, R., Carvalho-Vieira, G., Vieira-Sobral, M., Batista, L.M. 2020. Estragole prevents gastric ulcers via cytoprotective, antioxidant and immunoregulatory mechanisms in animal models. *Biomedicine & Pharmacotherapy*. 130:110578. doi: 10.1016/j.bioph.2020.110578
- Arsenijevi, J., Jovanovi, A., Kovačevi, N., Drobac, M. 2025. Basil essential oil: Estragole content and chemical profiles. *Acta Alimentaria*. 54(1):133-144. DOI: <https://doi.org/10.1556/066.2024.00244>
- Báez-Magaña, M., Ochoa-Zarzosa, A., Alva-Murillo, N., Salgado-Garciglia, R., López-Meza, J.E. 2019. Lipid-rich extract from Mexican avocado seed (*Persea americana* var. *drymifolia*) reduces *Staphylococcus aureus* internalization and regulates innate immune response in bovine mammary epithelial cells. *Journal of Immunology Research*. 2019:7083491. DOI: [10.1155/2019/7083491](https://doi.org/10.1155/2019/7083491)
- Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., Idaomar, M. 2008. Biological effects of essential oils—a review. *Food and Chemical Toxicology*. 46(2):446-475.
- Barrientos-Priego, A.F. 2010. The avocado (El aguacate). CONABIO. Biodiversitas. 88:1-7. (In Spanish)
- Barrientos-Priego, A.F., López-López, L. 2000. Historia y genética del aguacate. In *El aguacate y su manejo integrado*. Mundipress. pp. 19-31. Ciudad de México, Distrito Federal, México. (In Spanish)
- Batista, F.L.A., de-Araujo, S.M.B., de-Sousa, D.B., Sobrinho, F.B.C., de-Lima-Silva, M.G., de-Oliveira, M.R.C., da-Costa, R.H., Rodrigues, L.B., Bezerra, F.S., de-Azevedo, D.V., Vieira-Neto, A.E., Magalhães, F.E.A., de-Menezes, I.R.A. 2024. Anticonvulsant and anxiolytic-like potential of the essential oil from the *Ocimum basilicum* Linn leaves and its major constituent estragole on adult zebrafish (*Danio rerio*). *Neurochemistry International*. 178:105796. <https://doi.org/10.1016/j.neuint.2024.105796>
- Bergau, N., Herfurth, U.M., Sachse, B., Abraham, K., Monien, B.H. 2021. Bioactivation of estragole and anethole leads to common adducts in DNA and hemoglobin. *Food and Chemical Toxicology*. 153:112253.
- Bertelli, A., Biagi, M., Corsini, M., Baini, G., Cappellucci, G., Miraldi, E. 2021. Polyphenols: From theory to practice. *Foods*. 10(11): 2595.
- Bhuyan, D.J., Alsherbiny, M.A., Perera, S., Low, M., Basu, A., Devi, O.A., Papoutsis, K. 2019. The odyssey of bioactive compounds in avocado (*Persea americana*) and their health benefits. *Antioxidants*. 8(10):1-53.
- Bravo-Monzon, A.E., Espinosa-García, F.J. 2008. Volatile emissions in *Persea americana* in response to the stem borer *Copturus aguacatae* attack. *Allelopathy Journal*. 21(1):167-173.
- Cabrera, L. 2002. Dictionary of Aztecisms. Revision and organization: J. Ignacio Dávila-Garibi. Nahuatl terms: Luis Reyes-García. Latin terms (botanical and zoological classifications): Esteban Inciarte. Ed. Colofón S.A. 5th edition. ISBN 968-867-038-3. Mexico City, Mexico / Diccionario de aztequismos. Revisión y puesta en orden: J. Ignacio Dávila-Garibi. Términos nahuas: Luis Reyes-García. Términos latinos (clasificaciones botánicas y zoológicas): Esteban Inciarte. Ed. Colofón S.A. 5^a edición. ISBN 968-867-038-3. México D.F. México (In Spanish).
- Campos-Rojas, E., Hernández-Vasquez, F.L., Espíndola-Barquera, M.C., Reyes Alemán J. C., Barrientos-Priego A. 2011. Characterization of Creole mexican avocado (*Persea drymifolia*) as donor seed. In *Proceedings VII World Avocado Congress*. September 5-9, 2011. Cairns, Australia.
- Corrales-García, J.E., García-Mateos, M.-d.-R., Martínez-López, E., Barrientos-Priego, A.F., Ybarra-Moncada, M.C., Ibarra-Estrada, E., Becerra-Morales, D. 2019. Anthocyanin and oil contents, fatty acids profiles and antioxidant activity of Mexican landrace avocado fruits. *Plant Foods for Human Nutrition*. 74(2):210-215.

- Corrales-García, J.E., Méndez-Zúñiga, S.M. 2020. Criollo avocado of Mexican race (*Persea americana* var. *drymifolia*): An underutilized species in horticulture. *Horticult. Int.* 4(6):221-223.
- Dabas, D., Shegog, R.M., Ziegler, G.R., Lambert, J.D. 2013. Avocado (*Persea americana*) seed as a source of bioactive phytochemicals. *Current Pharmaceutical Design.* 19(34):6133-6140. doi: 10.2174/1381612811319340007
- Dief, L.E.S., Eltamany, E.E., Hadad, G., Ibrahim, A.K. 2025. Estragole and anethole as potential hazardous compounds in products: Extraction, analysis and pharmacological effects. *Records of Pharmaceutical and Biomedical Sciences.* 9(2):15-22.
- Djilani, A., Dicko, A. 2012. The therapeutic benefits of essential oils. *Nutrition, Well-Being and Health.* 7:155-179.
- Ebadollahi, A. 2020. Estragole-rich essential oil of summer savory (*Satureja hortensis* L.) as an eco-friendly alternative to the synthetic insecticides in management of two stored-products insect pests. *Acta Agriculturae Slovenica.* 115(2):307-314.
- Eaton, E.A., Walle, U.K., Lewis, A.J., Hudson, T., Wilson, A.A., Walle, T. 1996. Flavonoids, potent inhibitors of the human P-form phenolsulfotransferase: Potential role in drug metabolism and chemoprevention. *Drug Metabolism and Disposition.* 24: 232-237.
- Eisenreich, A., Götz, M.E., Sachse, B., Monien, B.H., Herrmann, K., Schäfer, B. 2021. Alkenylbenzenes in foods: Aspects impeding the evaluation of adverse health effects. *Foods.* 10(9):2139. <https://doi.org/10.3390/foods10092139>
- EMEA. 2004. Final position paper on the use of herbal medicinal products containing estragole. HMPWP/338/03. 5 p. London. U.K.
- Friedman, M., Henika, P.R., Mandrell, R.E. 2002. Bactericidal activities of plant essential oils and some of their isolated constituents against *Campylobacter jejuni*, *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes*, and *Salmonella enterica*. *Journal of Food Protection.* 65(10):1545-1560.
- de-Sousa-GALVAO, M., NUNES, M.L., Beltrão-Lessa-CONSTANT, P., NARAIN, N. 2016. Identification of volatile compounds in cultivars barker, collinson, fortuna and geada of avocado (*Persea americana*, Mill.) fruit. *Ciência e Tecnologia de Alimentos (Food Science and Technology, Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos Brasil).* 36(3):439-447. <https://www.redalyc.org/pdf/3959/395948027009.pdf>
- García-Moreno, M.A., de-la-Garza-Ramos, M.A., Martínez-Ávila, C.G.C., Gutiérrez-Díez, A., Ojeda-Zacarias, M.d.C., Aguirre-Arzola, V.E. 2017. Inhibiting agr system expression methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* using total polyphenol of leaves Mexican avocado (*Persea americana* var. *drymifolia*) / Inhibición de la expresión del sistema agr de *Staphylococcus aureus* resistente a la meticilina mediante el uso de polifenoles totales de hojas de aguacate mexicano (*Persea americana* var. *drymifolia*). *Nova Scientia.* 9(18):200-221. (In Spanish)
- Ghazali, R.A., Waring, R.H. 1999. The effects of flavonoids on human phenolsulphotransferases: Potential in drug metabolism and chemoprevention. *Life Sciences.* 65:1625-1632.
- González-Rodríguez, A. 2017. Calorimetric and thermogravimetric analysis of the oil extracted from the peel, pulp and seed of autochthonous avocado (*Persea americana* Mill) Var. Drymifolia / Análisis calorimétrico y termogravimétrico del aceite extraído de la cáscara, pulpa y semilla de aguacate criollo (*Persea americana* Mill) Var. Drymifolia. Professional Thesis (Tesis de Licenciatura. Universidad Veracruzana, México). (In Spanish). Veracruz University, Mexico.
- Gori, L., Gallo, E., Mascherini, V., Mugelli, A., Vannacci, A., Firenzuoli, F. 2012. Can estragole in fennel seed decoctions really be considered a danger for human health? A fennel safety update. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine.* 2012:860542, 1-10. doi: 10.1155/2012/860542.
- Granados-Echegoyen, C., Pérez-Pacheco, R., Alonso-Hernández, N., Vásquez-López, A., Lagunez-Rivera, L., Rojas-Olivos, A. 2015. Chemical characterization and mosquito larvicidal activity of essential oil from leaves of *Persea americana* Mill (Lauraceae) against *Culex quinquefasciatus* (Say). *Asian Pacific Journal of Tropical Disease.* 5(6):463-467.
- Gupta, S.K., Singhal, P., Singh, A., Chauhan, R., Kumar, B. 2018. Nutritional and pharmaceutical benefits of avocado plant. *Journal of Advanced Scientific Research.* 9(2):4-11.
- Guzmán-Rodríguez, L.F., Cortés-Cruz, M.A., Rodríguez-Carpena, J.G., Coria-Ávalos, V.M., Muñoz-Flores, H.G. 2020. Biochemical profile of avocado (*Persea americana* Mill) foliar tissue and its relationship with susceptibility to mistletotoe (Family Loranthaceae) / Perfil bioquímico de tejido foliar de aguacate (*Persea americana* Mill) y su relación con la sensibilidad al ataque de muérdago (Familia Loranthaceae). (in Spanish). *Revista BioCiencias.* 7:1-16.
- Horwitz, W. Ed. 2010. Official Methods of Analysis of AOAC International. Volume 1, Agricultural Chemicals, Contaminants, Drugs. AOAC International, 1997. Gaithersburg, MD, U.S.
- Huang, C., Chen, Y., Zhou, T., Chen, G. 2009. Sulfation of dietary flavonoids by human sulfotransferases. *Xenobiotica.* 39(4):312-322.
- Jiménez-Patiño, P., García-Concha, P., Quirral, V., Vásquez, K., Parra-Ruiz, C., Reyes-Farías, M., Soto-Covasich, J. 2020. Pulp, leaf, peel and seed of avocado fruit: A review of bioactive compounds and healthy benefits. *Food Reviews International.* 37(6): 619-655. DOI: 10.1080/87559129.2020.1717520
- Kilic-Buyukkurt, O. 2021. Characterization of aroma compounds of cold-pressed avocado oil using solid-phase microextraction techniques with gas chromatography-mass spectrometry. *J. Raw Mater. Process. Foods.* 2:1-7.
- King, J., Knight, R. 1992. Volatile components of the leaves of various avocado cultivars. *Journal of Agricultural and Food Chemistry.* 40:1182-1185.
- Kumar, R., Tripathi, Y.C. 2011. Training manual on extraction technology of natural dyes and aroma therapy and cultivation value addition of medicinal plants. Chemistry Division, Forest Research Institute, Dehra Dun, 248 006, India.
- Lara-García, C.T., Jiménez-Islas, H., Miranda-López, R. 2021. Volatile organic compounds and fatty acids profile of avocado (*Persea americana*) and its health benefits. *CienciaUAT.* 16(1):162-177.
- Lara-Marquez, M., Baez-Magana, M., Raymundo-Ramos, C., Spagnuolo, P.A., Macias-Rodriguez, L., Salgado-Garciglia, R., Lopez-Meza, J.E. 2020. Lipid-rich extract from Mexican avocado (*Persea americana* var. *drymifolia*) induces apoptosis and modulates the inflammatory response in Caco-2 human colon cancer cells. *Journal of Functional Foods.* 64:103658. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1756464619305821>

- Marabini, L., Galli, C.L., La-Fauci, P., Marinovich, M. 2019. Effect of plant extracts on the genotoxicity of 1-hydroxy alkenylbenzenes. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 105:36-41.
- Martins, C., Rueff, J., Rodrigues, A.S. 2018. Genotoxic alkenylbenzeneflavourings, a contribution to risk assessment. *Food and Chemical Toxicology*. 118: 861-879.
- Miller, J.A. 1994. Sulfonation in chemical carcinogenesis - History and present status. *Chemico-Biological Interactions*. 92:329-341.
- Miller, E.C., Swanson, A.B., Phillips, D.H., Fletcher, T.L., Liem, A., Miller, J.A. 1983. Structure-activity studies of the carcinogenicities in the mouse and rat of some naturally occurring and synthetic alkenylbenzene derivatives related to safrole and estragole. *Cancer Research*. 43:1124-1134.
- Morimitsu, Y., Sugihara, N., Furuno, K. 2004. Inhibitory effect of flavonoids on sulfo- and glucurono-conjugation of acetaminophen in rat cultured hepatocytes and liver subcellular preparations. *Biological and Pharmaceutical Bulletin*. 27:714-717.
- Nerio, L.S., Olivero-Verbel, J., Stashenko, E. 2010. Repellent activity of essential oils: A review. *Bioresouce Technology*. 101(1):372-378. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2009.07.048>
- Niogret, J., Epsky, N.D., Schnell, E.Q., Schnell, R.J., Heath, R.R., Meerow, A.W., Kendra, P.E. 2013. Analysis of sesquiterpene distributions in the leaves, branches, and trunks of avocado (*Persea americana* Mill.). *American Journal of Plant Sciences*. 4(4):922-931. doi: 10.4236/ajps.2013.44114.
- Ochoa-Zarzosa, A., Baez-Magana, M., Guzman-Rodriguez, J.J., Flores-Alvarez, L.J., Lara-Marquez, M., Zavala-Guerrero, B., Lopez-Meza, J.E. 2021. Bioactive molecules from native Mexican avocado fruit (*Persea americana* var. *drymifolia*): A review. *Plant Foods for Human Nutrition*. 1-10. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11130-021-00887-7>
- Pérez, I. 2019. Situación actual del aguacate - Ciencia UNAM. Consulted 12/12/2021 in: Situación actual del aguacate - Ciencia UNAM (In Spanish)
- Phillips, D.H., Miller, J.A., Miller, E.C., Adams, B. 1981. Structures of the DNA adducts formed in mouse liver after administration of the proximate hepatocarcinogen 1'-hydroxyestragole. *Cancer Research*. 41:176-186.
- Phillips, D.H., Reddy, M.V., Randerath, K. 1984. 32P-post-labelling analysis of DNA adducts formed in the livers of animals treated with safrole, estragole and other naturally-occurring alkenylbenzenes. II. Newborn male B6C3F1 mice. *Carcinogenesis*. 5:1623-1628.
- Pino, J.A., Rosado, A., Aguero, J. 2000. Volatile components of avocado (*Persea americana* Mill.) fruits. *Journal of Essential Oil Research*. 12(3):377-378.
- Pino, J.A., Marbot, R., Rosado, A., Fuentes, V. 2004. Volatile components of avocado (*Persea americana* Mill.) cv. Moro grown in Cuba. *Journal of Essential Oil Research*. 16(2):139-140.
- Prabha, T.N., Ravindranath, B., Patwrdhan, M.V. 1980. Anthocyanins of avocado (*Persea americana*) peel. *J. Food Sci. Tech.* 17:241-242.
- Ramos-Aguilar, A.L., Ornelas-Paz, J., Tapia-Vargas, L.M., Gardea-Bejar, A.A., Yahia, E.M., Ornelas-Paz, J.d.J., Perez-Martinez, J.D., Rios-Velasco, C., Escalante-Minakata, P. 2021a. Metabolomic analysis and physical attributes of ripe fruits from Mexican Creole (*Persea americana* var. *Drymifolia*) and 'Hass' avocados. *Food Chemistry*. 354:129571. doi: 10.1016/j.foodchem.2021.129571.
- Ramos-Aguilar, A.L., Ornelas-Paz, J., Tapia-Vargas, L.M., Gardea-Béjar, A.A., Yahia, E.M., Ornelas-Paz, J.d.J., Ruiz-Cruz, S., Rios-Velasco, C., Escalante-Minakata, P. 2021b. Effect of cultivar on the content of selected phytochemicals in avocado peels. *Food Research International*. 140:110024. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.110024>
- Raut, J.S., Karuppayil, S.M. 2014. A status review on the medicinal properties of essential oils. *Industrial Crops and Products*. 62:250-264.
- Rietjens, I.M.C.M., Alhusainy, W., Boersma M.G. 2011. Flavonoids and alkenylbenzenes: New concepts in bioactivation studies. *Chemico-Biological Interactions*. 192:87-95.
- Rincón-Hernández, C.A., Sánchez Pérez, J.L., Espinosa-García, F.J. 2011. Foliar chemical characterization of the creole avocado trees (*Persea americana* var. *drymifolia*) in the germplasm banks from Michoacan, Mexico. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 82(2):395-412.
- R&DChemicals. 2022. Estragole, 140-67-0, suppliers and manufacturers. rdchemicals.com. Consulted 4/01/2022
- Rodríguez-Carpena, J.G., Morcuende, D., Estévez, M. 2012. Avocado, sunflower and olive oils as replacers of pork back-fat in burger patties: Effect on lipid composition, oxidative stability and quality traits. *Meat Science*. 90(1):106-115.
- Sagrero-Nieves, L., Bartley, J.P. 1995. Volatile components of avocado leaves (*Persea americana* Mill) from the Mexican race. *J. Sci. Food Agr.* 67:49-51.
- Salgado-Garciglia, R. 2017. Mexican avocado: Extinction risk? / El aguacate mexicano ¿En riesgo de desaparecer? cienciario.mx/revolucion.news (In Spanish)
- Sarkic, A., Stappen, I. 2018. Essential oils and their single compounds in cosmetics - A critical review. *Cosmetics*. 5(1): 1-11.
- Schrader, T.J. 2003. Mutagens. In: Caballero, B., Trugo, L., Finglas, P., eds. *Encyclopedia of Food Sciences and Nutrition*: Volumes 1-10. Academic Press. Pp. 4059-4067. Baltimore, Maryland, U.S.
- Sharma, S., Barkauskaite, S., Jaiswal, A.K., Jaiswal, S. 2021. Essential oils as additives in active food packaging. *Food Chemistry*. 343:128403.
- Siano, F., Ghizzoni, C., Gionfriddo, F., Colombo, E., Servillo, L., Castaldo, D. 2003. Determination of estragole, safrole and eugenol methyl ether in food products. *Food Chemistry*. 81(3):469-475.
- Smith, R.L., Adams, T.B., Doull, J., Feron, V.J., Goodman, J.I., Marnett, L.J., Portoghese, P.S., Waddell, W.J., Wagner, B.M., Rogers, A.E., Caldwell, J., Sipes, I.G. 2002. Safety assessment of allylalkoxybenzene derivatives used as flavouring substances - Methyl eugenol and estragole. *Food and Chemical Toxicology*. 40:851-870.
- Solís-Fuentes, J.A., González-Rodríguez, A., Hernández-Medel, M.d.R., Pliego-Cerdán, C., García Gómez, R.S., Bernal-González, M., Durán-Domínguez de Bazúa, M.C. 2024. A contribution to the promotion of biodiversity and production of Creole avocado: Study of the thermal and phase properties of the oils extracted from its peel, pulp and seed / Una aportación

- para el fomento de la biodiversidad y producción del aguacate criollo: Estudio de las propiedades térmicas y de fase de los aceites extraídos de su cáscara, pulpa y semilla. *Revista Ambiens Techné et Scientia México*. 12(1):9-25.
- Torres-Gurrola, G., Montes-Hernandez, S., Espinosa-Garcia, F.J. 2009. Patterns of variation and geographic distribution in foliar chemical phenotypes of *Persea americana* var. *drymifolia*. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 32(1):19-30.
- Torres-Gurrola, G., Delgado-Lamas, G., Espinosa-García, F.J. 2011. The foliar chemical profile of criollo avocado, *Persea americana* var. *drymifolia* (Lauraceae), and its relationship with the incidence of a gall-forming insect, *Trioza anceps* (Triozaeidae). *Biochemical Systematics and Ecology*. 39(2):102-111.
- Trujillo-Mayol, I., Badillo-Muñoz, G., Céspedes-Acuña, C., Alarcon-Enos, J. 2020. The relationship between fruit size and phenolic and enzymatic composition of avocado byproducts (*Persea americana* mill.): The importance for biorefinery applications. *Horticulturae*. 6(4):91-104.
- van den Berg, S. J., Klaus, V., Alhusainy, W., Rietjens, I.M. 2013. Matrix-derived combination effect and risk assessment for estragole from basil-containing plant food supplements (PFS). *Food Chem. Toxicol.* 62:32-40.
- Vigan, M. 2010. Essential oils: Renewal of interest and toxicity. *European Journal of Dermatology*. 20(6):685-692.
- Wan, L., Jiang, J.G. 2018. Protective effects of plant-derived flavonoids on hepatic injury. *Journal of Functional Foods*. 44:283-291.
- Whitfield, F.B., Last, J.H., Chaplin, G., Bannister, P.A. 1980. Volatile flavour components of the fruit of the avocado. In *Proceedings of the 8th International Congress Essential Oils*. Fedarom, Cannes-Grasse, France.
- Yadav, R., Awasthi, N., Shukla, A., Kumar, D. 2021. Modeling the hydroxylation of estragole via human liver cytochrome P450. *Journal of Molecular Modeling*. 27(7):1-7.

Hoja en blanco / Intentionally blank page

Impacto del uso de medidas de protección en la propagación de virus: Una simulación con autómatas celulares y una arquitectura de dispositivos unificados de computación, ADUC

Impact of the use of protective measures on the spread of viruses: A simulation with cellular automata and a compute unified device architecture, CUDA

Alejandro Jared Soto-Cass¹, Ivonne Domínguez-Román²,
Michel Joseph Julien-Lombard^{1*}

¹Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química, Departamento de Matemáticas

²Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química, Departamento de Física y Química Teórica

Correo-e (e-mail)*: julien.lombard@quimica.unam.mx

*Autor a quien debe dirigirse la correspondencia / *Corresponding author*

Recibido / *Received*: Agosto / *August* 15, 2025

Aceptado / *Accepted*: Septiembre / *September* 14, 2025

Publicado / *Published*: Diciembre 30, 2025 (Número 1, Enero-Junio 2026) / *December 30, 2025 (Number 1, January-June 2026)*

Resumen

El presente estudio evalúa el impacto del uso de cubrebocas en la propagación de enfermedades infecciosas mediante un modelo de autómatas celulares implementado en una unidad de procesamiento de gráficos, UPG (GPU, Graphics Processing Unit, en inglés) con una arquitectura de dispositivos unificados de computación, ADUC (CUDA, Compute Unified Device Architecture, en inglés). El objetivo principal de este trabajo fue analizar de qué manera ciertas medidas de protección individuales, como el uso de cubrebocas, afectan la dinámica epidémica en una población bidimensional de 1000 x 1000 individuos. Para ello se consideran parámetros como el tiempo de recuperación (T_{rem}), la duración de la inmunidad (T_{imu}) y el porcentaje de adopción de cubrebocas (M). La metodología emplea reglas locales de transmisión basadas en probabilidades diferenciadas según el uso de cubrebocas, simulando escenarios con condiciones de frontera periódicas y hasta de 100,000 pasos temporales. Los resultados revelan que un mayor porcentaje de uso de cubrebocas reduce significativamente el pico de infecciones y puede transformar un régimen endémico en uno de extinción. Sin embargo, se observa que el uso universal de cubrebocas, aunque disminuye la transmisión, puede retrasar la adquisición de inmunidad colectiva, lo que resalta la necesidad de complementar estas medidas con estrategias como la vacunación. Este modelo, al ser visual y flexible, facilita la comprensión de conceptos epidemiológicos complejos y permite explorar escenarios hipotéticos para evaluar la eficacia de diferentes intervenciones. Las conclusiones subrayan la importancia de adoptar un enfoque integral que combine medidas de protección, inmunización y políticas de salud pública para mitigar la propagación de virus de manera efectiva.

Palabras clave: Autómatas celulares, epidemiología, cubrebocas, arquitectura de dispositivos unificados de computación ADUC, propagación de virus

Abstract

This study evaluates the impact of face mask usage on the spread of infectious diseases using a cellular automata model implemented on GPU (Graphics Processing Unit) with CUDA (Compute Unified Device Architecture). The main objective is to analyze how individual protective measures, such as mask-wearing, affect epidemic dynamics in a two-dimensional population of 1000x1000 individuals, considering parameters such as recovery time (T_{rem}), immunity duration (T_{imu}), and the percentage of mask adoption (M). The methodology employs local transmission rules based on differentiated probabilities according to mask usage, simulating scenarios with periodic boundary conditions and up to 100,000 time steps. The results show that a higher percentage of mask usage significantly reduces the peak of infections and can shift the propagation regime from endemic to extinction. However, universal mask usage, while reducing transmission, may delay the acquisition of herd immunity, highlighting the need to complement these measures with strategies such as vaccination. The model, being visual and flexible,

facilitates the understanding of complex epidemiological concepts and allows exploring hypothetical scenarios to assess the effectiveness of different interventions. The conclusions emphasize the importance of adopting a comprehensive approach that combines protective measures, immunization, and public health policies to effectively mitigate virus spread.

Keywords: Cellular automata, epidemiology, face masks, Compute Unified Device Architecture CUDA, virus propagation

Introducción

Entre las enfermedades que han recibido especial atención en los últimos años, figura el SARS-CoV-2⁵, desde su fuerte impacto mundial hasta la dificultad de modelizar su propagación de forma realista. Numerosos trabajos han abordado este tema. Una parte importante de ellos se ha centrado en el estudio de las medidas de protección, planteando preguntas fundamentales como: ¿Son realmente eficaces? (Li, 2020; Liao, 2021), ¿En qué medida funcionan de manera individual o en combinación con otras medidas? (Chen, 2021; Kwon et al., 2021; Park y Kim, 2021), ¿Sobre qué fracciones de la población conviene aplicarlas para que resulten efectivas? (Esposito y Principi, 2020; Xu et al., 2024). A estas dificultades se añade la necesidad de convencer a la población de la utilidad de dichas medidas, puesto que su eficacia depende directamente de la aceptación y la adopción colectiva (Betsch, 2020; Cherry et al., 2021; Wang et al., 2020; Yan et al., 2021).

Para describir la propagación de enfermedades tipo SARS-CoV-2 existen modelos que proponen un marco matemático para integrar la dinámica de aerosoles y de gotas (los dos vectores contemplados para explicar la transmisión del virus), las tasas de ventilación y las características de exposición con el fin de cuantificar el riesgo de transmisión del SARS-CoV-2 (Mittal et al., 2020; Peng y Jimenez, 2021). Sin embargo, dichos modelos se centran principalmente en la interacción directa entre dos individuos, lo que dificulta su extrapolación a poblaciones numerosas y complica su comprensión por parte del público en general, destinatario final del uso de cubrebocas. Una solución para resolver estas dificultades es el uso de autómatas celulares.

Los autómatas celulares son sistemas dinámicos 'discretos'⁶ formados por una red de celdas, cada una de las cuales puede encontrarse en un número finito de estados (Wolfram, 1983). La evolución del sistema se rige por reglas locales simples, que determinan el estado futuro de cada celda en función de su estado actual y el de sus vecinas. A pesar de la simplicidad de estas reglas, los autómatas celulares son capaces de generar dinámicas colectivas complejas, lo que los convierte en una herramienta poderosa para el estudio de sistemas fuera de equilibrio (Wolfram, 1984). Este tipo de modelos ha sido utilizado durante varias décadas para explorar fenómenos dinámicos muy diversos, entre ellos la propagación de virus informáticos (Batista, 2017), la dinámica del tráfico vehicular (Maerivoet y De Moor, 2005), la dinámica de la vegetación (Balzter et al., 1998) o, de manera más amplia, la difusión de enfermedades infecciosas (Beauchemin et al., 2005; Sirakoulis et al., 2000; Xiao et al., 2006; Zhao et al., 2015; Zorzenon dos Santos y Coutinho, 2001). En el campo de la epidemiología, un ejemplo clásico de modelo es el SIR⁷, introducido por Kermack y McKendrick en 1927, que describe la evolución temporal de una epidemia mediante la división de la población en compartimentos de susceptibles, infectados y recuperados.

⁵ Todos los acrónimos que aparecen en este documento están definidos en un glosario al final

⁶ Discreto es una palabra usada por los matemáticos para separados (*discrete* en inglés es separado, mientras que *discreet* en inglés es discreto) [Nota de los(as) editores(as)]

⁷ El modelo SIR (Susceptible, Infectado, Recuperado/Removido) es un modelo matemático fundamental en epidemiología, introducido por William Kermack y Alexander McKendrick en 1927, que describe la propagación de enfermedades infecciosas dividiendo a la población en tres compartimentos y explicando cómo la inmunidad y la recuperación afectan el curso de una epidemia (Abelló-Ugalde Isidro Alfredo, Guinovart-Díaz Raúl, Morales-Lezca Wilfredo. 2020. El modelo SIR básico y políticas antiepidémicas de salud pública para la COVID-19 en Cuba / *The Basic SIR Model and Antiepidemic Policies in Public Health against COVID-19 in Cuba*. Revista Cubana de Salud Pública. 46(Supl. especial): e2597, 1-24. Artículo especial. <https://www.scielosp.org/pdf/rccsp/2020.v46suppl1/e2597/es>)

Los autómatas celulares ofrecen un marco idóneo para estudiar estas cuestiones (del Rey, 2009; Jithesh, 2021), ya que permiten integrar parámetros 'discretos'⁸ como las probabilidades de contagio, la duración de la inmunidad o el tiempo de recuperación. Además, su carácter visual y su flexibilidad facilitan la exploración de escenarios hipotéticos del tipo what if, en los que se analiza, por ejemplo, el efecto de variar la proporción de personas que utilizan cubrebocas o de modificar la duración de la inmunidad adquirida. Sin embargo, una de las principales dificultades radica en la obtención de probabilidades de transmisión fiables, esenciales para implementar y calibrar el modelo de manera realista.

Durante la pandemia de SARS-CoV-2, la información para la población al respecto se transmitió mayoritariamente mediante infografías, un formato directo y accesible que facilita la difusión del mensaje, como la presentada en la Figura 1. Diversos estudios han mostrado que el uso de cubrebocas por parte del individuo susceptible e infectado (P_{MM}) reduce significativamente la concentración de partículas virales exhaladas y la exposición a estas (Howard et al., 2021). En contraste, cuando solamente el infectado utiliza cubrebocas (P_{MN}) la reducción es menor, aunque sigue siendo considerable, ya que se limita la emisión en la fuente (Ueki et al., 2020).

Por otra parte, si solamente el individuo susceptible porta mascarilla (P_{NM}), la eficacia depende de la capacidad de filtración y ajuste del cubrebocas, resultando típicamente inferior al escenario anterior. Finalmente, cuando ninguno utiliza protección (P_{NN}), la probabilidad de transmisión alcanza su máximo valor (Brooks et al., 2021; Lauring y Malani, 2021).

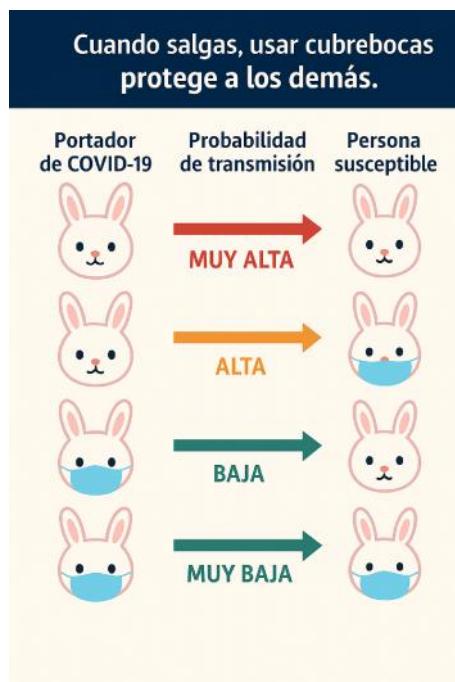


Figura 1. Infografía diseñada por los autores, inspirada en los numerosos ejemplos disponibles en Internet (medios de comunicación, universidades y gobiernos locales), dirigida al público en general y que muestra de forma esquemática el impacto del uso del cubrebocas en la transmisión del virus SARS-CoV-2 (CDMX, 2020; Coatzacoalcos, 2020; Haut-Rhin, 2021; Nebraska, 2020, Servoz, 2020)

Los valores cuantitativos de las tasas de contagio relacionadas con el uso de cubrebocas en diferentes estudios varían ampliamente debido a factores como los diseños de los estudios, las condiciones, el tipo de cubrebocas y el contexto social. Estudios indican que el uso de cubrebocas reduce hasta un 88% el riesgo de infección por SARS-CoV-2 (Tabatabaeizadeh, 2021). Otros muestran que la tasa de infección puede disminuir de un intervalo de 10 a 40% (según el contexto y tiempo de exposición) a menos del 3% con el uso adecuado de mascarillas (Klompas et al., 2020). Asimismo, la eficacia de los cubrebocas varía entre una reducción del 50 al 90% en la transmisión de aerosoles, según el tipo de

⁸ Discreto es una palabra usada por los matemáticos para separados (*discrete* en inglés es separado, mientras que *discreet* en inglés es discreto) [Nota de los(as) editores(as)]

mascarilla y su ajuste (Wang et al., 2021). Aunque la evaluación cuantitativa de las tasas de propagación muestra cierta variabilidad en los valores reportados para los diferentes escenarios contemplados (individuo infectado e individuo susceptible, con o sin cubrebocas), las probabilidades de contagio siguen el mismo orden que el presentado en la infografía de la Figura 1.

En este artículo se propone un modelo epidemiológico basado en el enfoque de autómatas celulares, aplicado al estudio del efecto de las medidas de protección individual sobre la propagación de una infección. Este modelo permite identificar la existencia de tres regímenes distintos en la dinámica de propagación del virus, que dependen del tiempo durante el cual un individuo es contagioso y del período de inmunidad: El régimen de extinción instantánea, el régimen de brote inicial seguido de extinción y el régimen endémico donde la infección persiste en la población a largo plazo. El modelo no solamente caracteriza estos tres regímenes, sino que también evalúa cómo el uso de cubrebocas modula la dinámica de propagación del virus, alterando los valores críticos de inmunidad y recuperación que definen las fronteras entre la extinción rápida, el brote seguido de extinción y la propagación endémica. Para optimizar la eficiencia computacional, el modelo se implementó en la arquitectura de dispositivos unificados de computación, ADUC (CUDA, Compute Unified Device Architecture, en inglés) aprovechando el cómputo paralelo de las tarjetas gráficas, lo que permite explorar un amplio conjunto de escenarios con un consumo reducido de recursos y tiempo de cálculo.

Modelo

Se desarrolló un modelo numérico para simular la propagación de una enfermedad infecciosa en una población bidimensional de 1000x1000 individuos. La simulación se implementa mediante autómatas celulares y está paralelizada en una unidad de procesamiento de gráficos, UPG (GPU, Graphics Processing Unit, en inglés) usando la arquitectura de dispositivos unificados de computación, ADUC (CUDA, Compute Unified Device Architecture, en inglés), lo que permite estudiar poblaciones grandes de manera eficiente. Cada individuo puede encontrarse en uno de tres estados: Susceptible, infectado o inmunizado y, adicionalmente, puede portar un cubrebocas, lo que influye en la probabilidad de transmisión.

a) Inicialización de la población

Al inicio de la simulación, un porcentaje del 10% de los individuos se selecciona aleatoriamente como infectados, mientras que un porcentaje M de los individuos porta un cubrebocas. Estas asignaciones se realizan de manera independiente para reflejar situaciones realistas en las que el uso de cubrebocas no está correlacionado necesariamente con el estado de infección.

b) Dinámica temporal de infección

El modelo evoluciona en pasos 'discretos'. Se consideran un máximo de 10^5 pasos de tiempo, a menos que el número de infectados caiga a 0. Se emplean condiciones de frontera periódicas, así que el sistema no está limitado en sus extremidades. La propagación de la infección se calcula considerando los 8 vecinos más cercanos de cada individuo.

La probabilidad de transmisión depende tanto del uso de cubrebocas del individuo susceptible como del vecino infectado. Se definen cuatro probabilidades distintas (Tabla 1).

Tabla 1. Posibilidades de transmisión

Individuo susceptible (i)	Vecino infectado (j)	Probabilidad de transmisión P_{ij}
Sin cubrebocas	Sin cubrebocas	$P_{NN}=60\%$
Sin cubrebocas	Con cubrebocas	$P_{MN}=30\%$
Con cubrebocas	Sin cubrebocas	$P_{NM}=40\%$
Con cubrebocas	Con cubrebocas	$P_{MM}=10\%$

Se adopta para el modelo el orden dado en los estudios experimentales y epidemiológicos que respaldan la relación de orden $P_{MM} < P_{MN} < P_{NM} < P_{NN}$.

Cada individuo mantiene dos contadores internos:

counter_infect, que registra el tiempo que un individuo ha estado infectado,
counter_susc, que contabiliza el tiempo de inmunidad tras la recuperación.

Cada paso temporal sigue las siguientes reglas (Figuras 2 y 3):

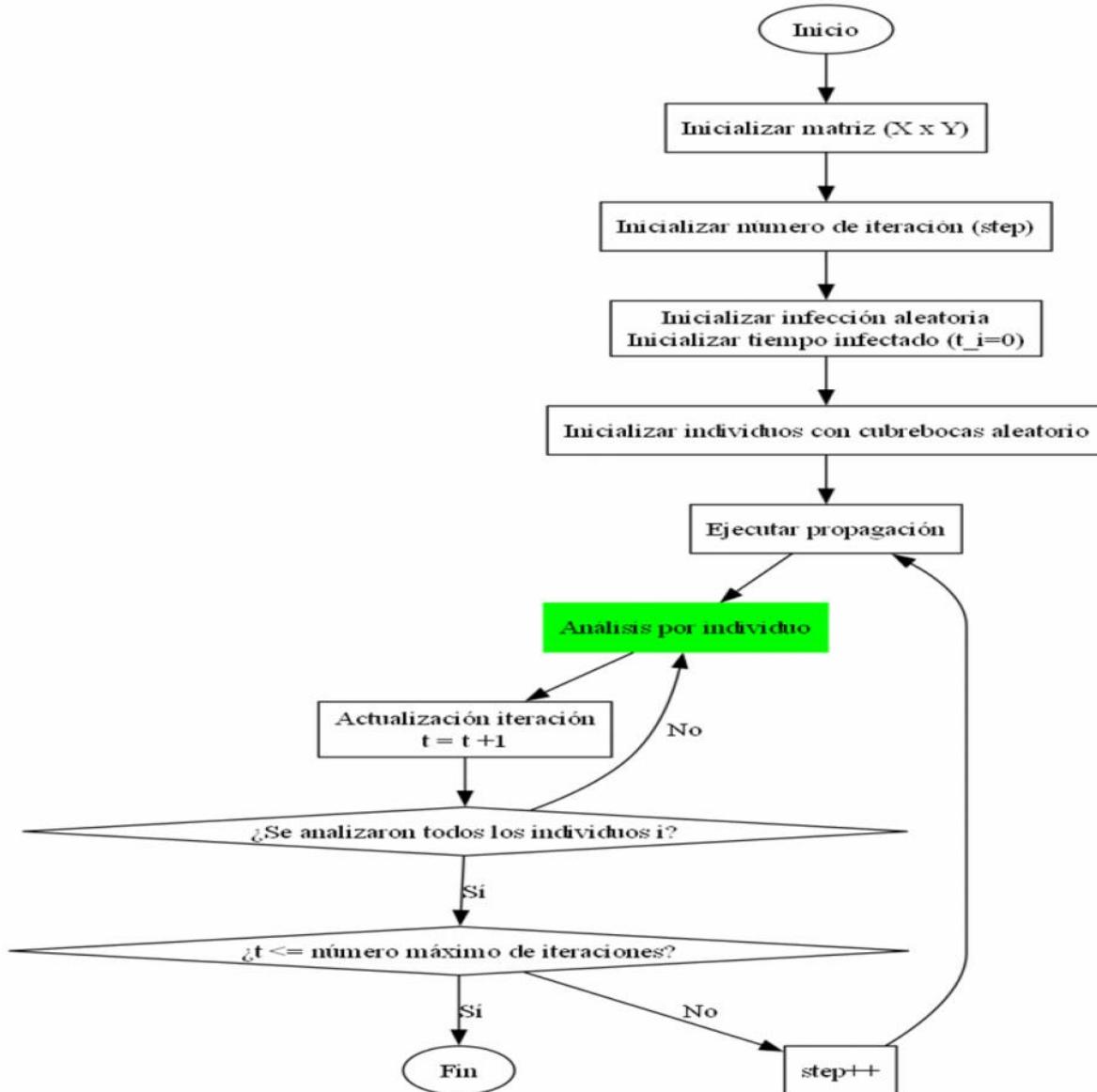


Figura 2. Diagrama de propagación del virus

1. Individuo infectado: Se incrementa de uno su contador de infección (counter_infect). Cuando este alcanza un valor T_{rem} dado, el individuo se recupera (no puede contagiar más a sus vecinos) y pasa a un estado inmunizado temporal (su valor de counter_susc se inicializa en 0)
2. Individuo inmunizado: Se incrementa su contador de inmunidad hasta llegar a un cierto valor T_{inmu} después del cual vuelve a ser susceptible

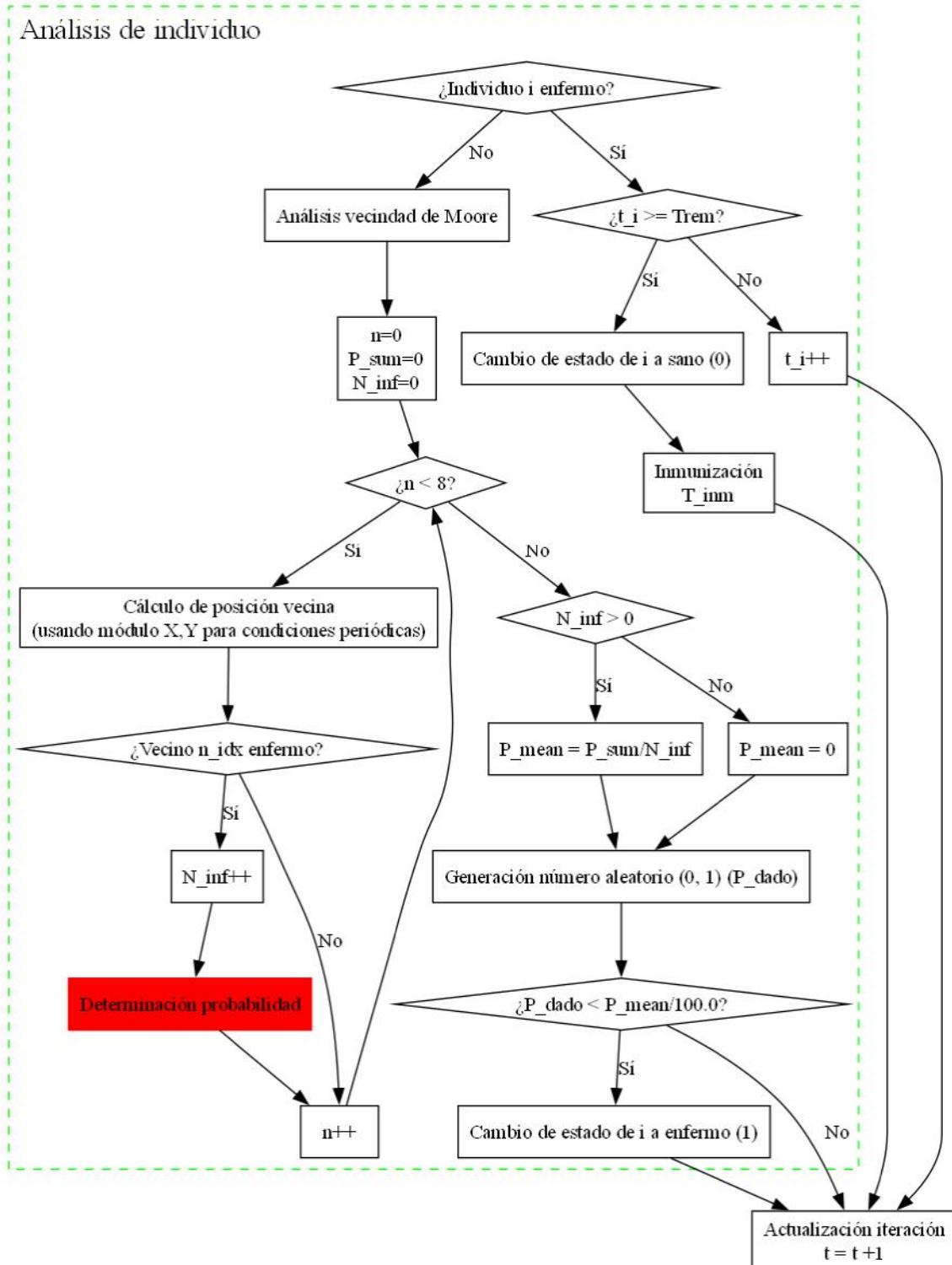


Figura 3. Diagrama de flujo función análisis de individuo

3. Individuo susceptible: Se evalúa el estado de los 8 vecinos más cercanos (Figura 4).

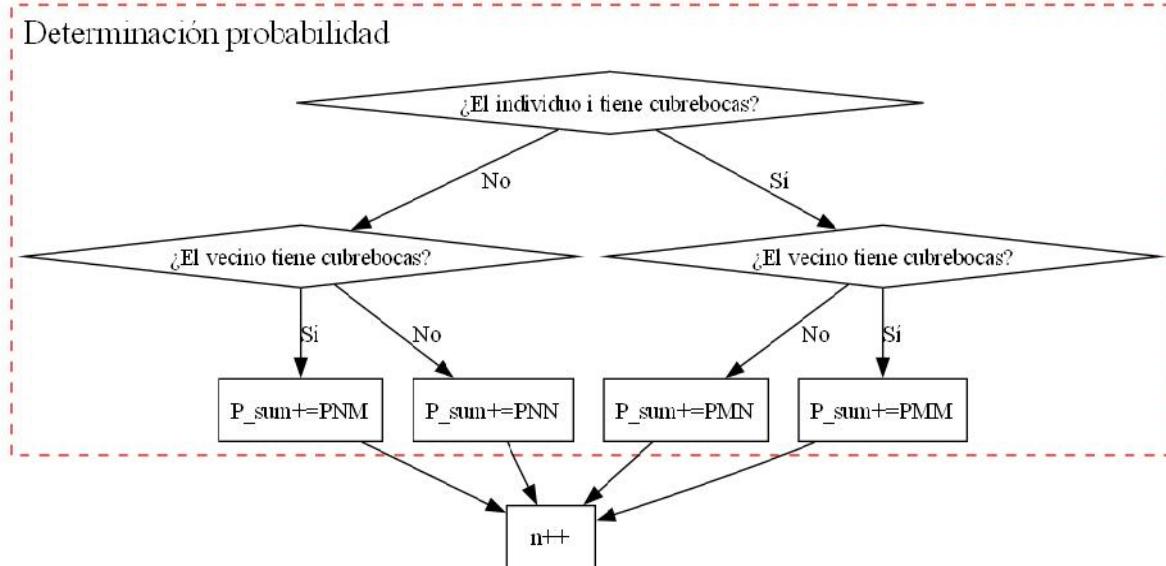


Figura 4: Diagrama de flujo función determinación de probabilidad

Si hay al menos un vecino infectado, se calcula la probabilidad promedio de infección considerando los estados de cubrebocas y se compara con un número aleatorio generado de manera paralela en GPU mediante CURAND. Si el número aleatorio es menor que la probabilidad de infección, el individuo se infecta y se incrementa su contador de infección. Específicamente, la probabilidad de infección se encuentra con la expresión (1).

$$P_i = \frac{\sum_{j \text{ infectados}} P_{ij}}{N_{\text{infectados}}} \quad (1)$$

donde P_{ij} depende del estado de cubrebocas del individuo i y de cada uno de los vecinos j . Los valores de transmisión considerados son los siguientes:

El modelo permite explorar cómo la duración de la infección (T_{rem}), la inmunidad temporal (T_{inmu}) y la distribución de cubrebocas (M) afectan la dinámica de la epidemia.

T_{rem} (Tiempo de recuperación): Número de pasos durante los cuales un individuo permanece infectado y puede transmitir la infección a sus vecinos antes de recuperarse. Un aumento de T_{rem} incrementa la agresividad de la propagación

T_{inmu} (Duración de inmunidad): Número de pasos durante los cuales un individuo recuperado permanece inmunizado antes de volver a ser susceptible. La inmunidad es la misma para todos los individuos. Un aumento de T_{inmu} limita la propagación de la enfermedad, ya que los individuos recuperados no pueden actuar como vectores durante este período. Una inmunidad larga puede simular por ejemplo la aplicación de una vacuna

M (Porcentaje de individuos con cubrebocas): Representa la fracción de la población que porta cubrebocas (fijo a lo largo de la simulación). Un aumento de M reduce la probabilidad de transmisión promedio, disminuyendo la propagación de la enfermedad en la población.

Resultados y discusión

A continuación, se presentan los resultados del modelo, comenzando con los resultados brutos que proporciona: El número de infectados con respecto del tiempo.

a) Porcentaje de infectados vs. tiempo

La Figura 5 muestra la evolución temporal del porcentaje de infectados en la población bajo distintas combinaciones de parámetros de duración de la infección T_{rem} y de la inmunidad T_{inmu} , con $M=0\%$ (sin uso de cubrebocas). El eje horizontal, en escala logarítmica, representa el tiempo (pasos de simulación), mientras que el eje vertical indica el porcentaje de individuos infectados, también en escala logarítmica.

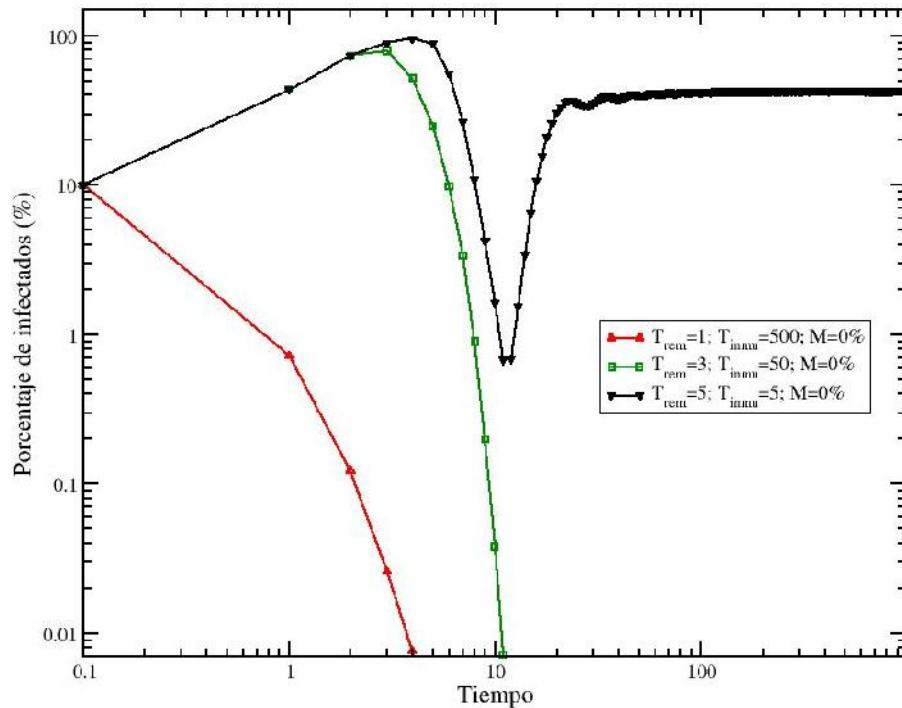


Figura 5: Porcentaje de infectados en función del tiempo para tres conjuntos diferentes de parámetros T_{rem} y T_{inmu} . En los tres casos se considera que ningún individuo usa cubrebocas. El primer caso ($T_{rem}=1$, $T_{inmu}=500$) corresponde a una infección poco agresiva, que genera una inmunidad fuerte. El segundo caso ($T_{rem}=3$, $T_{inmu}=50$) es intermedio: La infección es relativamente agresiva, pero la inmunidad sigue siendo fuerte. En el tercer caso ($T_{rem}=5$, $T_{inmu}=5$), la enfermedad es agresiva (un individuo infectado puede contagiar a sus vecinos durante un tiempo considerable) y, una vez recuperado, puede reinfecctarse rápidamente

La curva roja, correspondiente a $T_{rem}=1$ y $T_{inmu}=500$, muestra que la epidemia desaparece rápidamente. Con un tiempo de infección extremadamente corto, los individuos dejan de ser contagiosos casi de inmediato y, gracias a la inmunidad prolongada, los recuperados permanecen protegidos durante toda la simulación, lo que evita rebrotes. En contraste, la curva verde ($T_{rem}=3$, $T_{inmu}=50$) refleja un crecimiento inicial acelerado de los contagios, que alcanza un pico cercano al 100% de infectados antes de caer abruptamente. Aunque la infección se propaga más que en el caso anterior, la inmunidad relativamente larga impide la reinfección temprana de los recuperados y conduce, finalmente, a la extinción del brote. La curva negra ($T_{rem}=5$, $T_{inmu}=5$) describe un escenario distinto: La epidemia se expande rápidamente hasta cubrir casi a toda la población y, tras una caída inicial, no desaparece, sino que se estabiliza en un nivel elevado. Esta dinámica se explica por la inmunidad muy corta, que permite que los individuos recuperados vuelvan a ser susceptibles en pocas iteraciones, manteniendo así la circulación del virus de manera indefinida y dando lugar a un comportamiento endémico.

La Figura 6 ilustra la existencia de tres regímenes. El primero corresponde a una decaída instantánea de la infección. El segundo se caracteriza por un brote inicial seguido de una extinción completa.

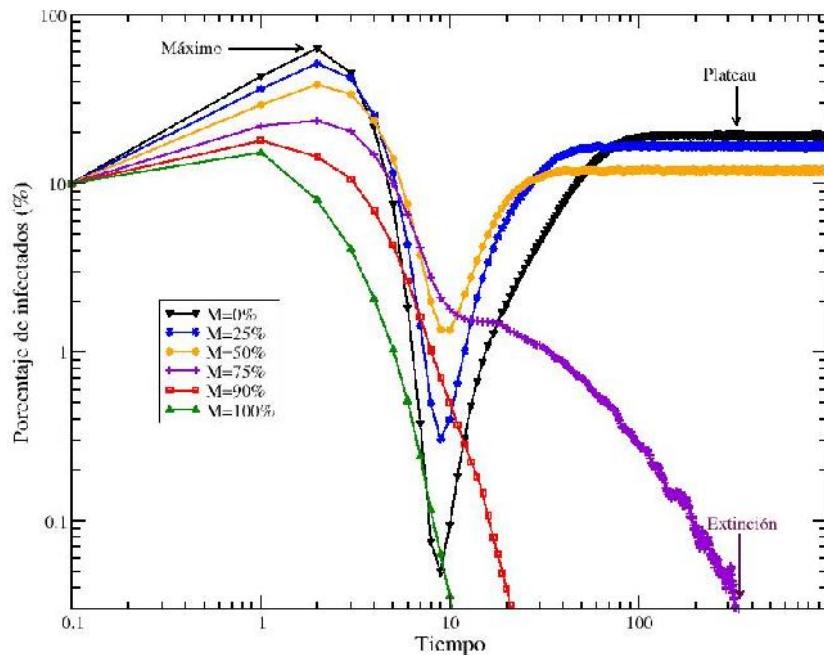


Figura 6: Porcentaje de infectados en función del tiempo. Los colores representan diferentes porcentajes de población con cubrebocas M. Todas las curvas corresponden a $T_{rem}=2$ y $T_{inmu}=5$. Se indican con flechas tres puntos importantes que se analizarán a continuación para estudiar el efecto de los cubrebocas. El primero, denominado "Máximo", corresponde al valor máximo de infectados alcanzado. El segundo, denominado "Plateau", es (cuando existe) el porcentaje de población infectada en el estado estacionario del régimen endémico. Finalmente, el punto denominado "Extinción" corresponde (cuando ocurre) al caso en que la infección desaparece

Finalmente, el tercer régimen muestra un brote inicial que conduce a una estabilización alrededor de un valor plateau (presión constante que se mantiene en vía aérea cuando el flujo de aire se detiene brevemente "pausa inspiratoria").

La Figura 6 muestra cómo el aumento de la población que utiliza cubrebocas permite reducir el impacto del contagio e incluso pasar de un régimen endémico a uno de brote inicial seguido de extinción. En el régimen endémico (M 50%), un mayor uso de medidas de protección en la población permite disminuir tanto el pico inicial del brote como el valor final en el estado estacionario (plateau). En el régimen de extinción (M 75%), se observa igualmente la disminución del brote inicial, así como, la reducción del tiempo de duración de la infección.

En un segundo paso, se representan los distintos regímenes en función de los valores de T_{rem} y T_{inmu} , y se analizan e interpretan la influencia del porcentaje de población con tapabocas sobre dichos regímenes. Finalmente, se cuantifica el efecto del uso de medidas de protección sobre los valores máximos y finales del porcentaje de infectados.

b) Régimen de propagación del virus

Las Figuras 7, 8 y 9 muestran los distintos regímenes de propagación del virus en función de los parámetros T_{rem} y T_{inmu} . Cada gráfica corresponde a una tasa diferente de uso de medidas de protección. Para un valor bajo de T_{rem} , se observa el régimen de caída instantánea de la tasa de infectados. Este régimen aparece bajo las mismas condiciones, independientemente del porcentaje de uso de cubrebocas y del tiempo de inmunidad, correspondiente a infecciones poco agresivas ($T_{rem}=1$).

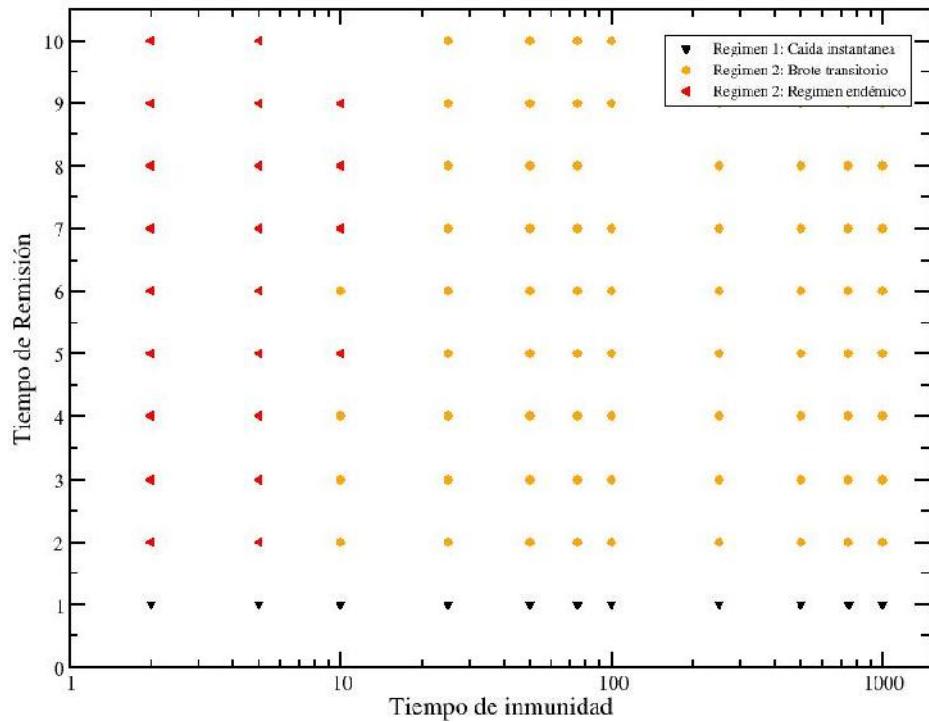


Figura 7: Para $M = 0\%$, inmunidades pequeñas conducen a regímenes endémicos, ya que el tiempo no es suficiente para que todos los individuos estén en un estado de inmunidad y la enfermedad se extinga. Sin embargo, para inmunidades cada vez más grandes, esto es cada vez más probable

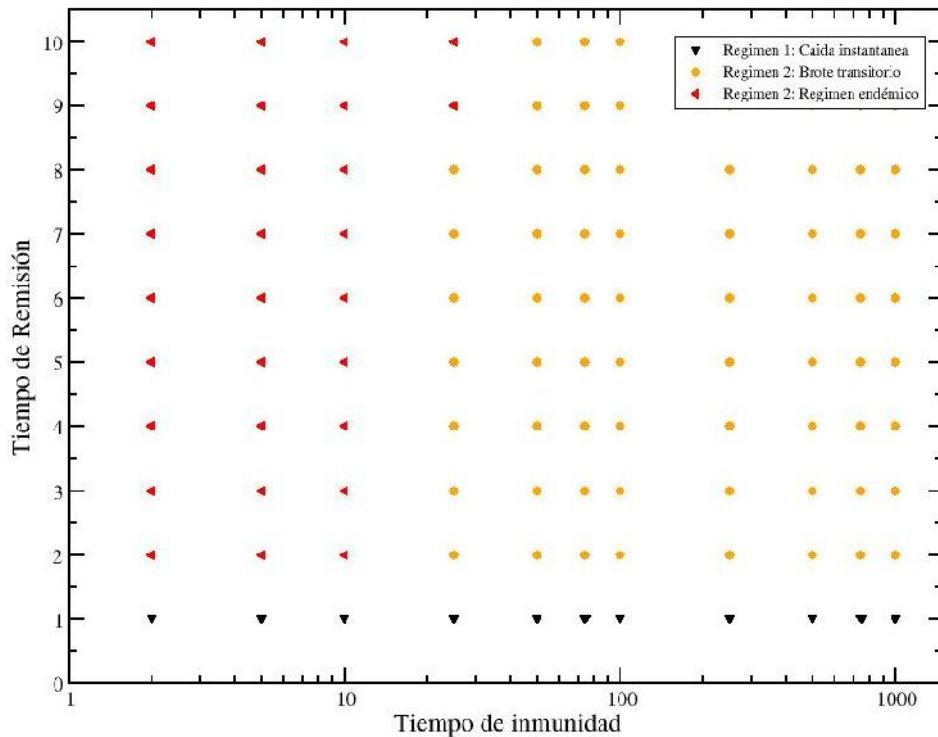


Figura 8: Para $M = 50\%$ con inmunidades menores a 10 pasos, se llega a regímenes endémicos sin importar el tiempo de remisión. Habiéndose desplazado hacia inmunidades más altas este régimen en comparación con la Figura 3. sugiere una menor cantidad de infecciones y por ello, un menor número de individuos inmunizados

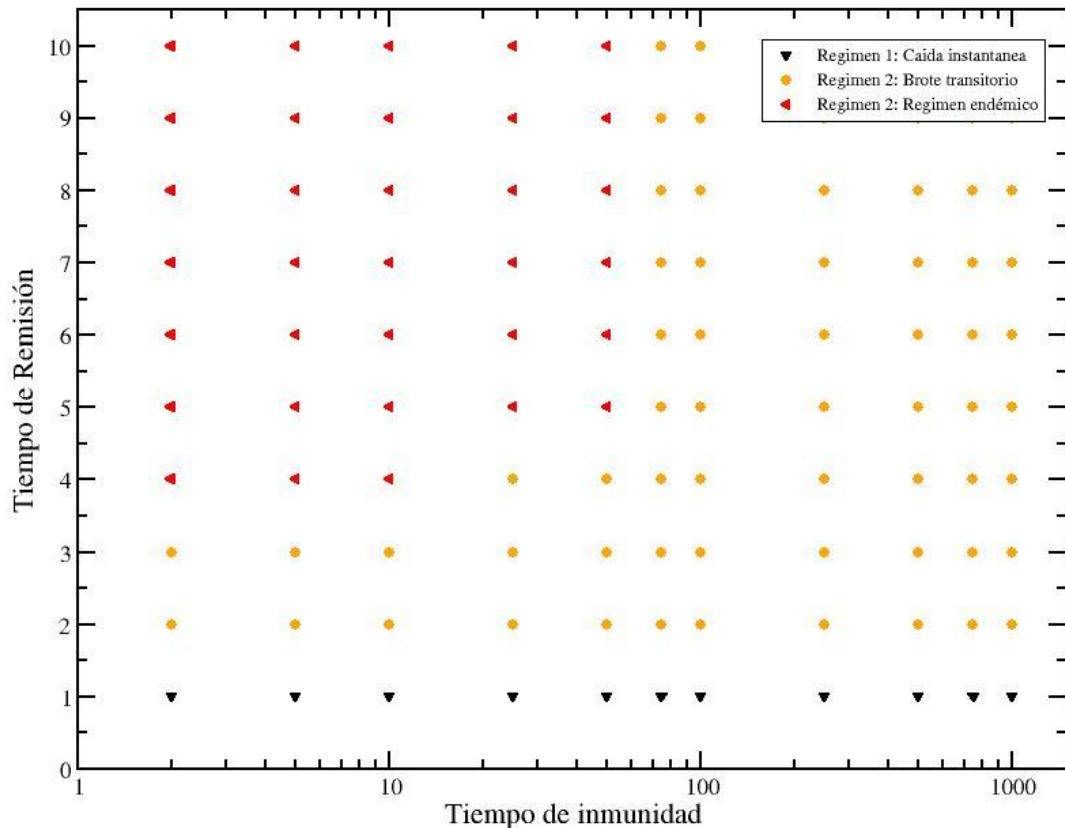


Figura 9: Para $M = 100\%$, se requiere una mayor inmunidad para llegar a un brote transitorio pues los individuos se infectan en menor medida, por consiguiente, hay un menor número de individuos que adquieren inmunidad y la enfermedad prolifera en un estado de pseudo equilibrio. Esto también refuerza la idea de la necesidad de la vacunación como forma segura y controlada para obtener inmunidad

Cuando la enfermedad es más agresiva, se observa el régimen endémico para valores bajos de T_{inmu} y el régimen de extinción tras un brote inicial para valores más altos de T_{inmu} . Al aumentar M , se nota la desaparición completa del régimen endémico para los valores más bajos de T_{rem} . El uso de medidas de protección limita la propagación de la infección, que no persiste mucho tiempo debido a un T_{rem} relativamente bajo, permitiendo alcanzar la extinción.

De manera contraintuitiva, para $M=100\%$, la frontera entre los regímenes endémico y de extinción se desplaza hacia valores mayores de T_{inmu} . Esto se debe a que la inmunidad se adquiere únicamente después de una infección. Con los cubrebocas, disminuye la probabilidad de infectarse, pero nunca llega a cero y con ello, la tasa de infección también disminuye, pero al mismo tiempo, los individuos no adquieren inmunidad.

Con respecto del estudio cuantitativo del efecto del porcentaje de individuos con cubrebocas sobre la propagación de la infección y otros parámetros relevantes, la Figura 10 representa la tasa máxima de infección observada en función de M , para diferentes valores de T_{rem} y T_{inmu} . Como se puede intuir, el valor máximo de infectados aumenta cuando el T_{rem} se incrementa. Un individuo infectado dispone de más tiempo para contagiar a sus vecinos cuando T_{rem} es mayor; por lo tanto, no resulta sorprendente que la tasa máxima crezca a medida que la infección se vuelve más agresiva. Por otra parte, se observa un efecto significativo de la presencia de medidas de protección en la población: El valor máximo puede disminuir, por ejemplo, de 95 a 45 % en el caso $T_{rem}=5$. Estos valores son congruentes con los reportados por Kwon et al. (2021). Notablemente, no se observa efecto de T_{inmu} sobre la tasa máxima de infectados, ya que se trata del brote inicial, durante el cual la inmunidad (que se adquiere tras la infección de un individuo) aún no ha entrado en juego. Cabe destacar que el valor máximo más

pequeño observado es del 10 %, dado que este es el valor inicial que se decidió usar para todas las simulaciones. Este análisis permite, además de estudiar la amplitud de la infección, evaluar otros aspectos de la propagación, como la duración del brote y la persistencia de la infección bajo diferentes escenarios de protección colectiva.

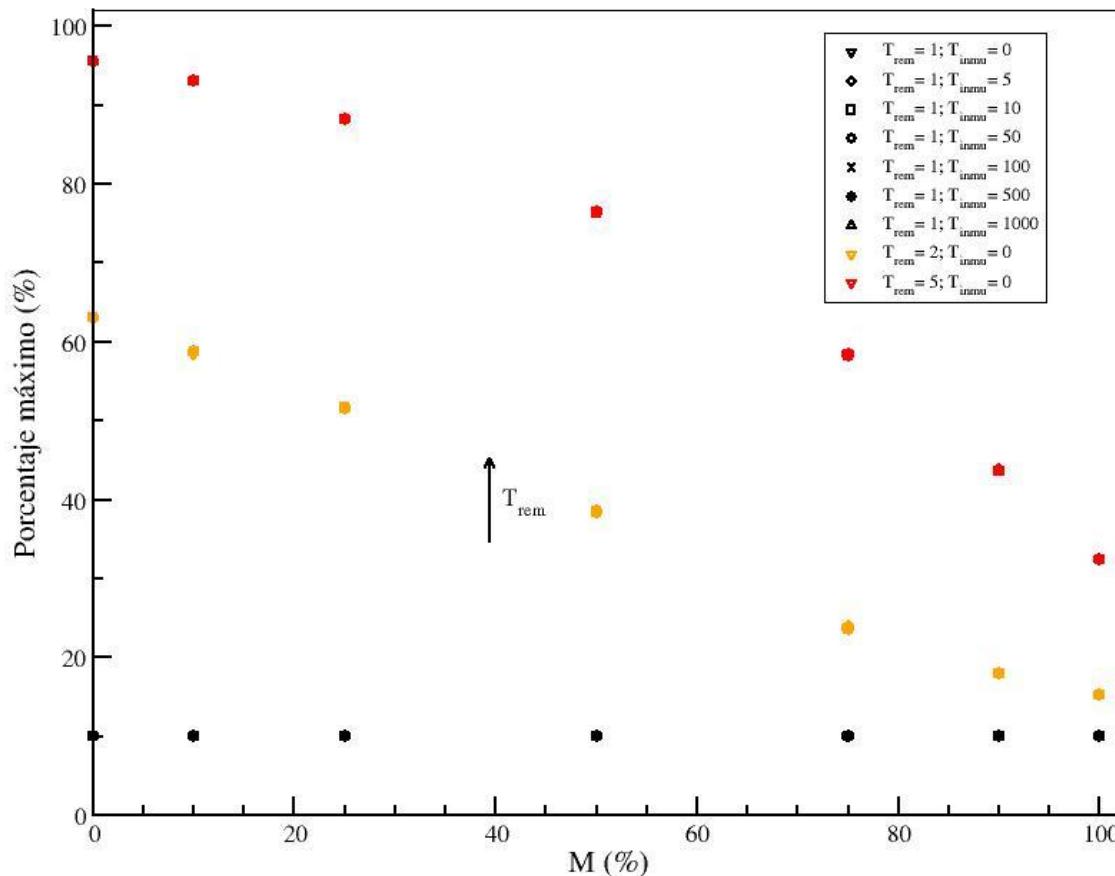


Figura 10: Porcentaje máximo de infectados contra porcentaje de individuos con cubrebocas. Los colores corresponden a diferentes valores de T_{rem} y los símbolos a diferentes valores de T_{inmu}

La misma observación se puede realizar en la Figura 11, que muestra el porcentaje de individuos infectados a largo plazo. Un valor de 0 indica que la infección se ha extinguido. Se observa que el aumento de T_{rem} eleva el porcentaje final de infectados, desplazando el sistema del régimen de extinción al régimen endémico. Por otro lado, es evidente el efecto del aumento de M , que provoca una marcada disminución del porcentaje estacionario de infectados. Asimismo, el incremento de T_{inmu} , parámetro que actúa a tiempos prolongados, también conduce a una reducción del porcentaje final de infectados.

Finalmente, se analizó el efecto de los parámetros sobre el tiempo de extinción de la infección, cuando este existe (es decir, si no se encuentra en el régimen endémico). Se observa en la Figura 12 que, al aumentar T_{rem} o disminuir T_{inmu} , el tiempo de extinción se incrementa. El comportamiento con respecto al porcentaje de individuos que usan cubrebocas resulta más sorprendente.

El efecto de M se manifiesta de dos maneras diferentes: Limitando la propagación directa de la infección; por otro, al hacerlo, retrasa la activación de la inmunidad, la cual solo se induce tras una infección previa. Por esta razón, en el caso $T_{rem} = 2$, se observa un aumento del tiempo de extinción con M , seguido de una ligera disminución.

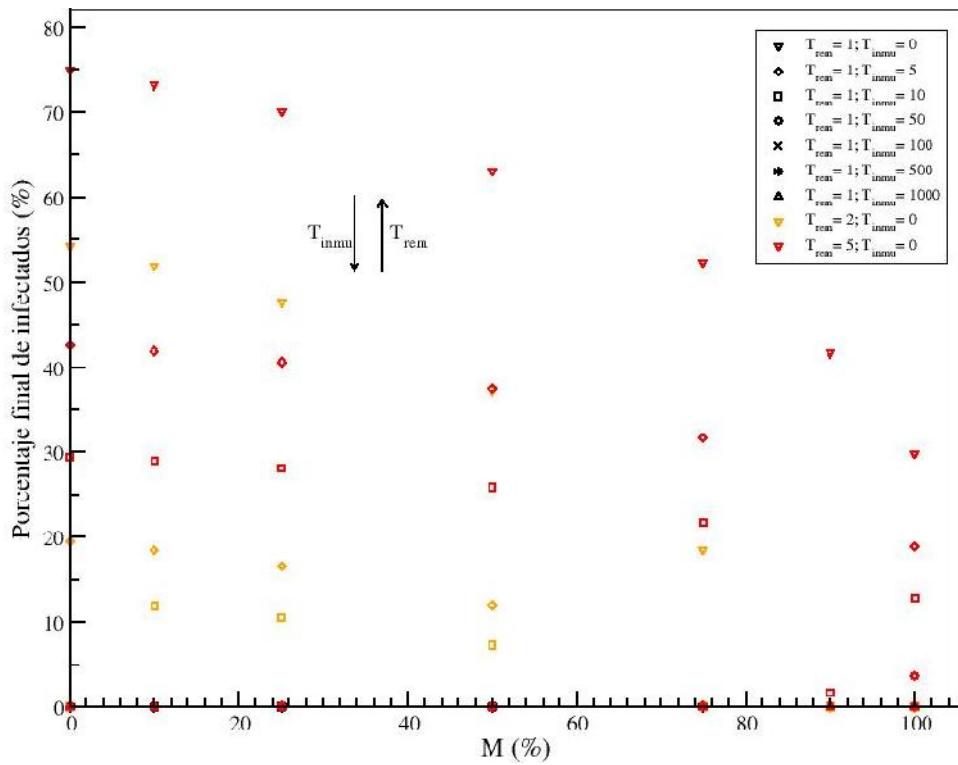


Figura 11: Porcentaje final de infectados contra porcentaje de individuos con cubrebocas. Los colores corresponden a diferentes valores de T_{rem} y los símbolos a diferentes valores de T_{inmu}

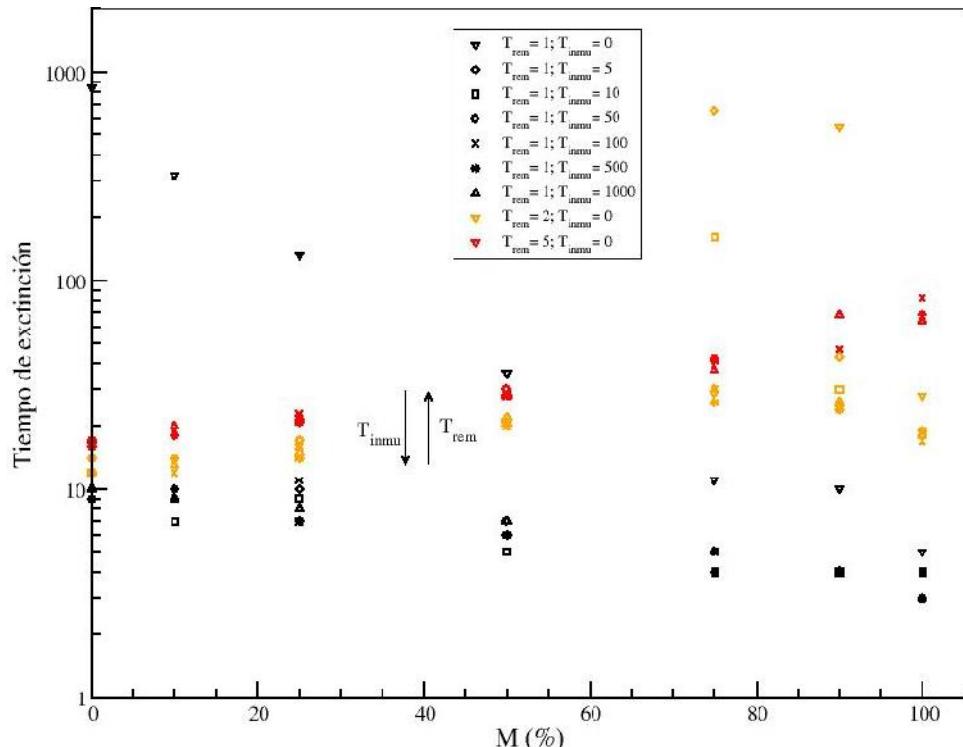


Figura 12. Tiempo de extinción vs. porcentaje de individuos con cubrebocas. Los colores corresponden a diferentes valores de T_{rem} y los símbolos a diferentes valores de T_{inmu}

Los resultados presentados son de un modelo simplificado de propagación de una infección, destacando el efecto de una proporción variable de individuos que cuentan con un medio de protección (como los cubrebocas). Se mostró que las propiedades de la infección determinan su tasa de propagación, la cual puede clasificarse en tres regímenes.

Además, se observó cómo el uso de medidas de protección individuales permite pasar de un régimen a otro más favorable desde el punto de vista epidemiológico, así como reducir los efectos de la infección tanto en términos de porcentaje de infectados como de duración. Un modelo simplificado de este tipo, presenta la ventaja de poder ser fácilmente comprendido por la población en general, sin requerir conocimientos previos en probabilidades. Al mismo tiempo, puede ser enriquecido con consideraciones más específicas para hacerlo más preciso, combinando así simplicidad, efectividad y versatilidad.

Conclusión

El modelo desarrollado mediante autómatas celulares e implementado en GPU con CUDA permitió analizar de manera eficiente el efecto del uso de cubrebocas sobre la propagación de una enfermedad infecciosa. Los resultados mostraron que parámetros como la duración de la infección (T_{rem}) y de la inmunidad (T_{inmu}) determinan la dinámica global, dando lugar a tres regímenes distintos: Extinción rápida, brote seguido de extinción y propagación endémica.

Dentro de este marco, se observó que el incremento en la proporción de individuos que utilizan cubrebocas reduce de forma significativa tanto el pico inicial de contagios como el porcentaje de infectados en el estado estacionario, pudiendo incluso desplazar al sistema desde un régimen endémico hacia la extinción. No obstante, se evidenció también que un uso universal de cubrebocas, aunque disminuye la probabilidad de infección, puede retrasar la adquisición de inmunidad colectiva, lo que resalta la necesidad de medidas complementarias como la vacunación.

En conjunto, el estudio confirma la eficacia de las medidas de protección individuales como herramienta para mitigar la propagación de virus, al tiempo que subraya la importancia de una estrategia integral que combine barreras físicas, inmunización y políticas de salud pública. Además, la simplicidad y flexibilidad del modelo lo convierten en un recurso valioso tanto para la exploración académica como para la comunicación de conceptos epidemiológicos al público en general.

Glosario

Acrónimo	Significado
counter_infect	Variable que registra el tiempo que un individuo ha estado infectado
counter_susc	Variable que contabiliza el tiempo de inmunidad tras la recuperación
Covid-19	Coronavirus disease 2019 (enfermedad del Coronavirus 2019)
CUDA	Compute Unified Device Architecture
CURAND	"CURAND" se refiere más comúnmente a cuRAND de NVIDIA, una biblioteca de alto rendimiento para la generación de números aleatorios (RNG, random numbers generation acelerada por GPU utilizada en aplicaciones CUDA
GPU	Graphics Processing Unit (unidad de procesamiento de gráficos)
M	Porcentaje de individuos con cubrebocas, representa la fracción de la población que porta cubrebocas al inicio de la simulación
N_j	Número de individuos en la vecindad
NVIDIA	Empresa tecnológica estadounidense líder, conocida por diseñar potentes unidades de procesamiento gráfico (GPU) que impulsan los juegos de PC, la visualización profesional y los centros de datos. Actualmente, es una potencia clave en inteligencia artificial (IA) y computación de alto rendimiento, proporcionando hardware y software esenciales para el entrenamiento de IA, la

Acrónimo	Significado
	ciencia de datos, los vehículos autónomos y la infraestructura en la nube. Fundada en 1993, la invención de la GPU por parte de NVIDIA desencadenó la revolución de los videojuegos, y su potencia de procesamiento paralelo resultó ideal para los cálculos masivos necesarios para la IA moderna, convirtiéndola en un actor dominante en la era de la IA
P_{MM}	Probabilidad de transmisión individuo susceptible con cubrebocas e infectado con cubrebocas
P_{MN}	Probabilidad de transmisión individuo susceptible con cubrebocas e infectado sin cubrebocas
P_{NM}	Probabilidad de transmisión individuo susceptible sin cubrebocas e infectado con cubrebocas
P_{NN}	Probabilidad de transmisión individuo susceptible sin cubrebocas e infectado sin cubrebocas
P_i	Probabilidad de infección del individuo susceptible conociendo todas las contribuciones individuales
SARS-CoV-2	Siglas en inglés para Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (síndrome respiratorio agudo severo por coronavirus 2)
T_{inmu}	Duración inmunidad, número de pasos durante los cuales un individuo recuperado permanece inmunizado antes de volver a ser susceptible
T_{rem}	Tiempo de recuperación, número de pasos durante los cuales un individuo permanece infectado y puede transmitir la infección a sus vecinos antes de recuperarse

Reconocimientos

Los autores agradecen al Maestro Antonio Díaz García por sugerir esta revista para la publicación de este trabajo. El autor Julien-Lombard agradece a DGAPA-PAPIIT por el apoyo recibido a través del proyecto IA102824.

Referencias bibliográficas

- Balzter, H., Braun, P.W., Köhler, W. 1998. Cellular automata models for vegetation dynamics. *Ecological Modelling*. 107(2-3): 113–125. doi: doi.org/10.1016/S0304-3800(97)00202-0
- Batista, F.K., Martín del Rey, A., Quintero-Bonilla, S., Queiruga-Dios, A. 2017. A SEIR model for computer virus spreading based on cellular automata. En *Proceedings International Joint Conference SOCO'17-CISIS'17-ICEUTE'17*. September 6-8, 2017. P. 641. León, España.
- Beauchemin, C., Samuel, J., Tuszyński, J. 2005. A simple cellular automaton model for influenza A viral infections. *Journal of Theoretical Biology*. 232(2):223-234. doi: 10.1016/j.jtbi.2004.08.001
- Betsch, C., Korn, L., Sprengholz, P., Böhm, R. 2020. Social and behavioral consequences of mask policies during the COVID-19 pandemic. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States 'of America*⁹ (PNAS). 117(36):21851–21853. doi: doi.org/10.1073/pnas.2011674117
- Brooks, J.T., Butler, J.C., Redfield, R.R. 2021. Universal masking to prevent SARS-CoV-2 transmission—the time is now. *Journal of the American Medical Association*. 325(6): 635-636. doi: doi.org/10.1001/jama.2021.1505.
- CDMX. 2020. Publicación del Gobierno de la Ciudad de México, 9 de agosto 2020. Consultado el 13 de noviembre 2025. <https://www.facebook.com/GobiernoCDMX/posts/-usar-cubrebocas-ayuda-a-que-los-contagios-disminuyanmira-en-esta-imagen-porque-/10163980248615285/>
- Chen, Q. 2021. Can we mitigate COVID-19 spreading risk? *Frontiers of Environmental Science & Engineering*. 15: 35. doi: doi.org/10.1007/s11783-020-1328-8
- Cherry, T.L., James, A.G., Murphy, J. 2021. The impact of public health messaging and personal experience on the acceptance of mask wearing during the COVID-19 pandemic. *Journal of Economic Behavior & Organization*. 187: 415–430. doi: doi.org/10.1016/j.jebo.2021.04.006

⁹ El nombre oficial de ese país es Estados Unidos (United States). Durante la Doctrina Monroe su papel moneda fue modificado apoderándose del nombre de continente (ahora dividido en dos por el Canal de Panamá) pero no está avalado por su constitución [Nota de los(as) editores(as)]

- Coatzacoalcos. 2020. Información del Ayuntamiento de Coatzacoalcos. Consultado el 12 de noviembre de 2025. <https://www.coatzacoalcos.gob.mx/prensa/ayuntamiento-llama-a-hacer-conciencia-sobre-uso-de-cubrebocas/>
- del Rey, A.M. 2009. A Computer Virus Spread Model Based On Cellular Automata of Graphs. Lecture Notes in Computer Science, vol. 5518. En Proceedings Cellular Automata: 8th International Conference on Cellular Automata for Research and Industry, ACRI 2008. Bandini, S., Umeo, H., Vizzari, G., eds. September 22-25, 2008, Yokohama, Japan.
- Esposito, S., Principi, N. 2020. To mask or not to mask children to overcome COVID-19. European Journal of Pediatrics. 179: 1267-1270. doi: doi.org/10.1007/s00431-020-03674-9
- Haut-Rhin. 2021. Guia oficial sobre uso de cubrebocas de la Región Haut-Rhin, Francia, 3 de diciembre de 2021. Consultado el 12 de noviembre de 2025. <https://www.haut-rhin.gouv.fr/Actualites/Archives/Coronavirus-COVID-19/Archives/Coronavirus-COVID-19-conseils-pratiques>
- Howard, J., Huang, A., Li, Z., Tufekci, Z., Zdimal, V., van der Westhuizen, H., von Delft, A., Price, A., Fridman, L., Tang, L.H., Tang, V., Watson, G.L., Bax, C.E., Shaikh, R., Questier, F., Hernandez, D., Chu, L.F., Ramirez, C.M., Rimoin, A.W. 2021. An evidence review of face masks against COVID-19. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States 'of America'. 118(4):e2014564118. doi: doi.org/10.1073/pnas.2014564118.
- Jithesh, P.K. 2021. A model based on cellular automata for investigating the impact of lockdown, migration and vaccination on COVID-19 dynamics. Computer Methods and Programs in Biomedicine. 211:106402. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2021.106402>
- Klompas, M., Baker, M.A., Rhee, C. 2020. Airborne transmission of SARS-CoV-2: Theoretical considerations and available evidence. JAMA. 324(5): 441-442. doi: 10.1001/jama.2020.12458
- Kwon, S., Joshi, A.D., Lo, C.-H., Drew, D.A., Nguyen, L.H., Guo, C.-G., Ma, W., Mehta, R.S., Shebl, F.M., Warner, E.T., Astley, C.M., Merino, J., Murray, B., Wolf, J., Ourselin, S., Steves, C.J., Spector, T.D., Hart, J.E., Song, M., VoPham, T., Chan, A.T. 2021. Association of social distancing and face mask use with risk of COVID-19. Nature Communications. 12(1): 3737. doi: doi.org/10.1038/s41467-021-24115-7
- Lauring, A.S., Malani, P.N. 2021. Variants of SARS-CoV-2. JAMA. Published online. 326(9):880-880. doi:10.1001/jama.2021.14181
- Li, T., Liu, Y., Li, M., Qian, X., Dai, S.Y. 2020. Mask or no mask for COVID-19: a public health and market study. PLoS ONE. 15(8):e0237691. doi: doi.org/10.1371/journal.pone.0237691
- Liao, M., Liu, H., Wang, X., Hu, X., Huang, Y., Liu, X., Brennan, K., Mecha, J., Nirmalan, M., Lu, J.R. 2021. A technical review of face mask wearing in preventing respiratory COVID-19 transmission. Current Opinion in Colloid & Interface Science. 52:101417. doi: doi.org/10.1016/j.cocis.2021.101417
- Maerivoet, S., De Moor, B. 2005. Cellular automata models of road traffic. Physics Reports. 419(1): 1-64. doi: doi.org/10.1016/j.physrep.2005.08.005
- Mittal, R., Meneveau, C., Wu, W. 2020. A mathematical framework for estimating risk of airborne transmission of COVID-19 with application to face mask use and social distancing. Physics of Fluids. 32:101903. doi: doi.org/10.1063/5.0025476
- Nebraska. 2020. Información de Nebraska Medicine, 3 de junio de 2020. Consultado el 12 de noviembre 2025. <https://www.nebraskamed.com/COVID/coronavirus-is-not-canceled-wear-your-mask>
- Park, J., Kim, G. 2021. Risk of COVID-19 infection in public transportation: the development of a model. International Journal of Environmental Research and Public Health. 18(23): 12790. doi: doi.org/10.3390/ijerph182312790
- Peng, Z., Jimenez, J.L. 2021. Exhaled CO₂ as a COVID-19 infection risk proxy for different indoor environments and activities. Environmental Science & Technology Letters. 8: 392-397. doi: doi.org/10.1021/acs.estlett.1c00183
- Servoz. 2020. Ayuntamiento de Servoz, Francia, 8 de mayo 2020, consultado el 12 de noviembre 2025. www.servoz.fr/distribution-de-masques
- Sirakoulis, G.Ch., Karafyllidis, I., Thanailakis, A. 2000. A cellular automaton model for the effects of population movement and vaccination on epidemic propagation. Ecological Modelling. 133(3): 209-223. doi: doi.org/10.1016/S0304-3800(00)00294-5
- Tabatabaeizadeh, S.A. 2021. Airborne transmission of COVID-19 and the role of face mask to prevent it: A systematic review and meta-analysis. European Journal of Medical Research. 26:1. doi: 10.1186/s40001-020-00475-6
- Ueki, H., Furusawa, Y., Iwatsuki-Horimoto, K., Imai, M., Kabata, H., Nishimura, H., Kawaoka, Y. 2020. Effectiveness of face masks in preventing airborne transmission of SARS-CoV-2. mSphere, 5(5): e00637-20. <https://doi.org/10.1128/mSphere.00637-20>
- Wang, C.C., Prather, K.A., Sznitman, J., Jimenez, J.L., Lakdawala, S.S., Tufekci, Z., Marr, L.C. 2021. Airborne transmission of respiratory viruses. Science. 373(6558): doi:10.1126/science.abd9149
- Wang, J., Pan, L., Tang, S., Ji, J.S., Shi, X. 2020. Mask use during COVID-19: a risk adjusted strategy. Environmental Pollution. 266(Part 1): 115099. doi: doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115099
- Wolfram, S. 1983. Statistical mechanics of cellular automata. Reviews of Modern Physics. 55(3):601-644.
- Wolfram, S. 1984. Cellular automata as models of complexity. Nature. 311: 419-424. doi: doi.org/10.1038/311419a0
- Xiao, X., Shao, S.-H., Chou, K.-C. 2006. A probability cellular automaton model for hepatitis B viral infections. Biochemical and Biophysical Research Communications. 342(2): 605-610. doi: 10.1016/j.bbrc.2006.01.166
- Xu, Z., Zhang, H., Zhu, M., Ji, Y., Xue, P., Xie, J., Li, Y., Zhang, N. 2024. Human behavior-based COVID-19 transmission in two dining spaces. Journal of Hazardous Materials. 480:135820. doi: doi.org/10.1016/j.jhazmat.2024.135820
- Yan, Y., Bayham, J., Richter, A., Fenichel, E.P. 2021. Risk compensation and face mask mandates during the COVID-19 pandemic. Scientific Reports. 11(1): 3174. doi: doi.org/10.1038/s41598-021-82574-w
- Zhao, Z., Chen, Y., Wang, L., Liu, Q. 2015. A cellular automata model of Ebola virus dynamics. Physica A. 438: 424-435. doi: dx.doi.org/10.1016/j.physa.2015.06.049
- Zorzenon dos Santos, R.M., Coutinho, S. 2001. Dynamics of HIV infection: A cellular automata approach. Physical Review Letters. 87:168102. doi: doi.org/10.1103/PhysRevLett.87.168102

Algunos ejemplos de espacios potencialmente utilizables mediante restauración o reciclaje de la antigua industria textil en la región central de Veracruz, México

Some examples of spaces potentially usable through restoration or recycling of the old textile industry in the central region of Veracruz, Mexico

Margarita Solís-Zapata^{*1}

^{*1} Estudiante del Programa de Doctorado en Arquitectura y Urbanismo. Facultad de Arquitectura, Universidad Veracruzana. Zona Universitaria, 91090 Xalapa-Enríquez, Veracruz, México
Correo-e (e-mail)*: smargaritasolis@gmail.com

*Autora a quien debe dirigirse la correspondencia / Corresponding author

Recibido / Received: Agosto / August 15, 2025

Aceptado / Accepted: Septiembre / September 14, 2025

Publicado / Published: Diciembre 30, 2025 (Número 1, Enero-Junio 2026) / December 30, 2025 (Number 1, January-June 2026)

Resumen

En este trabajo se realizó una revisión de los conceptos de sostenibilidad, restauración y reciclaje arquitectónicos para reflexionar sobre su pertinencia al considerar aquellas edificaciones antiguas, obsoletas o en abandono que albergaron procesos industriales importantes en el Estado de Veracruz, México. La industria textil dedicada en décadas anteriores al hilado y tejido del algodón, operaron en la región central de la entidad, específicamente en la zona de influencia de la ciudad de Xalapa, Veracruz, México. Por ello fueron revisadas diversas fuentes bibliográficas, hemerográficas y fotográficas con la finalidad de documentar y analizar, a manera de ejemplo, la importancia histórica y cultural, la situación actual y perspectivas de los casos de las ex-fábricas textiles de San Bruno y Lucas Martín en el municipio de Xalapa. La Purísima en el municipio de Coatepec, Veracruz, México, con el objeto de contribuir a generar conciencia de su potencialidad de reutilización, la importancia de su conservación y la reutilización en apoyo a la sostenibilidad cultural y urbana. Los resultados mostraron que los tres casos analizados fueron económica y socialmente importantes en la zona y que actualmente, aún cuando presentan distintas condiciones de conservación física y arquitectónica, siguen siendo culturalmente importantes en sus comunidades locales, así como potencialmente reutilizables.

Palabras clave: Arquitectura sostenible, restauración, reciclaje, industria textil, San Bruno, Lucas Martín, La Purísima

Abstract

This study reviews the concepts of architectural sustainability, restoration, and recycling to reflect on their relevance when considering old, obsolete, or abandoned buildings that housed important industrial processes in the state of Veracruz, Mexico. The textile industry, dedicated to spinning and weaving cotton in previous decades, operated in the central region of the state, specifically in the area surrounding the city of Xalapa, Veracruz, Mexico. Therefore, various bibliographic, newspaper, and photographic sources were reviewed to document and analyze, as examples, the historical and cultural significance, current situation, and future prospects of the former textile factories of San Bruno and Lucas Martín in the municipality of Xalapa, Veracruz, and La Purísima in the municipality of Coatepec, Veracruz, Mexico. The aim is to contribute to raising awareness of their potential for reuse, the importance of their conservation, and their role in supporting cultural and urban sustainability. The results showed that the three cases analyzed were economically and socially important in the area and that, currently, even though they present different conditions of physical and architectural conservation, they continue to be culturally important in their local communities, as well as potentially reusable.

Keywords: Sustainable architecture, restoration, recycling, textile industry, San Bruno, Lucas Martín, La Purísima

Introducción

La sostenibilidad del desarrollo es un asunto actual y determinante en el futuro del planeta. Es un enfoque integral que busca satisfacer las necesidades sociales actuales sin que, con ello, se comprometan las necesidades futuras. La conciencia de su importancia viene de décadas anteriores en cuyo proceso fueron madurando ideas, conceptos, estrategias, planes, acciones, etc., hasta llegar a ser un imperativo para cualquier acción y aspecto en la vida de los seres humanos. El cuidado de los recursos naturales renovables o no, la limpieza del ambiente, la protección de la diversidad biológica y cultural y, en general, la protección a la calidad de la vida de la población son aspectos inherentes a este enfoque (ONU, 2023; Wadel et al., 2010).

Estrategias como la economía circular, las energías renovables, la eficiencia energética, la agricultura sostenible, la química verde, las tecnologías más limpias, la construcción verde, la arquitectura sostenible, la conservación y la restauración arquitectónica y el reciclamiento, entre otros, son ejemplos que han servido para contribuir, en la práctica, a la sostenibilidad planetaria puesto que todas las disciplinas y tecnologías que en cada caso concurren consideran, hoy en día, de manera importante el cuidado y repercusiones que su actividad puede tener sobre el ambiente.

La Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible propuesta por la ONU es un planteamiento de un gran alcance que reúne esfuerzos coordinados comprometidos por la mayoría de los países para reducir y encarar las múltiples amenazas, actuales y futuras, al ambiente; como el agotamiento de los recursos naturales, la creciente contaminación ambiental, el cambio climático, etc., provocadas por la forma en que se ha venido dando el estilo de desarrollo predominante en el mundo (ONU, 2023).

En relación con la arquitectura, el objetivo del desarrollo sustentable 11 (ODS-11) es el que se dirige a lograr ciudades y comunidades sostenibles seguras, resilientes e inclusivas proponiendo metas a lograr que involucren acceso para toda la población a la vivienda, el transporte y el espacio público, procurando la urbanización inclusiva y sostenible, garantizando la participación de la población en la planificación y la gestión ciudadana, así como el fortalecimiento de la protección y salvaguarda del patrimonio cultural y natural en el mundo.

A través de los otros 16 objetivos que plantea la Agenda 2030 se hace hincapié en procurar, entre otras cosas, un uso más eficiente de los recursos, como el suelo, el espacio, los materiales, el agua, la energía, etc., minimizando los impactos ambientales y recomendando reducir considerablemente la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización, aspectos que inciden también, en el proceso de trabajo arquitectónico desde la concepción del proyecto y su diseño hasta su ejecución, mantenimiento y conservación durante todo el ciclo de vida de las construcciones. Lo que ha dado lugar a lo que se identifica como arquitectura sostenible y desarrollo urbano sostenible (ONU, 2023).

El objetivo de este trabajo es revisar los conceptos de sostenibilidad, restauración y reciclaje arquitectónicos, para reflexionar sobre su pertinencia al considerar aquellas edificaciones antiguas, obsoletas o en abandono que albergaron procesos industriales importantes en el Estado de Veracruz, como los de hilado y tejido de algodón en el territorio que hoy integra la zona metropolitana de la ciudad de Xalapa, Ver., a través de tres ejemplos de ex-fábricas textiles con el fin de contribuir a una mayor conciencia de la importancia de su conservación y/o reutilización en apoyo a la sostenibilidad ambiental, cultural y urbana de la zona.

La restauración en la conservación del patrimonio arquitectónico

Acorde con lo mencionado, la arquitectura sostenible viene a ser un enfoque de diseño que se orienta a minimizar los efectos negativos del proceso constructivo mediante la selección y uso racional de recursos materiales y energéticos amigables con el ambiente. Hoy en día, los principios para el diseño de edificios sostenibles no solamente se dirigen a ser aplicado a nuevos proyectos, sino también a edificios existentes que al llegar al término de su ciclo de vida y funcionamiento requieren ser intervenidos para su conservación o cambio de uso (Šijaković y Peri, 2018).

La protección del patrimonio monumental data de fines del siglo XVIII, principalmente en Europa, donde diversos movimientos ilustrados mostraron y contribuyeron a una mayor conciencia sobre el valor de la historia y de la importancia de algunas edificaciones, consideradas como monumentos, que la atestiguan. Es desde entonces, que se concibe la restauración como un medio para preservarlas y como un hecho cultural propio de la arquitectura (Martínez-Monedero, 2012). Para mediados del siguiente siglo, como es ampliamente conocido, Viollet-Le Duc enunció lo que se considera la primera teoría de la restauración, identificándose mediante otras contribuciones teóricas relevantes, como una disciplina científica, regida a menudo por una normatividad estatutaria e incluida dentro de la arquitectura.

Como bien apunta Martínez-Monedero (2012), la restauración especialmente la dirigida a la conservación monumental, se basa en distinguir y mantener mediante la intervención el valor histórico y estético o artístico del edificio. Siendo entonces que, por lo general, lo que motiva a considerar a un inmueble como objeto de restauración es el reconocimiento de su valía histórica y/o cultural formalmente catalogada o considerada objetivamente, por el proyectista.

La arquitectura, en una de sus más conocidas acepciones, establece que es el arte, la técnica de diseñar y construir edificaciones, donde su práctica y resultados son un hecho histórico y social abarcando todo el ambiente físico que rodea la vida humana con todos sus contenidos culturales. De allí que el hecho edificatorio forme parte del patrimonio cultural de una sociedad en un momento determinado que, a la vez, es vestigio, testimonio y documento del acontecer histórico (Solís-Zapata, 2018; Terán-Bonilla, 2004).

El denominado patrimonio arquitectónico incluye las edificaciones (civiles, militares o religiosas) que son representativas y significativas de una sociedad, de su forma de vida, ideología, economía, tecnología, productividad, etc., y que por, diversas razones, poseen un reconocimiento e importancia cultural (Chanfón-Olmos, 1996; Terán-Bonilla, 2004).

Está incluido dentro del patrimonio arquitectónico-industrial, el conjunto de elementos de explotación industrial, generado por las actividades económicas de cada sociedad que responde a un determinado proceso de producción y a un sistema tecnológico concreto, caracterizado por la mecanización dentro de un determinado sistema socioeconómico. La más amplia definición de patrimonio industrial suma las vertientes arqueológicas, arquitectónica, económica e histórica-geográfica y considera no solamente el edificio sino todos los elementos necesarios para su propia existencia como las infraestructuras de transporte y equipamientos (Calderón-Calderón y Ruiz-Valdepeñas, 2007; Solís-Zapata, 2018).

Las edificaciones industriales, en general y las que poseen calidad de patrimonio arquitectónico industrial, incluyen las vinculadas con funciones productivas como fábricas, ingenios y haciendas con sus variados componentes espacio-funcionales (cuartos de máquinas, oficinas, bodegas, etc.) con

valor arquitectónico, tecnológico, sociológico y paisajístico (Solís-Zapata 2018; Terán-Bonilla, 2004), atributos que los convierten en verdaderos documentos de gran valor para conocer la implantación y evolución de las técnicas constructivas (materiales y características estructurales), de los proceso de innovación tipológica (ordenación espacial en planta y altura), la secuencia estilística en cada momento histórico, e incluso, la estructura económica de los procedimientos técnicos utilizados como condicionante del espacio (Terán-Bonilla, 2007).

A pesar de ser una labor que se ha ejercido desde hace muchos años en México, hasta hace relativamente poco tiempo, la conservación del patrimonio arquitectónico había sido una práctica dirigida principalmente a restaurar monumentos de tipo religioso, civil y habitacional, relegando un tanto los inmuebles dedicados a las actividades industriales. Si bien, puede decirse que ha aumentado paulatinamente la conciencia de la importancia cultural y conservación de este tipo de inmuebles, hoy en día existen todavía en México numerosos ejemplos de este tipo de arquitectura que no han sido objeto de estudio y recibido el debido reconocimiento histórico y, en consecuencia, tampoco una adecuada protección y uso (Solís-Zapata, 2018).

No obstante, los esfuerzos para la conservación de estos tipos de inmuebles por parte del Comité Mexicano para la Conservación del Patrimonio Industrial (CMCPI) sección México del Comité Internacional para la Conservación del Patrimonio Industrial (TICCIH, por sus siglas en inglés), son indudables e importantes logros dentro de la materia. Las investigaciones acerca del Patrimonio Industrial en México se han centrado, hasta ahora en su gran mayoría, a realizar estudios históricos principalmente enfocados a aspectos sociales y económicos (Camarena-Ocampo, 2001; Novelo-Oppenheim, 2005). Son aún muy escasas las investigaciones dirigidas a analizar sus aspectos técnico-constructivos (Ruiz-Flores, 2011; Solís-Zapata, 2018).

Como es sabido, la importancia de un proyecto de restauración reside, en un alto grado, en el proceso previo a la intervención del inmueble, lo cual implica investigar y analizar las distintas posturas teóricas elaboradas a través de los años, para formar un criterio y aplicarlo. Asimismo, es vital realizar una investigación histórica documental tanto del inmueble a intervenir como del entorno social económico y aún político, donde se ubica; lo que implicó su instalación y funcionamiento dentro de la comunidad donde está asentado, así como los aspectos constructivos, en términos de las técnicas utilizadas para su edificación, los materiales que fueron empleados, la razón por la que fueron elegidos, el uso original que tuvo, la forma en que funcionó el inmueble en cuestión, las intervenciones modificaciones que ha sufrido y lo que han modificado en la estructura original del edificio.

La restauración no se limita al aspecto arquitectónico, va más allá. Iniciar un proceso de intervención a un inmueble con el fin de conservarlo restaura la memoria histórica de la comunidad donde se encuentra, pues recupera la relevancia del inmueble, dando a conocer a las nuevas generaciones la historia de su lugar de origen, genera una restauración social por así decirlo, pues una de las premisas dentro de la restauración es que el inmueble intervenido debería tener un uso, para así mantenerla vigente, con la posibilidad de generar con ella un impulso en su entorno, ya sea económico, social o cultural (Solís-Zapata, 2018; Terán-Bonilla, 2007).

Es mucho lo que está pendiente de hacerse con relación al patrimonio arquitectónico industrial en México, el proceso histórico a que ha estado y está sujeta la industria manufacturera así lo hace evidente y se ejemplifica a través de los múltiples vestigios espaciales, abandonados o en ruinas que es posible presenciar a lo largo y ancho de su territorio. La importancia de su atención no solo está desde la perspectiva de disciplinas como la restauración, que por sí misma lo establece en términos de valor histórico, cultural o estético, sino porque hoy en día, como lo señalan diversos autores, a la par

con que las ciudades procuran alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sustentable (ODS), la reutilización del patrimonio industrial se hace cada vez más relevante para fomentar la sostenibilidad urbana, la resiliencia y la inclusión social (Gómez-Carmona, 2023; Mehan, 2025; Terán-Bonilla, 2007).

El reciclaje arquitectónico

De acuerdo con la Real Academia Española el término “reciclar” significa “someter un material usado a un proceso para que se pueda volver a utilizar”. En los últimos años, dadas las condiciones ambientales por las que atraviesa el mundo, la práctica del reciclaje en una multiplicidad de productos de consumo, es esencial para la sostenibilidad y de gran impacto social y económico. Desde el ámbito arquitectónico emerge como una herramienta trascendental para la rehabilitación y reutilización de los edificios, la prolongación de su ciclo de vida y la conservación del patrimonio cultural de la sociedad, puesto que un espacio edificatorio susceptible de reciclaje puede también poseer, aún, en menor medida o reconocimiento, valores históricos y artísticos.

La restauración y el reciclaje arquitectónicos promueven la sostenibilidad urbana. Aunque a diferencia de la primera, el segundo es un concepto relativamente novedoso y de una creciente consideración debido a la amplia situación de crisis urbana y ambiental en muchas partes del mundo, resultado del agotamiento del modelo especulativo del suelo y de las necesidades de ahorro de recursos (Martínez-Monedero 2012; Peña-Espinosa, 2025; Valero-Ramos, 2010).

El reciclaje significa un ahorro de recursos que, en el caso de la arquitectura, se debe aplicar esta práctica como una alternativa previa a la demolición, al culminar la vida útil de un edificio, readaptando su potencial espacial y técnico, o modernizando algunas características según las nuevas necesidades de uso (Gómez Vázquez, 2016; Solís-Zapata, 2025). El reciclaje arquitectónico es una actividad contemporánea, puesto que, al ser dirigida a un edificio obsoleto, le brinda un nuevo uso. (Guerra-Fortuna y Julcahuaca-Vera, 2024; Martínez-Monedero 2012; Solís-Zapata, 2025). Es importante destacar que el reciclaje arquitectónico puede lograrse mediante rehabilitación, reforma, reconstrucción o aún mediante restauración; sin embargo, el objetivo principal es su reutilización (Martínez-Monedero, 2012).

La antigua industria textil en México y en el Estado de Veracruz

Si bien es claro que es importante ampliar el conocimiento histórico y arquitectónico existente relativo al patrimonio industrial textil de la Ciudad de México (Beato-King, 2010; Calderón-Calderón y Ruiz-Valdepeñas, 2007; Ruiz-Flores, 2011; Terán-Bonilla, 2007), también lo es para el estado de Veracruz y del que fue su principal territorio textilero en la región central de la entidad (Florescano-Mayet, 1990; Gómez-Galvarriato y García-Díaz, 1995). La zona de Xalapa, perteneciente a esta región central del estado, históricamente ha sido caracterizada, desde el punto de vista productivo, por el predominio de la agricultura, la industria cafetalera y la industria azucarera (León-Fuentes, 2005). Sin embargo, para una etapa importante de su historia económica, también lo fue para la industria textil. Los vestigios arquitectónicos de esta actividad son relevantes por lo que abundar sobre su conocimiento, se presume, puede contribuir a precisar con mayor objetividad, la importancia histórica de esta industria textil regional y a aumentar el sentido de conservación, protección y reutilización de este tipo de edificaciones.

La historia muestra que la industria textil fue una de las primeras en aparecer en el contexto nacional de cualquier país, siendo por ello motivo de un gran número de estudios historiográficos. Precedida de producción a nivel doméstico y artesanal, la industria textil algodonera fue una de las primeras que utilizó instrumentos y equipos mecanizados, puesto que tempranamente absorbió algunos de los

primeros inventos logrados en el tiempo de la Revolución Industrial; tal es el caso de la lanzadora volante, la hiladora y el telar mecánico, entre otros (Solís-Zapata, 2018).

Los productos textiles han jugado un rol único en las diferentes regiones del mundo, puesto que la necesidad de ropa y refugio y su satisfacción, han sido de gran importancia en la historia de la humanidad, generando en su proceso, muchas industrias importantes, incluida la industria textil, una de las mayormente distribuidas en los países subdesarrollados y de gran liderazgo en las economías más adelantadas.

Desde la etapa prehispánica los tejidos de algodón fueron de gran importancia en la satisfacción de las necesidades de indumentaria de las poblaciones asentadas en lo que hoy es México. La actividad productiva en este ramo estuvo cifrada en las habilidades manuales y el uso de herramientas sencillas para el hilado y el tejido del algodón.

La industria textil de México no fue una casualidad; por el contrario, se ha afirmado que fue un conjunto de factores, a nivel nacional y regional, el que influyó en el origen y establecimiento de los complejos fabriles textiles en el país. Los contextos histórico, político, social, económico y geográfico fueron algunos de los principales. Respecto al contexto económico, algunos autores como Ruiz-Flores (2011) y León-Fuentes (2009), señalan que la industria textil fue una de las soluciones más factibles que los gobiernos de la época consideraron para solventar la necesidad de la nación para solventar las carencias económicas generadas por la lucha de independencia; por ello, el gobierno creó el Banco de Avío, mismo que facilitó la fundación de fábricas textiles. La Tabla 1 presenta algunos datos importantes de fábricas textiles relevantes fundadas en México hacia el año de 1850.

Tabla 1. Algunas de las primeras fábricas de hilados y tejidos en México fundadas antes de 1850 (Durand, 1986; Florescano-Mayet, 1990; Galán-Amaro, 2010; Ibáñez-González, 2012; Lizama-Silva, 2011; Solís-Zapata, 2018)

Nombre	Ubicación	Fundadores	Fundación-cierre	Productos
La Constancia	Puebla, Puebla	Esteban Antuñano	1835-1991	Hilaza y manta de algodón
Cocolapan	Orizaba, Veracruz	Lucas Alamán	1837-1932	Hilaza y manta de algodón
Patriotismo	Puebla, Puebla	Ciriaco Marrón y Marrón	1839-2018	Hilaza y manta de algodón
La Escoba	Guadalajara, Jalisco	Manuel Escandón y Manuel Olzagarre	1840-1902	Hilaza, manta, pabilo y cordón de algodón
Miraflores	Cuautitlán, Estado de México	Fam. Martínez del Río	1840	Hilados y estampados
La Colmena y Barrón	Tlalnepantla, Estado de México	Eduardo M. Keon, Archibaldo y Cutberto Hoppe	1846-1913	Hilados de algodón
El Hércules	La Cañada, Queretaro	Cayetano Rubio	1846-2018	Hilos, mantas, telas sintéticas

La transición de los obrajes al sistema fabril comenzó a finales de 1830, creándose con esto la rama industrial de los textiles de algodón, algunas de las fábricas que vieron su mejor época productiva durante el Porfiriato fueron fundadas antes de 1850. En lo restante de ese siglo, esta industria experimentó un notable crecimiento y consolidación a la par con los importantes centros textiles de Estados Unidos e Inglaterra. Para el año 1842 existían en México 59 fábricas textiles, diez años más

tarde había 42, para 1880, 99. En 1900 se localizaban 144 establecimientos textiles distribuidos en las principales zonas manufactureras del país: Región del Centro, Norte y del Golfo (Beato-King, 2010).

Hoy en día y a pesar de que la industria textil fue pionera en el sector industrial de México y de haber presentado importantes períodos de auge, se encuentra en decadencia, por efecto de múltiples factores internos y externos de índole económica, política y tecnológica (Durand, 1986).

Solís-Zapata (2018), utilizó un análisis de la línea de tiempo para el surgimiento, auge y crisis de la industria textil en México, mostrando que diversos factores propiciaron la crisis durante la década de 1980-90, culminando con el cierre de un gran número de factorías de hilados y tejidos. El inicio de la globalización económica, el desplazamiento del algodón por las fibras sintéticas, el reacomodo de la cadena de suministro hacia la industria del vestido y su predominio, aparecen como los principales factores.

De acuerdo con Vera-Muñoz y Vera-Muñoz (2013) y Solís-Zapata (2018) durante los años de 2010-2017, prácticamente culminó la desaparición de la industria textil del vestido (ITV) en México, esto a partir del predominio del diseño de vestuario y de un control desde los países centrales de distribuidores y marcas comerciales, la crisis de las maquiladoras y el cambio de la cadena fibra-textiles-vestido (CFTV) a la cadena global de commodities (plural de la palabra commodity que se utiliza para denominar a los productos, materias primas o mercancías) e indumentaria (CGCI).

La entidad veracruzana fue de gran influencia para la ubicación y desarrollo del sector industrial textil debido, entre otros factores de orden social, económico y político, a sus condiciones geográficas y meteorológicas favorables para el asentamiento de estos conjuntos fabriles y para el cultivo y producción de la materia prima necesaria -el algodón-, requeridos en la manufactura de los productos textiles. Es precisamente la zona central del estado de Veracruz, especialmente en Orizaba y sus alrededores, la más destacada en lograr un primer desarrollo importante de este tipo de establecimientos industriales. Fábricas como la de Río Blanco, Santa Rosa y Cocolapan son algunas de las más reconocidas en la historia de esta industria en el país (Florescano-Mayet, 1990). No obstante, en la ciudad de Xalapa y su región de influencia, menormente reconocido en el acontecer de este sector en México-, también fueron fundadas y operaron varias fábricas textiles que influyeron de manera importante en el crecimiento y desarrollo de distintos sectores regionales, rurales y urbanos como los de Xalapa, capital de la entidad, Coatepec, Xico y Perote, por mencionar los más relevantes (Benítez-Guevara, 1984; Domínguez-Pérez, 1979; García-Morales, 1986; Solís-Zapata, 2018). La Tabla 2 presenta algunas de las características de las fábricas textiles ubicadas en la región central del Estado de Veracruz alrededor del año 1900.

Como se dijo anteriormente, la arquitectura puede considerarse como un testigo silencioso en la historia de la humanidad; guarda en sus hechos edificatorios, acontecimientos, acciones y momentos trascendentales que perduran en el tiempo y sirven como recordatorio material de acontecimientos importantes. La trascendencia de la restauración reside, en gran parte, en la necesidad de mantener presentes acontecimientos pasados relevantes de la humanidad y de la arquitectura; de esta última, los estilos, tendencias, métodos constructivos, etc., que a lo largo del tiempo han perdurado gracias a la conservación y transmisión de generación en generación. De hecho, muchas de las nuevas tecnologías implementadas en la construcción y el diseño están en ocasiones inspiradas o son el resultado de la evolución de las técnicas utilizadas años atrás. Conservar la arquitectura que el hombre ha creado en el pasado sirve también para provocar, en las generaciones actuales y futuras, una conciencia de su historia, a la vez que establece un nexo tangible entre el pasado y el presente, restaura la memoria de la sociedad, crea una conciencia de conservación y vincula a las generaciones

dentro de una comunidad; esto es, se podría considerar a la restauración como un bien social (Solís-Zapata, 2018).

Tabla 2. Fábricas textiles de la región centro del Estado de Veracruz hacia el año de 1900 (Benítez-Guevara, 1984; León-Fuentes, 2009; Solís-Zapata, 2018)

Región	Nombre de la fábrica	Fuerza motriz		Producción de manta		
		Tipo	Potencia (Hp)	Pieza	Término medio m ²	Valor de la producción (\$)
Xalapa	Lucas Martín	Hidráulica y vapor	80	39 192	756 700	58 788.00
	Industrial Jalapeña	Hidráulica	60	21 600	399 492	48 600.00
	La Probidad	Hidráulica	30	18 000	340 200	45 000.00
	San Bruno	Hidráulica	33	14 400	272 160	35 000.00
	La Purísima	Hidráulica	80	60 000	1 128 120	180 000.00
Orizaba	San Lorenzo	Hidráulica	750	-	-	-
		Eléctrica	150	416 000	7 809 984	600 000.00
	Cerritos de San Juan	Hidráulica	325	-	-	-
		Eléctrica	50	300 000	5 632 200	-
	Río Blanco	Hidráulica	1500	-	-	2 000 000
		Vapor	1000	700 000	20 024 348	-
		Eléctrica	1200	-	-	-
	Santa Gertrudis	Eléctrica	750	87 968	7 239 415	615 081.00
	Santa Rosa	Hidráulica	1000	416 000	7 862 400	1 300 000
		Vapor	300	-	-	-
Perote	La Claudina	Vapor	100	22 000	416 262	55 000.00

Para el caso de los edificios industriales abandonados en México, como sucede en diferentes países, son resultado de las etapas que ha experimentado el proceso de industrialización del país, donde muchas plantas han sido cerradas por diversos motivos como la obsolescencia en términos de su localización, tamaño, tecnología o características de su producción, lo que ha generado los llamados hoyos negros en la morfología urbana de las ciudades o espacios edificatorios abandonados en las áreas suburbanas y rurales (Vizzarri, 2020). La desindustrialización en algunos países o la transformación de la estructura urbana ha llevado al desmantelamiento de complejos y plantas industriales dejando enormes estructuras sin uso y abandonadas, sin que en ocasiones, a la vez, se tengan o planteen soluciones sostenibles para su reutilización y valorización (Marocco, 2018; Marrodan-Ciordia, 2025; Vizzarri, 2020). Para el caso de la industria textil localizada en México, especialmente la dedicada al hilado y tejido del algodón, múltiples estudios han dado cuenta de las diferentes etapas de crisis y cierre de fábricas que experimentó esta industria debido a cambios profundos en la tecnología y en relocalizaciones físicas y funcionales del mercado global (Solís-Zapata, 2018). Se tienen a la fecha muchos espacios edificatorios en abandono potencialmente reutilizables mediante restauración o reciclamiento.

Los casos de las ex fábricas San Bruno, Lucas Martín y La Purísima en la región central de Veracruz

Los tres casos de los inmuebles de las ex fábricas de hilados y tejidos que se comentan en este trabajo, se espera ilustren la situación actual de estos espacios, el tratamiento diferenciado al que han estado sujetos y la potencialidad de su reutilización, restauración o reciclaje deberá atenderse al valor de estos inmuebles desde la óptica patrimonial y a las características inherentes a cada caso para su uso o reutilización.

La construcción de las fábricas textiles como El Dique o Industrial Xalapeña, Lucas Martín y San Bruno ubicadas en las cercanías de Xalapa a mediados del siglo XIX, así como la fábrica La Purísima instalada en la congregación Las Puentes, municipio de Coatepec, fueron una de las bases de la formación de asentamientos dispersos en las inmediaciones de Xalapa, constituyéndose en un factor importante en la conformación y expansión urbana de la actual ciudad de Xalapa y su zona conurbada (Villanueva-Olmedo, 2011). Los tres casos aquí abordados son importantes y fueron, en su época de mayor esplendor, elementos determinantes en la fundación y en la identidad, cultura local y ethos histórico de poblados, colonias y barrios tradicionales en la zona.

Ex fábrica de San Bruno

Esta ex fábrica, al igual que las otras más adelante descritas, es muestra de un pasado industrial contextualizado por una época de cambio, en el siglo XIX, en la que la sociedad mexicana abandonó el viejo modelo de producción de la Nueva España (haciendas, trapiches, obrajes y molinos), por el de la mecanización de los procesos en nuevos espacios apropiados para ello: Las fábricas, la creación de una nueva clase social, la obrera, dando origen además, a un reacomodo de este incipiente contexto industrial en el país (Malpica-Quintana, 2014).

De acuerdo con Rojas-Castellanos (2015), la fábrica de San Bruno (antes llamada La Libertad o el Molino) se estableció en los terrenos de la Hacienda Molino de San Roque o Molino de Pedreguera en 1852, en lo que en ese momento era una congregación del Municipio de Xalapa, Ver. La creación de los caseríos en torno a la fábrica de San Bruno, como viviendas para los trabajadores que laboraron en ella, constituyen la forma inicial de lo que se conoce como el barrio de San Bruno y representó una alternativa para el proceso de inmigración laboral. Producía piezas de hilaza, material para la elaboración de cordeles, cordoncillos, pabilo, ceñidores, manta sencilla y doble ancho, telas estampadas, toallas, colchas de algodón, etc.

Según algunos estudiosos de la relevancia histórica y social de la fábrica textil de San Bruno y de sus vestigios arquitectónicos como Domínguez-Pérez (1979), Kuri-Camacho (2021), Malpica-Quintana (2014), Rojas-Castellanos (2015), entre otros, los valores históricos e identitarios, esto es, la parte simbólica valorativa del vestigio material, por parte de muchos vecinos del barrio de San Bruno están, directa o indirectamente, en su origen, en las naves industriales, los talleres, los almacenes, los patios de servicios y aún en la chimenea de la ex fábrica de San Bruno.

Esta es la última fábrica textil que dejó de funcionar en la ciudad de Xalapa, pues cerró en el año de 1991, constituyéndose desde entonces en mudo testigo de múltiples eventos y movimientos sociales, como la represión que sufrieron los ahora llamados Obreros Mártires del 28 de agosto de 1924 y la posterior lucha obrera en la región protagonizada por el Sindicato Emancipador Revolucionario de Obreros de San Bruno (Domínguez-Pérez, 1979).

Kuri-Camacho (2021) considera que el barrio de San Bruno se desdibujó como marco central que daba la fábrica como industria textil en la ciudad, puesto que ésta había fungido como directriz de la organización del espacio del barrio que hoy en día resiente el impacto y disputa por el uso del suelo, fenómeno que se agudizó al perderse, localmente, otros espacios públicos. A la clausura de operaciones de la fábrica, le siguió el desmantelamiento del inmueble por parte de diversos actores, que ante el embargo y abandono de la propiedad, saquearon parte de la fábrica, propiciando una destrucción parcial del edificio histórico parte esencial de la memoria colectiva del Barrio de San Bruno y de la ciudad de Xalapa.

Actualmente los vestigios de la ex-fábrica se encuentran considerablemente deteriorados sujetos usos informales de tipo cultural, deportivo y comercial por parte de diversos grupos sociales y vecinales sin que se conozcan acciones oficiales planificadas tendientes a su rescate y/o reutilización.



Figura 1. Imágenes de la ex-fábrica textil de San Bruno. a) antigua y b) actual. (Fuente: Malpica-Quintana, 2014; Solís-Zapata, 2018)

Ex fábrica de Lucas Martín o La Criolla

Desde su fundación esta fábrica textil conservó el nombre de la hacienda que la ubicó en su seno, Lucas Martín, nombre que fue sustituido en el año de 1913 por el de La Criolla posiblemente para distinguirla de la hacienda. Al igual que otras plantas textiles de la época, la instalación de la fábrica de Lucas Martín se vio favorecida por las ventajas administrativas, económicas, comerciales y políticas debidas al funcionamiento de las haciendas y ésta, en particular, por su cercanía al camino real México-Veracruz y el acceso cercano al ferrocarril, con el tendido de la vía frente a la hacienda; allí se descargaba el algodón, que era procesado en la fábrica, y a su vez, los productos textiles de la factoría eran transportados por este medio a la capital de la república y a otros núcleos de población (Benítez-Guevara, 1984; Velasco-Fuentes, 2020).

La fábrica contaba con diferentes departamentos: De tintorería y blanqueo, de cardas, de batientes, de hilar, de tejer. Los telares y los trociles se encontraban en la planta alta del edificio. Su principal producción fue la hilaza y la manta, aunque para el año de 1900 diversificó su producción al modernizar su maquinaria, fabricando lino, ceñidores, rebozos, manta, rayadillo, granité, telas de cuadritos y con dibujos diversos en el mismo telar.

Además de las edificaciones fabriles contaba con viviendas para los trabajadores. Esto les garantizó la asistencia diaria de la mayoría de los trabajadores en largos horarios y recursos extras puesto que se les rentaban. Las viviendas eran pequeños cuartos donde sólo había cupo para una cama, una estufa y una mesa. El periodo de mayor esplendor de esta fábrica se dio entre 1830 y 1900 (Benítez-Guevara, 1984).

Algunas características generales de la fábrica de hilados y tejidos Lucas Martín se muestran en la Tabla 3 y algunas otras de carácter espacial y arquitectónico en la Tabla 4. Al estar ubicada en lo que fue la hacienda, los edificios de la ex fábrica, así como los de la hacienda misma han sido objeto de diversas intervenciones y acciones de mantenimiento a lo largo de los años, siendo que actualmente la hacienda posee un casco histórico muy bien conservado y sus espacios, así como algunos de los antiguamente destinados a las actividades fabriles son utilizados como apropiados para la realización de eventos sociales y convenciones.



Figura 2. Vista de la fábrica de hilados y tejidos Lucas Martín S.XIX a) antigua b) actual. (Fuente: Colección privada de Fam. Piñero, 2018; Solís-Zapata, 2018)

Ex fábrica La Purísima

La fábrica de hilados y tejidos La Purísima ubicada en la congregación de Las Puentes, municipio de Coatepec, Ver., México, municipio actualmente conurbado a la ciudad de Xalapa, inició en 1882, año cercano al término del periodo de bonanza e inicio del decaimiento de la mayoría de las fábricas xalapeñas debido a problemas derivados de conflictos por el uso del agua y los suministros de la materia prima, el algodón. Fue fundada por Martín Castillo y Cos, xalapeño, militar de ideología conservadora quien llegó a ser Ministro de Asuntos Extranjeros y de Hacienda del fugaz imperio de Maximiliano-de 1865 a 1866 (García-Morales, 1986; Solís-Zapata, 2018).

La Purísima se presume fue la última importante de las fábricas textiles de la zona de Xalapa en ser fundada (Fig. 3), como también lo fue en terminar actividades después de operar por más de cien años. Sus instalaciones fueron construidas específicamente para satisfacer los espacios necesarios para albergar una fábrica de hilados y tejidos, sin la exigencia de un contexto organizacional, administrativo y físico previo, como el de una hacienda, para hacer posible su operación y prosperidad, esto, a diferencia de los 2 ejemplos antes citados. Parece ser que el caso de La Purísima es el resultado de uno de los primeros proyectos, en la región, para la construcción específica de una fábrica textil (Solís-Zapata, 2018).

La Purísima elaboró principalmente manta, hilaza y cordón. Adyacente a un río, el Huehueyapan, utilizó en primera instancia la energía hidráulica y posteriormente, adaptó sus instalaciones y maquinaria para usar vapor y energía eléctrica. En cuanto a la fuerza laboral, al igual que otras factorías de su tiempo empleó a hombres, mujeres y niños; no obstante, el salario que pagaba llegó a ser relativamente mayor en la zona. Esta fábrica también contó con viviendas para sus trabajadores.

Solís-Zapata (2018) apunta que La Purísima, llegó a ser una entidad promotora del desarrollo económico, social y urbano tanto de la comunidad donde se fundó, como de su entorno regional. Para la población que vivió durante los años en que operó fue un símbolo de progreso. Históricamente fue una de las fábricas más destacadas de la región, por ser una referencia en la modernidad de sus procesos de producción. Las técnicas y tecnologías utilizados para el hilado y tejido del algodón en algunos períodos en los que funcionó representaron los avances tecnológicos del momento; implementados primero dentro de la factoría, como el uso de la energía eléctrica o las habilidades técnicas de sus obreros, por citar algunos ejemplos, se trasladaron hacia los núcleos poblacionales cercanos y tuvieron impacto en las comunidades inmediatas.

Los vestigios del conjunto fabril cuentan todavía con componentes elementales que muestran el carácter de una construcción industrial de la época de mayor auge de la industria textil, como lo son: La organización del partido arquitectónico íntimamente relacionado al proceso de hilado y tejido que

se realizaba en aquellos años. Las soluciones arquitectónicas creadas para cubrir las necesidades propias del proceso productivo como los canales hidráulicos para la obtención de la fuerza motriz requerida, los patios centrales de carga y descarga de materiales, bodegas, salones para la manufactura del hilado y del tejido, rampas, circulaciones particulares, etc. Arquitectónicamente hablando, el espacio de la antigua fábrica, aún mantiene algunas características originales importantes que contrastan con la situación actual de la mayoría de los edificios de este tipo en la región, puesto que algunos presentan un mayor deterioro, y otros establecimientos han sido objeto de modificaciones significativas perdiendo sus rasgos espaciales y constructivos, originales, haciendo de La Purísima una de las edificaciones más auténticas en el contexto de las fábricas textiles que existieron en la región de Xalapa (Solís-Zapata, 2018).

El estado actual de los espacios y edificios de La Purísima, muestra un considerable deterioro a causa del abandono por el cese de la producción y cierre de la fábrica en el año de 1992. Las Tablas 3 y 4 muestran algunas características generales, espaciales y arquitectónicas de los vestigios de La Purísima.



Figura 3. Fachada lateral de la Fábrica de hilados y tejidos La Purísima a) antigua b) actual. (Fuente: Folleto informativo Las Puentes, 1936; Solís-Zapata, 2018)

Tabla 3. Características generales de las fábricas de hilados y tejidos Lucas Martín y La Purísima (Benítez-Guevara. 1984; Solís Zapata, 2018)

DATOS GENERALES		
Nombre	Lucas Martín	La Purísima
Giro del inmueble	Fábrica de hilados y tejidos	Fábrica de hilados y tejidos
Ubicación	San Luis de la Paz s/n Fraccionamiento Lucas Martín	Calle Benito Juárez, Col Obrera, Congregación de las Puentes
Localidad	Xalapa	Las Puentes
Municipio	Xalapa	Coatepec
Estado	Veracruz	Veracruz
País	México	México
FECHAS		
Construcción	1841	1882
Inicio de actividades	1842	1882
Cierre de actividades	1924	1992
Otras fechas importantes	1752 se asigna Hacienda 1913 se sustituye nombre "La Criolla"	
PROPIETARIO	Privado	Privado
TIPO DE ACTIVIDAD		
Inicial	Fábrica de hilados y tejidos de algodón	Fábrica de hilados y tejidos de algodón
Actual	Salón de eventos sociales	Sin actividad

DATOS GENERALES		
Nombre	Lucas Martín	La Purísima
Observaciones	Dependió de una institución como lo era una Hacienda para su creación	Fue construida específicamente para ser una fábrica de hilados y tejidos
Antecedentes	Molino de trigo/Hacienda	Siempre funcionó como fábrica de hilados y tejidos
Producción	Lino, ceñidores, rebozos, manta, rayadillo, granité, telas	Manta, hilaza de algodón
Fuerza motriz	Hidráulica y vapor	Hidráulica, vapor y eléctrica
Río/Arroyo adyacente	Río Sedeño	Río Huehueyapan
Trabajadores	Hombres, mujeres y niños	Hombres, mujeres y niños
Salario (\$ aprox.)	0.62/0.50/0.37	1.00/0.75/0.50

Algunos elementos espaciales con significación cultural e histórica de La Purísima y algunos otros de su entorno urbano regional ya reconocidos, recomiendan y apoyan su reutilización en una visión de rescate cultural de conjunto que alimente la identidad regional y nacional. Con base en la premisa de que un inmueble que se pretenda conservar y mantenga vigente la intervención proyectada, requiere se le otorgue un nuevo uso, Solís-Zapata (2018) analizó y planteó alternativas de restauración y reutilización de la antigua fábrica La Purísima.

Tabla 4. Algunas características arquitectónicas de las fábricas de hilados y tejidos Lucas Martín y La Purísima (Benítez-Guevara, 1984; Solís-Zapata, 2018)

	Lucas Martín	La Purísima
IMPLANTACIÓN FÍSICA		
Área construida (m ²)	500 m ² aprox.	-
CONJUNTO EDILICIO		
Morfología	Orden lineal/paralelo	Orden lineal/paralelo
Espacios	Fábrica de hilados, cuarto de máquinas (turbina), bodega, capilla, escuela, casa principal, casa de obreros, almacenes, talleres	Área de hilados, área de tejidos, cuarto de máquinas (turbina), caldera, administración, casa del administrador, cuarto de obreros, jardín
Espacios productivos	Tintorería, y blanqueo, de cardas, de batientes, de hilar, de tejer	Batiente, cardado, estiradores, veloces, urdidor, engomador, telares, bodega
No. de edificaciones	3 núcleos principales	3 núcleos principales
CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS		
Material de muros	Muros de mampostería piedra braza de la región	Muros de mampostería toba riolítica, tabique recocido y piedra bola de río
Dimensiones	0.60 m	0.60 y 0.40 m
Descripción de vanos	Arcos adintelados de piedra y elementos de tabique, jambas de piedra	Vanos abocinados, con refuerzos de carriles metálicos en la parte superior
Ventanas	Jambas de piedra en ventanas, arcos adintelados de piedra	Marcos de estructura metálica, con protecciones del mismo material y cristales
Puertas	Jambas de piedra en puertas	Abocinamiento en algunos elementos, refuerzos de carriles metálicos
Pilares y columnas	Columnas de madera	Columnas metálicas
Estructura de cubierta	Viga principal de madera (gualdra) intermedia sobre las que se apoyan las viguetas de madera a cada 30 y 50 cm	Cercha metálica, doble vertiente apoyada sobre muros de carga

	Lucas Martin	La Purísima
Material	Madera	Hierro forjado
Dimensiones	0.20 x 0.40	-
Luz/claro	4.43	2.5
Cubierta	Bóveda plana o enladrillado, capa de cal arena, y enladrillado como acabado final	Lámina de asbesto
ESTADO ACTUAL	Conservado, con mantenimiento periódico	Abandono desde término de actividades (aprox. 30 años)
Intervenciones	Se intervinieron las edificaciones de producción principal y complementaria. Actualmente se utiliza el edificio de producción principal como salón de eventos sociales	Se pueden observar que se realizaron algunas intervenciones en la estructura de las cubiertas; sin embargo, desde el cierre de la fábrica no ha recibido mantenimiento

Conclusiones

- De acuerdo con lo analizado en este trabajo, la restauración y el reciclaje arquitectónicos promueven, ambos, la sostenibilidad, aunque sean conceptualmente diferentes
- La restauración, en el terreno operativo es dirigida hacia el uso de procedimientos metodológicos, para una interpretación más precisa en términos de valor histórico, cultural o estético. Aunque no aborda directamente un planteamiento de utilización del inmueble restaurado, con el fin de mantener vigente la solución y más allá del aspecto arquitectónico propiciar la restauración social y cultural de su entorno
- El reciclaje arquitectónico, por su parte, plantea incidir directamente sobre el uso, y no tanto sobre el procedimiento metodológico. Si bien las operaciones aplicadas pueden ser de rehabilitación, reforma, reconstrucción y también de restauración, su fin último es la reutilización de la edificación intervenida
- De acuerdo con lo descrito, las fábricas textiles establecidas en el pasado en la región central del Estado de Veracruz, y específicamente en la región de influencia de Xalapa Ver., son ejemplo del papel que este tipo de industrias tuvo en los procesos de desarrollo social, económico y territorial de México
- Los ejemplos reseñados y la descripción general de sus relevancias históricas y culturales, así como de rasgos de sus situaciones edificatorias actuales, muestran el tratamiento diferenciado a que han estado sujetos y la potencialidad de la reutilización de sus vestigios edificatorios mediante intervenciones que estén soportadas en la restauración o el reciclaje, previo a una valoración profunda y completa de estos restos desde la óptica patrimonial, desde las características inherentes a cada caso y de sus alternativas de uso o reutilización

Glosario

Acrónimo o término	Significado
Cercha	Del francés antiguo cerche, hoy cerce, y este del latín vulgar. *circa, del latín <i>circus</i> 'círculo'. Arquitectura. Patrón de contorno curvo, sacado de una tabla, que se aplica de canto en un sillar para labrar en él una superficie cóncava o convexa. Armadura que sostiene la cubierta de un edificio (https://dle.rae.es/cercha?m=form)
CFTV	Cadena fibra-textiles-vestido
CGCI	Cadena global de commodities e indumentaria
CMCPI	Comité Mexicano para la Conservación del Patrimonio Industrial
ODS-11	Objetivo del desarrollo sustentable 11
ITV	Industria textil del vestido (ITV) en México

Reconocimientos

La autora agradece a la Universidad Nacional Autónoma de México, específicamente al personal académico de la Maestría en Restauración del patrimonio arquitectónico, y al ahora CONAHCYT las facilidades y el apoyo otorgado para la realización de la investigación que respaldó la Tesis de Maestría en Arquitectura, de la cual algunas de sus partes soportan el presente trabajo.

Referencias

- Beato-King, R. 2010. La industria textil fabril decimonónica y el patrimonio industrial. Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía “Manuel del Castillo Negrete”. Memorias del 2o Foro Académico 2009. file:///C:/Users/Dra%20Duran/Downloads/publicacionesencrym,+26-laIndustriaTextil.pdf
- Benítez-Guevara, S. 1984. La hacienda Lucas Martín a través de la historia. Tesis Facultad de Historia. Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz, México.
- Calderón-Calderón, B., Ruiz-Valdepeñas, H.P. 2007. El lugar del patrimonio industrial en los procesos de transformación urbana: De la ruina a la explotación de las reliquias fabriles en Valladolid. Eria. (72): 55-73.
- Camarena-Ocampo M. 2001. Jornaleros, tejedores y obreros. Historia social de los trabajadores textiles de San Ángel (1850-1930). Plaza y Valdés Editores, México.
- Chafón-Olmos, C. 1996. Cultura y patrimonio cultural. Cuadernos de Arquitectura y Urbanismo. 2: 11-45.
- Domínguez-Pérez, O. 1979. Un estudio de caso: Los comunistas de San Bruno. Anuario II: 224-252.
- Durand, J. 1986. Auge y crisis: Un modo de vida de la industria textil mexicana. Relaciones. 7(28): 61-84.
- Florescano-Mayet, S. 1990. El tránsito a la manufactura en la región de Orizaba y el surgimiento de su primera fábrica textil: Cocolapan, 1837-1845.
- Galán-Amaro, E.Y. 2010. Estrategias y redes de los empresarios textiles de la Compañía Industrial de Orizaba SA 1889-1930.
- García-Morales, S. 1986. Coatepec: Una visión de su historia 1450-1911. H. Ayuntamiento de Coatepec, Ver., y Comité de Festejos del Centenario.
- Gómez-Carmona, G. 2023. El reciclaje como práctica sostenible en arquitectura. Teks del Sud. 5(1): 47-51.
- Gómez-Galvarriato, A. García-Díaz, B. 1995. La industria textil del valle de Orizaba y sus trabajadores: Fuentes locales para su estudio. América Latina en la Historia Económica. 2(04):59-75.
- Gómez-Vázquez, L. 2016. Reciclaje de edificaciones o recintos Industriales como estrategia sostenible para el desarrollo urbano. Consultado el 11/05/2025 en: [Reciclaje de edificaciones o recintos Industriales como estrategia sostenible para el desarrollo urbano](http://Reciclaje_de_edificaciones_o_recintos_Industriales_como_estrategia_sostenible_para_el_desarrollo_urba)
- Guerra-Fortuna, M.D. Julcahuanca-Vera, J.C. 2024. Reciclaje arquitectónico y vivienda colectiva. Reflexiones para el habitat contemporáneo. Cuadernos del Centro de Estudios en Diseño y Comunicación. Ensayos. (246): 85-100.
- Ibáñez-González, L.A. 2012. La evolución de las fábricas textiles de Puebla en el corredor Atoyac. Boletín de Monumentos Históricos. (25): 37-56.
- Kuri-Camacho J.F.J. 2021. Los jóvenes apropiándose de un espacio: La ex fábrica de San Bruno, Xalapa, Veracruz. Topofilia. (22): 174-184.
- León-Fuentes, N.J. 2005. El agua y la tierra: La conformación económico-social de la región Xalapa-Coatepec: 1838-1882. Tesis Doctoral. Universidad Veracruzana, Xalapa, Veracruz, México.
- Lizama-Silva, G. 2011. Inventario de la fábrica textil La Escoba, Guadalajara, Jalisco, 1901. Relaciones. Estudios de Historia y Sociedad. 32(128): 119-206.
- Malpica-Quintana, A.O. 2014. La ex fábrica textil del barrio de San Bruno: Algunas consideraciones arqueológicas de su importancia como patrimonio histórico industrial de la ciudad de Xalapa. Consultado en: <http://elbarriodesanbrunoenxalapa.blogspot.mx/2014/11/la-ex-fabrica-textil-del-barrio-de-san.html>
- Marocco, M.V. 2018. Recupero delle archeologie industriali: Verifiche di fattibilità economica per un caso studio a Verbania. Polytechnic University of Turin. Consultado en: <https://webthesis.biblio.polito.it/6535/>
- Marrodán-Ciordia, E. 2025. Entre el vacío y la memoria. La arquitectura frente al patrimonio industrial. VAD. Veredes Arquitectura y Divulgación. (13): 74-86.
- Martínez-Monedero, M. 2012. Reciclaje de arquitectura vs. restauración arquitectónica ¿Herramientas contrapuestas? Hábitat y Sociedad. 5: 23-33.
- Mehan, A. 2025. Adaptive reuse as a catalyst for post-2030 urban sustainability: Rethinking industrial heritage beyond the SDGs. Discover Sustainability. 6(1):1-21.
- Novelo-Oppenheim, V. 2005. Herencias culturales desconocidas, el caso del patrimonio industrial mexicano. Cuadernos de Antropología Social. (21): 37-49.
- ONU. 2023. Objetivos de desarrollo sostenible. Objetivo 11: Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles. Consultado el 03/08/2025 en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>
- Peña-Espinosa, S. 2025. Reciclaje de edificios industriales abandonados: un enfoque sostenible y social para dinámicas socioeconómica. Tesis. Fundación Universidad de América, Facultad de Arquitectura, Programa de Arquitectura. Bogotá, Colombia.

-
- Rojas-Castellanos, C. 2015. Identidad, ethos histórico y compromiso. Actores y representaciones en la construcción histórica del barrio de San Bruno en Xalapa, Veracruz. Tesis de Maestría. Facultad de Antropología, Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México.
- Ruiz-Flores, A.P. 2011. Las fábricas textiles en el centro y sur de México de 1835 a 1910. Origen, evolución e influencia europea. Tesis doctoral. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona, UPC. Barcelona, España. 1: 409.
- Šijaković, M., Perić, A. 2018. Symbiotic architecture: Redefinition of recycling design principles. *Frontiers of Architectural Research*. 7(1): 67-79. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.foar.2017.12.002>
- Solís-Zapata, M. 2018. Las fábricas de hilados y tejidos en Veracruz: El caso de la fábrica de hilados y tejidos La Purísima. Propuesta de restauración y nuevo uso. Tesis de Maestría. Programa de Maestría y Doctorado en Arquitectura. Restauración del Patrimonio Arquitectónico. UNAM. Ciudad Universitaria, Ciudad de México.
- Solís-Zapata, M. 2025. La vivienda como alternativa en la restauración, rehabilitación y/o reciclado de edificios antiguos en los centros urbanos e históricos de las ciudades Veracruzanas. Protocolo de investigación. Programa de Doctorado en Arquitectura y Urbanismo. Facultad de Arquitectura. Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver., México.
- Terán-Bonilla, J.A. 2004. Consideraciones que deben tenerse en cuenta para la restauración arquitectónica. *Conserva*. Pp. 101-122.
- Terán-Bonilla, J.A. 2007. Reutilización del patrimonio arquitectónico industrial. *Bitácora Arquitectura*. (17): 18-21.
- Valero-Ramos, E. 2010. Reciclaje de barriadas sociales. Apuesta por una alternativa sostenible. *P + C Proyecto y Ciudad*. 1: 7-18.
- Velasco-Fuentes, M.T. 2020. Actores locales y reforma agraria en el centro de Veracruz. Un análisis sociopolítico, 1915-1941. Tesis de Maestría, Universidad Veracruzana.
- Vera-Muñoz, G. Vera Muñoz, M. 2013. La trayectoria tecnológica de la industria textil mexicana. *Frontera Norte*. 25(50): 155-186.
- Villanueva-Olmedo, M.V. 2011. La expansión urbana de Xalapa en la primera mitad del siglo XX. Apuntes para la historia de su urbanización. *Ulúa Revista de Historia, Sociedad y Cultura*. 17.
- Vizzarri, C. 2020. The refurbishment of abandoned industrial areas with adaptive re-use strategies: analysis of decision making models and design criteria. *J. Urban Env.* 01(01):15 – 28.
- Wadel, G., Avellaneda, J., Cuchí, A. 2010. La sostenibilidad en la arquitectura industrializada: cerrando el ciclo de los materiales. *Informes de la Construcción*. 62(517):37-51.

Evaluación espacial y temporal de la calidad del agua en los sistemas lagunares de Sinaloa, México, de importancia internacional (Ramsar¹⁰)

Spatial and temporal assessment of water quality in the lagoon systems of Sinaloa, Mexico, of international importance (Ramsar¹¹)

Kassandra Meza-Ibarra¹, Mayra Mayté García-Ayala¹, Karina Ramírez¹,
 Blenda Ramírez-Pereda², Jesús Jaime Rochín-Medina¹, Leonel Ernesto
 Amábilis-Sosa^{2*}

¹ TECNM/ITCuliacán, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Av. Juan de Dios Bátiz 310, 80220 Culiacán, Sinaloa, México

²SECIHTI-TECNM/ITCuliacán, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Av. Juan de Dios Bátiz 310, 80220 Culiacán, Sinaloa, México
 Correo-e (e-mail)*: leonel.as@culiacan.tecnm.mx +52 5559099023

*Autor a quien debe dirigirse la correspondencia / Corresponding author

Recibido / Received: Agosto / August 15, 2025

Aceptado / Accepted: Septiembre / September 14, 2025

Publicado / Published: Diciembre 30, 2025 (Número 1, Enero-Junio 2026) / December 30, 2025 (Number 1, January-June 2026)

Resumen

Los sistemas lagunares son reconocidos por su importancia ambiental y servicios ecosistémicos para todas las especies. Algunos poseen ecosistemas de humedales reconocidos como sitios Ramsar. El estado de Sinaloa, en el noroeste de México, posee nueve de esos sitios de importancia internacional. Considerando la hidrología del estado y la intensidad de las actividades primarias que se realizan en las cuencas hidrológicas, la presente investigación se enfoca a evaluar la distribución espacial y temporal de la calidad del agua de los sistemas lagunares-humedales más representativos de Sinaloa. Para ello, se utilizó la base de datos certificada de CONAGUA, con al menos cuatro puntos de muestreo en cada sistema lagunar y con registros de 2012-2022. La base de datos se procesó y analizó en Google Colab, donde también se generaron gráficos espaciales y se calculó la correlación de Pearson. Los resultados muestran que el intercambio de corrientes con el Océano Pacífico favorece niveles altos de oxígeno y oxidación de materia orgánica carbonosa y nitrogenada. En cuanto al fósforo, se detectó una relación de 0.7 con la turbiedad, asociada con la resuspensión de sedimentos y azolvamiento. La salinidad permanece constante, probablemente por efectos hidrodinámicos. Se recomienda incluir más variables ambientales para analizar la acumulación de contaminantes en las desembocaduras antes del intercambio con el Océano Pacífico.

Palabras claves: Sistemas lagunares costeros, sitios Ramsar, distribución de la calidad del agua, bases de datos

Abstract

Lagoon systems are recognized for their environmental importance and for providing ecosystem services to all species. Some have wetland ecosystems recognized as Ramsar sites. The state of Sinaloa, in northwestern Mexico, has nine such sites of international importance. Given the state's hydrology and the intensity of primary activities in the watersheds, this research focuses on evaluating the spatial and temporal distribution of water quality in the most representative lagoon-wetland systems in Sinaloa. To this end, the certified CONAGUA database was used, with at least four sampling points in each lagoon system and records from 2012 to 2022. The database was processed using Google Colab, which was also used to generate spacial graphs and perform Pearson's correlation analysis. The results indicated that water exchanges with the Pacific Ocean allow high levels of dissolved oxygen and, therefore, oxidation of both carbonaceous and nitrogenous organic matter. However, for phosphorus, a 0.7 correlation with turbidity was found,

¹⁰ Ramsar es una ciudad en Irán donde se realizó una reunión mundial para proteger los humedales del planeta Tierra (Navarro-Frómela y Durán-Domínguez-de-Bazúa, 2023)

¹¹ Ramsar is a city in Iran where a world meeting was held to protect the wetlands of planet Earth (Navarro-Frómela and Durán-Domínguez-de-Bazúa, 2023)

which is associated with sediment resuspension and high siltation rates. It was also evident that salinity fluctuations are remarkably constant over time, which may indicate that they are due to hydrodynamic rather than anthropogenic effects. It is recommended that this study be expanded to include variables from other environmental matrices to determine whether pollutants from river basins have accumulated at river mouths before interacting with Pacific Ocean currents.

Keywords: Coastal lagoon systems, Ramsar sites, water quality distribution, databases

Introducción

Los problemas relacionados con la gestión del recurso hídrico han sido declarados los de mayor preocupación por diferentes instancias alrededor del mundo. Desde las últimas décadas, las investigaciones relacionadas con las cuencas hidrológicas han indicado que todos los orígenes, transporte y transformaciones de contaminantes son reflejados en los sistemas lagunares. En efecto, la hidrología señala que las lagunas son cuerpos de agua donde desembocan los ríos y, por ende, los contaminantes que han sido transportados desde la cuenca alta (Alshammari et al., 2021). Las lagunas costeras también se caracterizan por los servicios ecosistémicos hacia el planeta. Se destacan por su hidrología que incluye flujos de agua dulce proveniente de las cuencas hidrológicas y las intrusiones marinas, lo que da lugar a ecosistemas de amplia diversidad y refugio para especies migratorias y las que cambian sus requerimientos salinos en los diferentes estadios de vida, tal es el caso del camarón.

En el estado de Sinaloa, México, se practica de manera intensiva el turismo, la ganadería, acuicultura, minería y, mayoritariamente, la agricultura. En la práctica de todas estas actividades, los contaminantes son descargados hacia los sistemas lagunares lo que pone en riesgo la productividad de esos ecosistemas.

La geografía de Sinaloa, un estado costero de México, conlleva a que existan alrededor de 656 km de litorales con amplia variedad de sistemas estuarinos tales como bahías, deltas y lagunas. Estas últimas cubren una superficie superior a las 220,000 ha (CONAGUA, 2020). Así, se tienen nueve sistemas lagunares distribuidos en todo el estado, donde desembocan las 11 corrientes hidrológicas principales. Nueve de esos sistemas lagunares son de importancia Ramsar y son desembocadura de al menos dos ríos principales.

A pesar de los servicios ecosistémicos de los sistemas lagunares de Sinaloa, el monitoreo de la calidad del agua se ha limitado a la detección de riesgos para el consumo de especies comerciales como el ostión, lo que conlleva a analizar solamente bacterias patógenas y metales pesados. En paralelo a estos parámetros de vigilancia por parte de las instancias gubernamentales, se han realizado trabajos académicos en donde se evalúan los aspectos limnológicos. Ramírez-Zavala et al. (2012), indican que los resultados sobre calidad del agua de los sistemas lagunares, deben manifestar la necesidad de cambiar el concepto de zona de salvaguardia para especies en particular, por zonas de capital económico y servicios ecosistémicos para la prosperidad social.

Algunos estudios se han enfocado a evaluar la eutrofización mediante la relación de nitrógeno y fósforo y el contenido de plaguicidas. Los principales hallazgos de Arellano-Aguilar et al. (2017), indican una acumulación de plaguicidas en las zonas lagunares, con proporcionalidad a la cobertura agrícola de las cuencas hidrológicas de Sinaloa. De manera mayoritaria, se identificaron los plaguicidas organoclorados diazinón, disulfoton, metil-paratión, clorpirifos y mevinfos, en zonas donde las especies de interés se encuentran expuestas.

La investigación de Arellano-Aguilar et al. (2017) señaló la presencia de contaminantes persistentes o recalcitrantes, lo que conlleva a la vigilancia continua de la calidad del agua en zonas de alta importancia ambiental y, además, comercial. Acorde con la relevancia de dicha vigilancia se han tenido avances en el desarrollo tecnológico para evaluar la distribución temporal de la calidad del agua en lagunas estuarinas. Méndez-Barroso et al. (2020) probaron una medición multiparamétrica de bajo

costo para tal efecto. Los parámetros observados *in situ* fueron temperatura, pH, salinidad, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto. El sistema fue evaluado durante tres meses, con pérdidas de precisión del 10%. Toda la información fue recabada en unidades de almacenamiento físico.

Con el más reciente uso de la inteligencia artificial, Medina-Jiménez et al. (2025) exploraron y aplicaron métodos de aprendizaje máquina (ML, machine learning, por sus siglas en inglés) para la estimación de nutrientes en cuerpos superficiales de Sinaloa. Mediante estrategias de ML como la hiperparametrización y normalización de cada modelo evaluado, los autores obtuvieron hasta un 95% de exactitud para predecir nitrógeno y fósforo en sus formas totales, a partir de parámetros de entradas fácilmente cuantificables como pH, temperatura y conductividad eléctrica.

La revisión del estado del arte pone de manifiesto la importancia ambiental de conocer las variaciones en la calidad del agua de los sistemas lagunares, que son sistemas dinámicos tanto en tiempo como en espacio. Además, los desarrollos tecnológicos que contribuyen a dicha observación continua requieren, eventualmente, datos de calidad del agua validados. Dentro de la Red de Monitoreo de Calidad del Agua de (RENAMECA) de la Comisión Nacional del Agua de México (CONAGUA), se han cuantificado diferentes parámetros tales como nutrientes, datos físicos y químicos y materia orgánica en los cuerpos lagunares de todo el estado de Sinaloa. Sin embargo, en los últimos 10 años, no se ha realizado un análisis integral que considere la distribución espacial y temporal del conjunto de parámetros de calidad del agua de los cuerpos lagunares.

El objetivo de la presente investigación es evaluar la distribución espacial y temporal de la calidad del agua de los sistemas lagunares de Sinaloa catalogados como sitio Ramsar, contribuyendo a tener una base científica sobre el deterioro que han tenido los cuerpos de agua y, así, diseñar a futuro políticas públicas acordes con los problemas ambientales para, de ser posible, revertir ese deterioro.

Materiales y métodos

Área de estudio y sitios de muestreo

El área de estudio corresponde a la zona lagunar costera del estado de Sinaloa, al noroeste de México (Figura 1). Sinaloa tiene una extensión territorial de 58,000 km² y toda la parte oeste del estado es costera. La desembocadura de sus 11 corrientes hidrológicas principales, los sistemas lagunares en los que desembocan y la interacción con el Océano Pacífico ha dado lugar, a través de los años de nueve sistemas lagunares de importancia internacional por ser sitios Ramsar. El clima de la región de estudio varía de norte a sur, pero mayoritariamente seco-semi seco hasta cálido subhúmedo Mendivil-García et al. (2020). La temperatura media anual es de 25°C con precipitaciones cercanas a 800 mm. Se establecen las épocas climáticas de lluvias y estiaje, con enero como el mes más frío con mínimas de 10.3°C y junio como el mes más cálido con 37.1°C.

Los complejos lagunares evaluados fueron complejo lagunar Ensenada-Pabellones, complejo San Ignacio-Navachiste-Macapule, sistema lagunar Huizache-Caimanero, sistema lagunar Santa María Topolobampo-Ohuira y Sistema Lagunar Agiabampo. En la Figura 1, se observa que dichos sistemas lagunares abarcan de norte a sur las costas de Sinaloa. Asimismo, se presenta la distribución de los sitios de muestreo. Considerando que son complejos lagunares de grandes dimensiones, en cada uno de ellos se tienen al menos tres sitios de muestreo para garantizar la representatividad de los datos. En total se tuvieron 22 sitios de muestreo distribuidos en los cuatro complejos lagunares, que a la vez son agrupaciones de las nueve lagunas.

Toma de muestras y adquisición de datos de calidad del agua

Los datos de calidad del agua fueron extraídos de la base de datos de CONAGUA conformada por la Red Nacional Mexicana de Calidad del Agua 2012-2022 (RENAMECA). Los muestreos fueron realizados

entre dos y cuatro veces al año. La base de datos considera los nutrientes nitratos, nitrógeno amoniacal, nitrógeno total, ortofosfatos, y los fisicoquímicos temperatura, pH, oxígeno disuelto y sólidos disueltos totales. Al ser datos pertenecientes a la RENAMECA, las determinaciones analíticas fueron realizadas en laboratorios certificados bajo procedimientos de las diferentes Normas Mexicanas (NMX) referenciadas en DOF (2021).

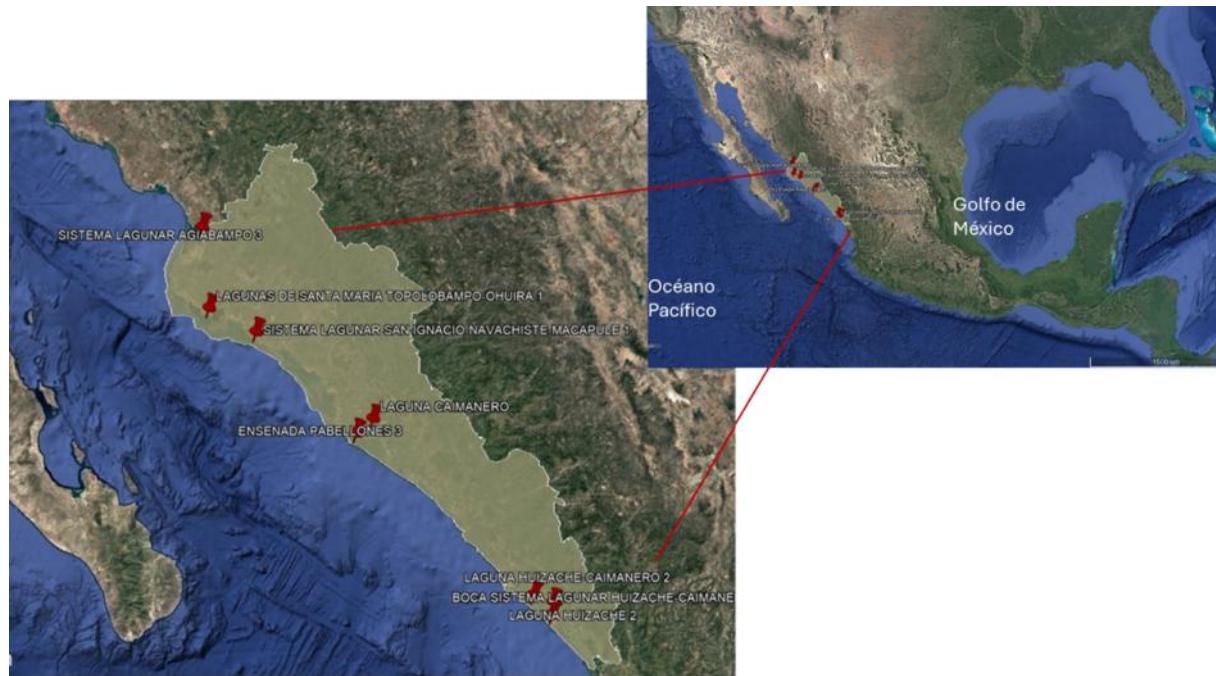


Figura 1. Área de estudio localizada en el noroeste de México, en las costas del estado de Sinaloa

Análisis de la distribución espacio-temporal de la calidad del agua

La base de datos de RENAMECA fue almacenada como un archivo tipo CVS. Así, los datos de la calidad del agua fueron desplegados en COLAB de Google para la selección rápida de la información de interés. Los análisis consistieron en obtener las métricas estadísticas de cada uno de los parámetros de calidad del agua descritos en la subsección anterior, para su despliegue en gráficas de barras por parámetro de calidad del agua, además de considerar la temporalidad de la salinidad. También, se realizó una correlación múltiple de Pearson tomando en consideración todos los parámetros de calidad del agua para elucidar sobre la relación entre variables (Puente-Miranda et al., 2023). Una vez obtenidos los resultados en su representación gráfica, se realizó la discusión estableciendo las variaciones conjuntas de las especies químicas del nitrógeno y del fósforo.

Resultados y discusión

Materia orgánica disuelta

Los valores de carbono orgánico disuelto (COT) oscilaron entre 0.5 para las lagunas de Ensenada Pabellones y 12.3 mg/L para los puntos de Laguna Huizache Caimanero. En todos los casos de la costa lagunar de Sinaloa, se puede considerar como agua no contaminada según lo descrito por Akhtar et al. (2021) (Figura 2). Es importante considerar la amplia variación del COT, lo cual se relaciona tanto por los aportes hidrológicos, como por la productividad del mismo sistema. En este sentido, Ramírez-Zavala et al. (2012) han indicado que los humedales presentes en el norte del estado (relacionados con mayores valores de COT) son altamente productivos en paralelo con su capacidad para depurar la calidad del agua.

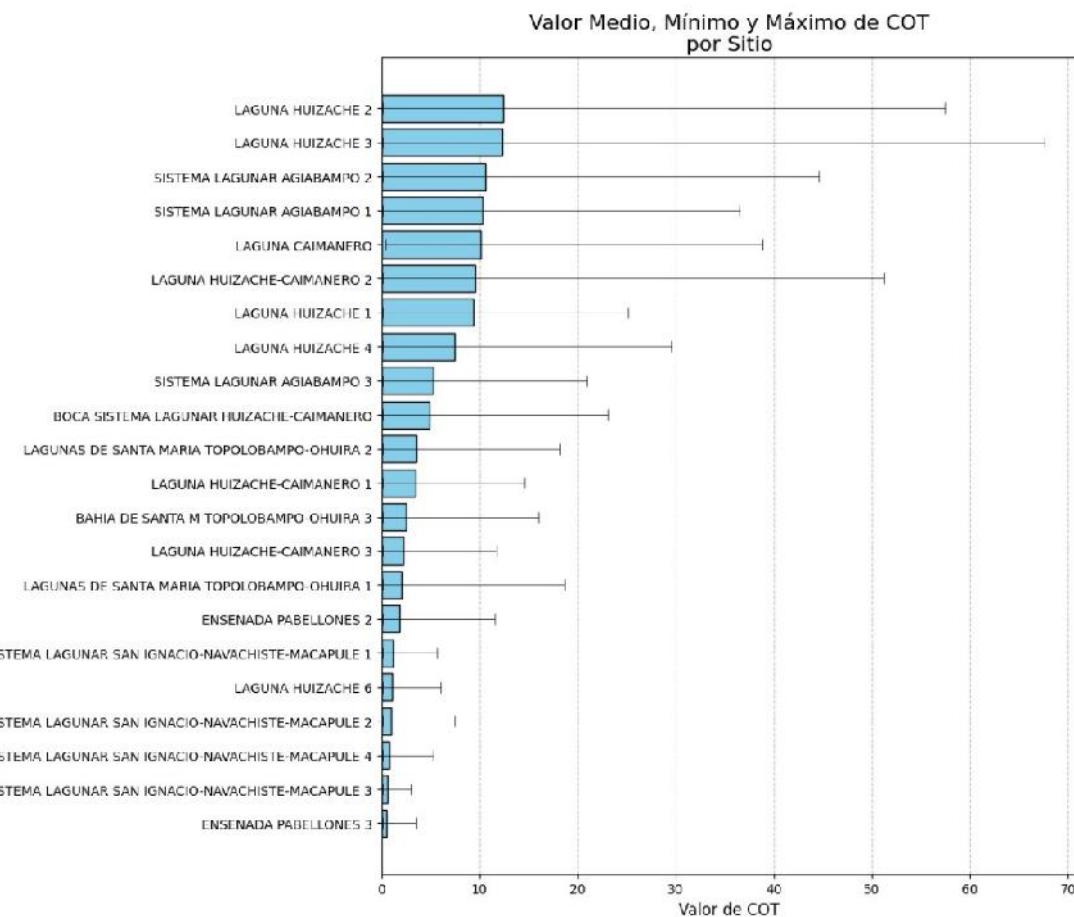


Figura 2. Distribución de materia orgánica, medida como carbono orgánico total (COT), en los sistemas lagunares de la costa de Sinaloa, México

Formas químicas del nitrógeno y fósforo

Las concentraciones de nitrógeno total han variado entre 0.6 y 3.45 mg/L en toda la costa lagunar de Sinaloa (Ver Figura 3). En el sistema lagunar Agiabampo, en la frontera con el estado de Sonora, se presentaron las mayores concentraciones del nutriente y las menores se identificaron en todos los sitios involucrados en el complejo Huizaches-Caimanero. Esta diferencia es mucho más pronunciada en cuanto a los nitratos (N-NO_3), ya que los valores en los sitios de Agiabampo se encuentran entre 0.18-0.85 mg/L, mientras que en el resto de los puntos de muestreo es siempre menor a 0.1 mg/L (Ver Figura 4).

Lo anterior puede relacionarse con las condiciones aerobias constantes en la zona de estudio, debidas a la interacción con las corrientes del Océano Pacífico. Esto sugiere que se están realizando efectivamente las oxidaciones del nitrógeno Kjeldahl para llevarlo hasta nitratos. En efecto, la gran mayoría de los sitios de muestreo de Huizaches Caimanero son los que presentan las mayores concentraciones de nitrógeno orgánico (N_{org}) con valores alrededor de 2.5 mg/L (Figura 5), que es el caso inverso a la concentración de nitratos y de nitrógeno total.

El nitrógeno amoniacal (N-NH_3) sigue un comportamiento similar al nitrógeno orgánico, pero se relaciona más de manera inversa con el nitrógeno total. Mientras que el nitrógeno total de los 10 sitios relacionados con Huizache-Caimanero fueron de menor concentración, la forma amoniacal se encontró en mayores valores para estos sitios (hasta 0.45 mg/L) (Figura 6), lo cual puede estar relacionado con la fuente del nitrógeno orgánico de esa zona. Mendivil-García et al. (2023) reportan

que las lagunas Huizache y la Caimanero son las que reciben las mayores descargas de agroquímicos por la mayor dimensión de superficie agrícola.

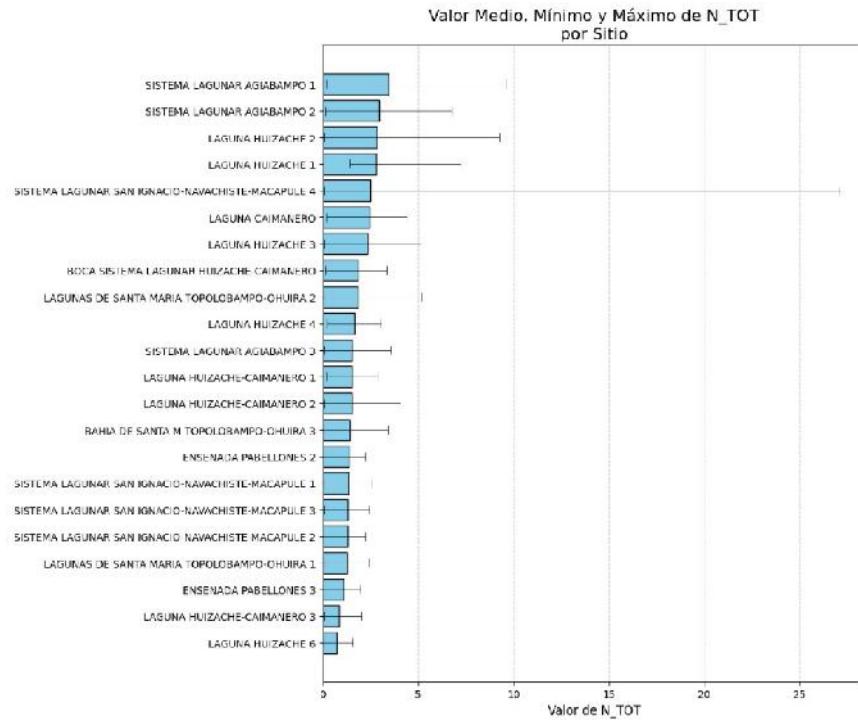


Figura 3. Distribución de nitrógeno total, en los sistemas lagunares de la costa de Sinaloa. Años 2012-2022

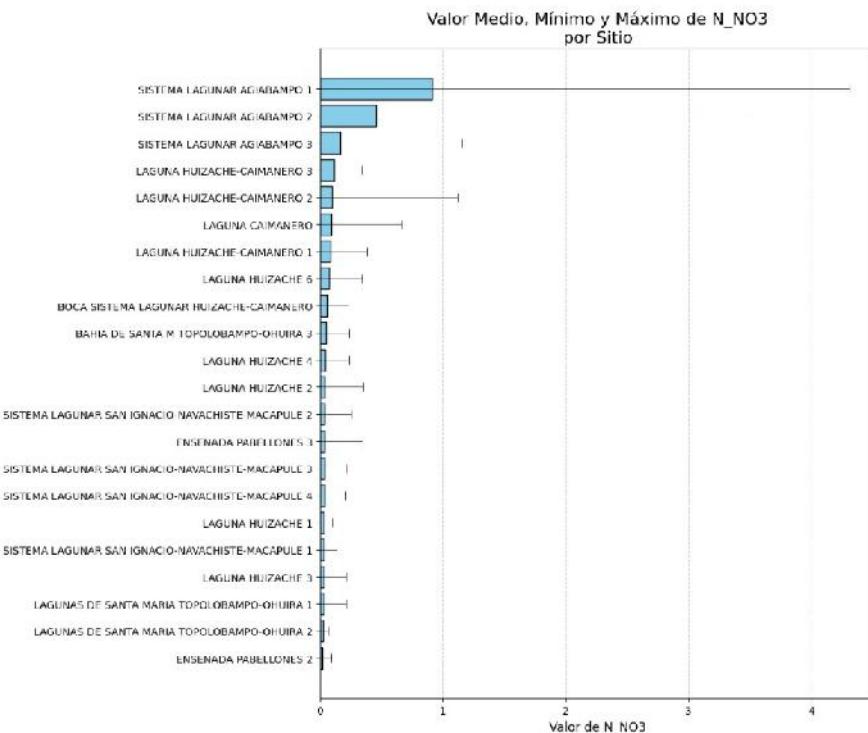


Figura 4. Distribución de nitrógeno de nitratos, en los sistemas lagunares de la costa de Sinaloa. Años 2012-2022

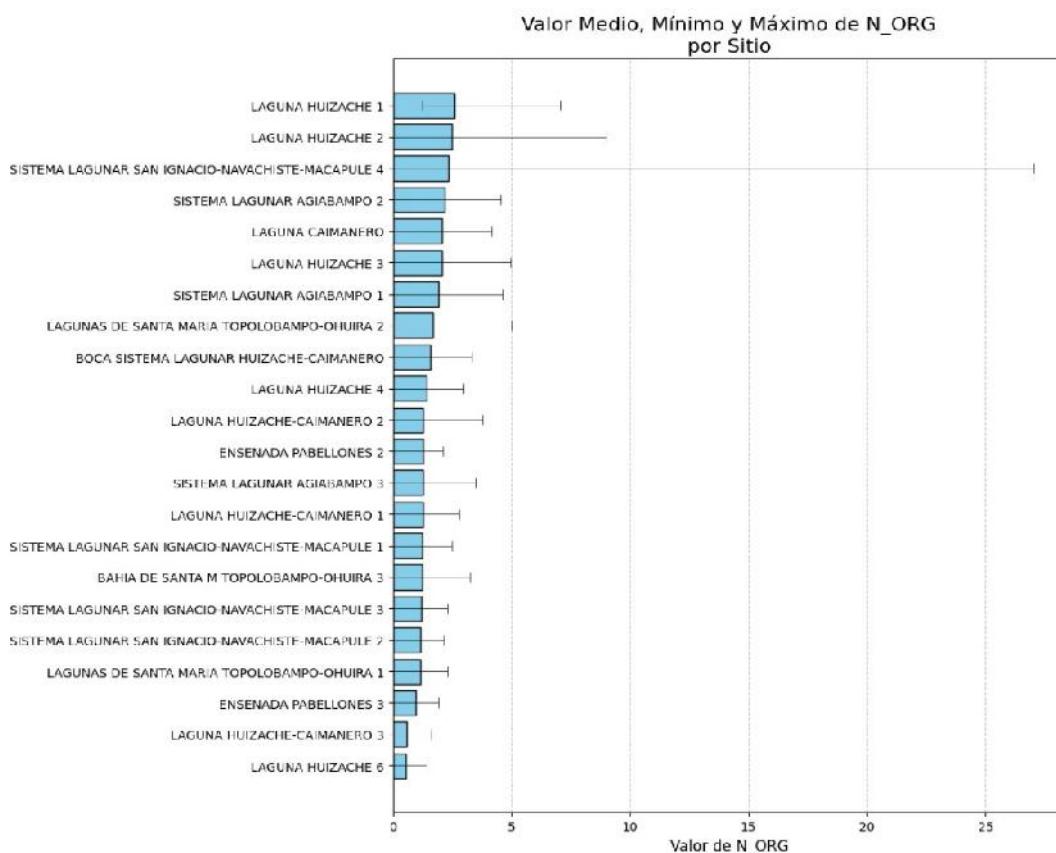


Figura 5. Distribución de nitrógeno orgánico, en los sistemas lagunares de la costa de Sinaloa. Años 2012-2022

El fósforo total (P_{Tot}) presentó valores entre 0.07 y 0.3 mg/L.

La Figura 7 muestra de manera clara que las mayores concentraciones del nutriente se encontraron en los sitios de Huizaches-Caimanero. Esta zona se caracteriza por las predominantes tasas de azolvamiento que ha sido reportadas por Reyes-Velarde et al. (2023). Este azolvamiento no es exclusivo de Huizache-Caimanero, ya que hay zonas como Navachiste caracterizadas por un alto azolvamiento que pone en riesgo los servicios ecosistémicos (Canul-Turriza et al., 2025). En Huizache-Caimanero se han realizado importantes dragados. Así, el fósforo al ser de origen ígneo puede ser resuspendido en la columna del agua y manifestarse en los análisis de calidad del agua en cuerpos lagunares.

Distribución de la salinidad en la zona humedal-costera de Sinaloa, México

En la Figura 8 se muestra la distribución de valores de salinidad a lo largo de toda la zona costera de Sinaloa con importancia Ramsar. Como se puede observar en dicha figura, las oscilaciones son muy constantes y de las mismas proporciones. A pesar de que varían entre 1 y 40 unidades prácticas de salinidad (UPS) (con excepción de 6 puntos extraordinarios en 2014-2015), los patrones se repiten tanto en estacionalidad como en temporalidad. Lo anterior sugiere que es un comportamiento normal de la zona, que se rige por la interacción de las corrientes y fenómenos climáticos (Paez-Osuna et al., 2007).

Correlación múltiple de los parámetros de calidad del agua de la zona de estudio
 A través de la correlación de Pearson (Figura 9), se identificó que la mayoría del nitrógeno total Kjeldhal corresponde a nitrógeno orgánico y no a nitrógeno amoniacal.

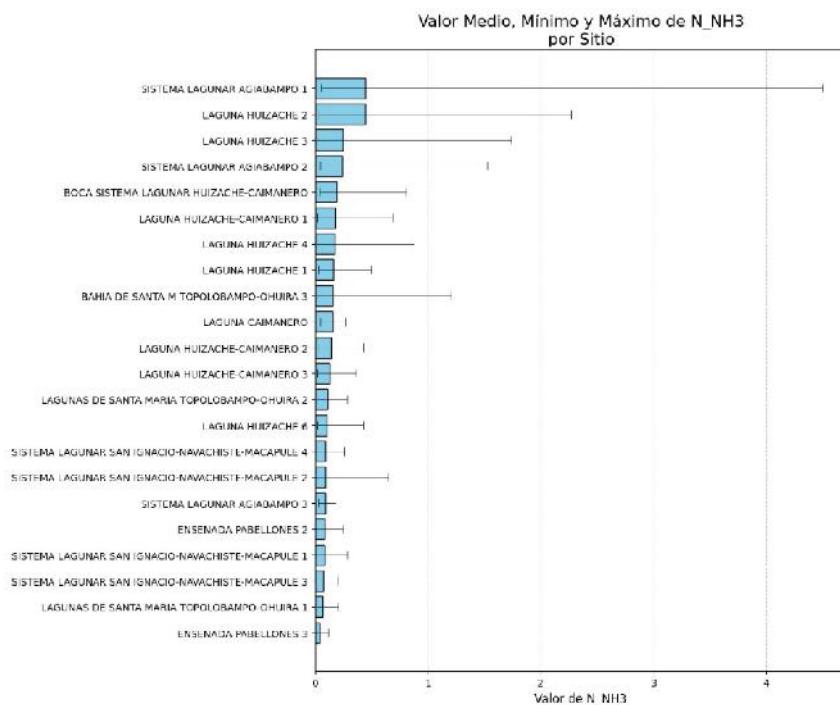


Figura 6. Distribución de nitrógeno amoniacal en los sistemas lagunares de la costa de Sinaloa. Años 2012-2022

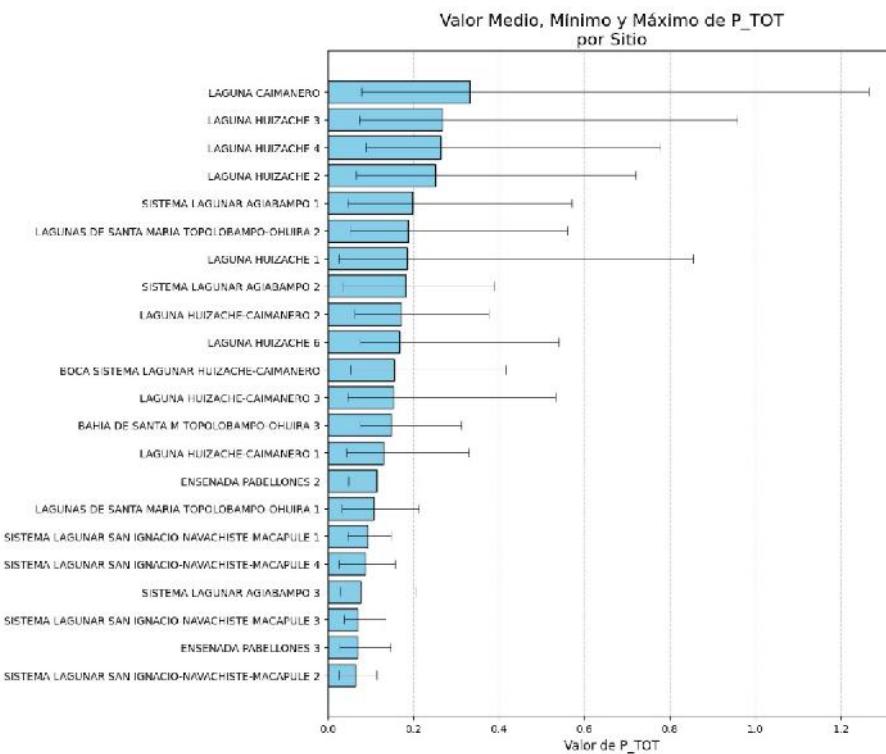


Figura 7. Distribución de fósforo total en los sistemas lagunares de la costa de Sinaloa. Años 2012-2022

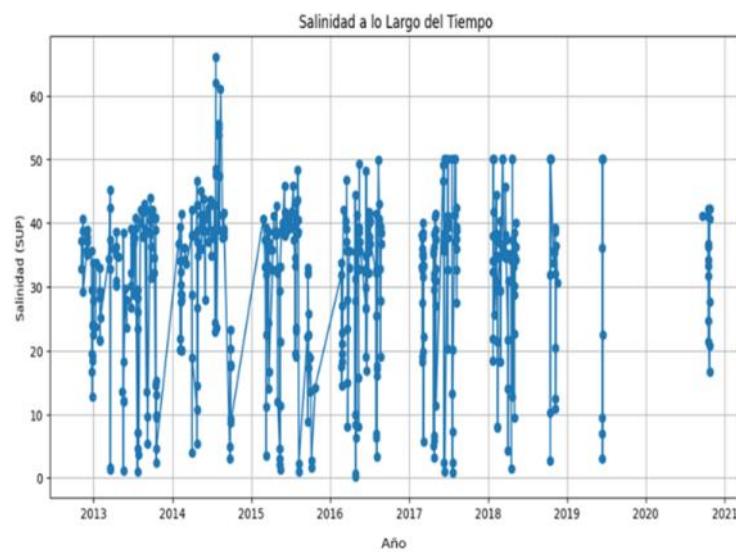


Figura 8. Serie temporal de la salinidad en la zona lagunar-costera de Sinaloa, México

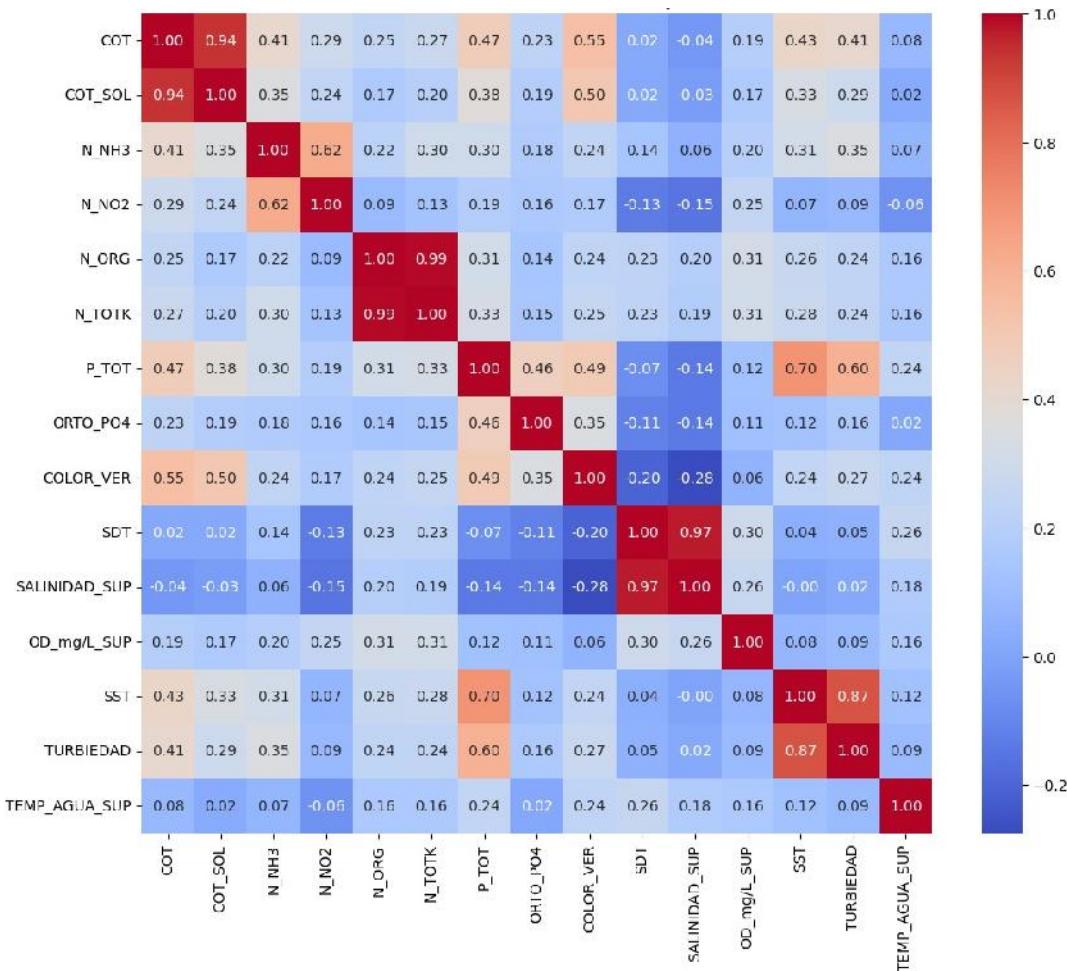


Figura 9. Correlación paramétrica entre las variables de calidad del agua medidas en los complejos lagunares de Sinaloa, México

En el primer caso, la correlación fue superior a 0.9, lo que establece una relación directamente proporcional, mientras que para la segunda el coeficiente de correlación es 0.3. Por su parte, el fósforo total presentó un coeficiente de correlación empleando la suma total de cuadrados (SST, por sus siglas en inglés) de 0.7, lo cual es sumamente alto para sugerir que la mayor cantidad de fósforo presente se encuentra en forma particulada, hecho que se relaciona con la resuspensión de los sedimentos. Además, este fenómeno incrementa la turbiedad en la columna de agua. En efecto, la correlación entre fósforo total y turbiedad fue de 0.6.

En lo que respecta al oxígeno disuelto, no se encontró una correlación relevante con algún otro parámetro de calidad del agua. Se esperaba que, por el clima de la región y variación salina, existiera alguna dependencia con la temperatura y/o con la salinidad. La ausencia de dicha correlación sugiere que los niveles de oxígeno disuelto se encuentran en función de los intercambios de agua con el Océano Pacífico, lo cual provoca aireación mecánica por el movimiento gravitacional de esta enorme masa de agua.

Conclusiones

- La presente investigación permitió conocer la distribución espacial y temporal de la calidad del agua de las principales lagunas de Sinaloa, México
- La geografía del litoral costero de Sinaloa genera una hidrodinámica beneficiosa para el sistema por los intercambios de agua con el enorme cuerpo de agua que es el Océano Pacífico y la oxigenación mecánica que provoca. Así, las buenas condiciones de oxígeno disuelto permiten que se lleven a cabo adecuadamente los procesos aerobios del ciclo del nitrógeno y depuración de materia orgánica disuelta a pesar de las aportaciones agropecuarias a nivel de cuenca hidrológica
- La relación identificada entre fósforo, sólidos suspendidos y turbiedad es un indicador de los niveles de azolvamiento que están experimentando los sistemas lagunares
- Es importante complementar los resultados presentados con estudios enfocados a nivel de sedimento, flora y fauna, debido a que pueden encontrarse afectaciones ambientales que podrían poner en riesgo los servicios ecosistémicos que brindan estos cuerpos de agua.

Glosario

Términos	Significado
CONAGUA	Comisión Nacional del Agua de México
COT	Carbono orgánico total disuelto
ML	Machine learning en inglés
N-NO ₃	Nitrógeno de nitratos
RENAMeca	Red de Monitoreo de Calidad del Agua de México
SECIHTI	Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación de México
SST	Siglas en inglés para la suma total de cuadrados. La Suma Total de Cuadrados (STC o SST) es una medida estadística fundamental que cuantifica la variabilidad total en un conjunto de datos, calculada sumando las diferencias al cuadrado entre cada dato individual y la media general del conjunto, representando la dispersión total con respecto de su promedio y es crucial en el análisis de varianza y regresión para separar la variabilidad explicada por el modelo de la no explicada (error) (https://www.datacamp.com/es/tutorial/regression-sum-of-squares)
TECNM/IT	Siglas para Tecnológico Nacional de México / Instituto Tecnológico, en este caso de la ciudad de Culiacán
UPS	Unidades prácticas de salinidad o psu en inglés son una forma adimensional de medir la salinidad del agua de mar, basada en la conductividad eléctrica de la muestra en relación con una solución estándar de cloruro de potasio (KCl).

Términos	Significado
	Aproximadamente, 1 UPS es equivalente a 1 parte por mil (ppt) o 1 gramo de sal por kilogramo (g/kg) de agua de mar, siendo 35 UPS (o 35 ppt) la salinidad media del océano (Wikipedia, 2025)

Reconocimientos

La investigación forma parte del proyecto de Investigadoras e Investigadores por México 7057, de la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) de México, a cargo de la tercera autora y el autor de correspondencia.

Referencias

- Akhtar, N., Syakir-Ishak, M.I., Bhawani, S. A., Umar, K. 2021. Various natural and anthropogenic factors responsible for water quality degradation: A review. *Water*. 13(19): 2660. <https://doi.org/10.3390/w13192660>
- Alshammari, E., Rahman, A.A., Rainis, R., Seri, N.A., Fuzi, N.F.A. 2023. The impacts of land use changes in urban hydrology, runoff and flooding: A review. *Current Urban Studies*. 11(1): 120-141.
- Arellano-Aguilar, O., Betancourt-Lozano, M., Aguilar-Zárate, G., Ponce-de-León-Hill, C.A. 2017. Agrochemical loading in drains and rivers and its connection with pollution in coastal lagoons of the Mexican Pacific. *Environ. Monit. Assess.* 189: 270. <https://doi.org/10.1007/s10661-017-5981-8>
- Canul-Turriza, R.A., Fernández-Díaz, V.Z., Hinojosa Huerta, O., Jiménez Torres, M., Turriza Mena, R. 2025. Changes in land-cover patterns in the Huizache–Caimanero Coastal Lagoon System from 1990 to 2020. *Journal of Coastal Conservation*. 29(1): 10.
- CONAGUA. 2020. Informe. Comisión Nacional del Agua, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México. https://sigagis.conagua.gob.mx/gas1/Edos_Acuíferos_18/sinaloa/DR_2509.pdf
- DOF. 2021. Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-2021, Que establece los límites permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores propiedad de la nación. SEMARNAT, Ciudad de México, Mexico. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5645374&fecha=11/03/2022#gsc.tab=0
- Medina-Jiménez, J.L., Amabilis-Sosa, L.E., Mendivil-García, K., Morales-Rosales, L.A., Gonzalez-Huitrón, V.A., Rodríguez-Rangel, H. 2025. Application of artificial intelligence for nutrient estimation in surface water bodies of basins with intensive agriculture. *Integrated Environmental Assessment and Management*. 21(2): 335-349. <https://doi.org/10.1093/intteam/vjae034>
- Méndez-Barroso, L.A., Rivas-Márquez, J.A., Sosa-Tinoco, I., Robles-Morúa, A. 2020. Design and implementation of a low-cost multiparameter probe to evaluate the temporal variations of water quality conditions on an estuarine lagoon system. *Environ Monit Assess*. 192: 710. <https://doi.org/10.1007/s10661-020-08677-5>
- Mendivil-García, K., Amabilis-Sosa, L.E., Rodríguez-Mata, A.E., Rangel-Peraza, J.G., Gonzalez-Huitron, V., Cedillo-Herrera, C.I.G. 2020. Assessment of intensive agriculture on water quality in the Culiacan River basin, Sinaloa, Mexico. *Environmental Science and Pollution Research*. 27(23): 28636-28648. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08653-z>
- Mendivil-García, K., Amabilis-Sosa, L.E., Roé-Sosa, Payán-Villalva, M.G. 2023. Preservación del agua en Sinaloa, México, a través del monitoreo instrumentado de la calidad del agua. Estudio de caso: Río Presidio. *Ambiens Techné et Scientia México*. 11(2): 117-129.
- Navarro-Frómela, A.E., Durán-Domínguez-de-Bazúa, M.-d.-C. 2023. Los humedales, un día de celebración y 364 días y un cuarto de trabajo para su rescate, una reseña histórica / Wetlands, one day of celebration and 364 days and a quarter of work for its rescue, a historical review. © ©Pub. RedICA, RACAM. ISBN 978-607-96506-4-3. 1^a edición (Febrero 2) / 1st edition (February 2). Ciudad de México, Puebla, México / Mexico City, Puebla, Mexico. Libro electrónico / e-Book. <https://redica.buap.mx/sites/default/files/2023%20Libro-e%20Hums%20AENF-MdCDDdB.pdf>
- Paez-Osuna, F., Lopez-Aguilar, L.K., Del Rio-Chuljak, A., Ruiz-Fernández, A.C. 2007. Spatial and temporal variation of water quality in the coastal lagoons of Sinaloa. In *AGU Spring Meeting Abstracts 2007*: GS23A-02. <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2007AGUSMGS23A.02P/abstract>
- Puente-Miranda, D.G., Valenzuela-García, I., Alarcón-Herrera, M. 2023. Determinación histórica de índices de calidad del agua en observatorios participativos en el norte de México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 39: 127-137. doi: <https://doi.org/10.20937/RICA.54525>
- Ramírez-Zavala, J.R., Cervantes-Escobar, A., Ramírez-Zavala, J.R. 2012. El ambiente biofísico de marismas nacionales, Sinaloa, y criterios básicos para la gestión de su integridad ecológica. En *Marismas Nacionales Sinaloa: futuro y conservación*. Capítulo 2. Pp. 53-115. Pub. Universidad Autónoma de Sinaloa/Pronatura Noroeste A.C. Culiacán, Sinaloa, México.
- Reyes-Velarde, P.M., Alonso-Rodríguez, R., Domínguez-Jiménez, V.P., Calvario-Martínez, O. 2023. The spatial distribution and seasonal variation of the trophic state TRIX of a coastal lagoon system in the Gulf of California. *Journal of Sea Research*. 193: 102385.

Hoja en blanco / Intentionally blank page

Contribución al estudio químico de *Picramnia antidesma* ssp. *Fessonnia* (caregre¹²)

Contribution to the chemical study of *Picramnia antidesma* ssp. *fessonnia*

María del Rosario Hernández-Medel^{1*}, Rosa Isela Martínez-Lara, Ana Paulina Ortiz-Cisneros, Lilia Mireya Méndez-Ventura

¹Universidad Veracruzana/Instituto de Ciencias Básicas/Laboratorio de Productos Naturales
Universidad Veracruzana/Facultad de Química Farmacéutica Biológica

Dr. Luis Castelazo Ayala s/n, Col. Industrial Áimas C.P. 91190, Xalapa, Veracruz, México.
Número telefónico: (+52) 228 8418932, Extensión 13161 Correo electrónico (email): rmedel@uv.mx

*Autora a quien debe dirigirse la correspondencia / Corresponding author

Recibido / Received: Agosto / August 15, 2025

Aceptado / Accepted: Septiembre / September 14, 2025

Publicado / Published: Diciembre 30, 2025 (Número 1, Enero-Junio 2026) / December 30, 2025 (Number 1, January-June 2026)

Resumen

Del estudio químico realizado al extracto metanólico de la hoja de *Picramnia antidesma* ssp. *fessonnia*, fueron aisladas antronas de aloe-emodina con estructuras novedosas; en el presente trabajo se abordó el estudio químico del extracto de raíz de esta misma especie con el objetivo de aislar los metabolitos secundarios presentes en este material vegetal. Metodología: La raíz se secó y picó en fragmentos pequeños, se colocó en maceración hasta agotamiento, primero con éter etílico y después con metanol. Los extractos se obtuvieron después de filtrar y recuperar cada disolvente por medio de un evaporador rotatorio al vacío. Cada extracto se separó por cromatografía en columna abierta y las fracciones obtenidas fueron observadas y reunidas por cromatografía en capa fina. Las estructuras químicas de los compuestos aislados y purificados fueron dilucidadas por espectroscopía de resonancia magnética nuclear (RMN). Los resultados del análisis espectral de los metabolitos aislados y purificados de la raíz de *P. antidesma* ssp. *fessonnia* condujo a la caracterización de las antraquinonas islandicina, crisofanol y emodina, una antrona de emodina denominada picramniosido E o desoxysarósido, además de -sitosterol, umbeliferona, ácido benzoico y 7-hidroxi-5-metoxifáltido, del extracto de éter etílico; mientras que del extracto metanólico se aisló la antraquinona pulmatina. Se concluyó en esta primera parte del aislamiento de 7-hidroxi-5-metoxifáltido en este género, *Picramnia*, así como de islandicina y pulmatina de la raíz de *P. antidesma* ssp. *fessonnia*. Los extractos de la raíz mostraron una alta toxicidad con el modelo de *Artemia salina*.

Palabras clave: *Picramnia antidesma* ssp. *fessonnia*, antronas, pulmatina, ftalido, citotoxicidad

Abstract

From the chemical study carried out on the methanolic extract the leaf of *Picramnia antidesma* ssp. *fessonnia*, aloe-emodin anthrones with novel structures were isolated. This study addressed the chemical analysis of the root extract of this same species with the aim of isolating the secondary metabolites present in this plant material. Methodology: The root was dried and chopped into small pieces, then macerated until exhausted, first with ethyl ether and then with methanol. The extracts were obtained after filtering and recovering each solvent using a vacuum rotary evaporator. Each extract was separated by open column chromatography, and the fractions obtained were observed and collected by thin-layer chromatography. The chemical structures of the isolated and purified compounds were elucidated by NMR spectroscopy. The results of the spectral analysis of metabolites isolated and purified from the root of *P. antidesma* ssp. *fessonnia* led to the characterization of the anthraquinones islandicin, chrysophanol, emodin, an anthrone of emodin called picramnioside E or desoxysarósido, as well as -sitosterol,

¹² "Caregre" (o caregre) no es una palabra común en español general, sino un término botánico, un árbol/arbusto nativo de Centroamérica (*Picramnia antidesma* subsp. *fessonnia*) conocido por sus frutos rojos que atraen aves, usado en medicina popular y ornamental y cuyo nombre probablemente deriva de lenguas indígenas (Mundo forestal: <https://www.elmundoforestal.com/portfolio/caregre/#:~:text=De%20ah%C3%AD%20que%20el%20caregre,la%20corteza%20es%20muy%20fibrosa>) [Nota de los(as) editores(as)]

umbelliferone, benzoic acid, and 7-hydroxy-5-methoxyphthalide from the ethyl ether extract; while the pulmatin anthraquinone was isolated from the methanolic extract. The conclusions of this part of the research are the following: This is the first report on the isolation of 7-hydroxy-5-methoxyphthalide from the genus *Picramnia*, as well as islandicin and pulmatin from the root of *P. antidesma* ssp. *fessonii*. Root extracts showed high cytotoxicity using the *Artemia salina* model.

Keywords: *Picramnia antidesma* ssp. *fessonii*, antronas, pulmatin, phthalide, citotoxicity

Introducción

El género *Picramnia* se encuentra limitado a los neotrópicos y se localiza desde el extremo sur de Florida y las islas del Caribe hasta Paraguay y el norte de Argentina; este género es el más diverso de la familia *Picramniaceae*, con ciertas confusiones en la clasificación de las especies que lo componen, ya que muchas se han descrito de forma independiente en numerosas ocasiones resultando en especies con diferentes nombres, pero cuya clasificación taxonómica es la misma, de tal manera que se requiere de una evaluación precisa de la sinonimia que existe en este taxón en particular (Thomas, 1988).

Especies de este género poseen una amplia reputación etnomédica como febrífugos, utilizadas para combatir infecciones gástricas, así como sífilis y paludismo (Hernández-Medel y Méndez-Ventura, 2022; Martínez, 1989; Morton, 1981; Standley, 1961). De algunas, se han logrado aislar y elucidar diferentes metabolitos que pudieran estar relacionados con los usos medicinales que se les atribuyen, siendo los más característicos, las antraquinonas, metabolitos que poseen actividades biológicas tales como laxante y antiviral, además de tener propiedades tintóreas.

P. antidesma es una planta empleada en medicina tradicional pues a la corteza se le atribuyen propiedades curativas contra la sífilis. También se ha usado en casos crónicos de erupciones, así como en nefritis crónica, fiebres intermitentes, úlcera de la piel y como antipaludico (Hernández-Medel y Méndez-Ventura, 2022; Martínez, 1989; Morton, 1981; Standley, 1961).

Estudios químicos realizados a *P. antidesma*, tanto de extractos de raíz como de tallo, demostraron la presencia de compuestos antraquinónicos, predominando oxantronas como mayósido y sarósido, y antronas como uveósido y su epímero y los desoximayósido y desoxisarósido, así como una cumarina y un esterol (Hernández-Medel et al., 1998, 1999; Hernández-Medel y Pereda-Miranda, 2002).

De *P. antidesma* ssp. *fessonii*, recolectada en Panamá, solamente se ha reportado el estudio del extracto metanólico de la hoja, de donde aislaron tres antronas de aloe-emodina con estructura novedosa, picramniósidos A, B y C (Solis et al., 1995).

Debido a lo anterior, en el presente estudio se realizó la investigación fitoquímica de los extractos de raíz de *P. antidesma* ssp. *fessonii* recolectada en el centro del estado de Veracruz, con el objetivo principal de conocer los metabolitos secundarios presentes en esta especie. Además, en virtud de que algunos de los compuestos aislados de otras especies de *Picramnia* han mostrado actividad citotóxica (Díaz et al., 2004; Hernández-Medel y Pereda-Miranda, 2002), se realizó la evaluación de la toxicidad de los extractos de *P. antidesma* ssp. *fessonii*, utilizando el bioensayo de *Artemia salina* (McLaughlin, 1991) y el software Table Curve (Jandel Scientific) para la determinación de la toxicidad de dichos extractos.

Materiales y métodos

Obtención y preparación de la muestra

Picramnia antidesma ssp. *fessonii* se colectó en febrero del 2010, en la localidad de Mariano Escobedo, municipio de Coatepec, Veracruz, México. Un ejemplar se depositó en el herbario del Instituto de Investigaciones Biológicas de la Universidad Veracruzana para su clasificación taxonómica

(CIB 9432). La planta recolectada se separó en hoja, tallo, fruto y raíz, obteniéndose 1168 g de raíz fresca. El material vegetal se dejó secar a temperatura ambiente, resultando en 836.1 g de raíz seca.

Purificación de disolventes

Los disolventes utilizados para el presente estudio [hexano (Hx), cloroformo (CHCl_3), éter etílico (EE), acetato de etilo (AE), cloruro de metileno (CH_2Cl_2), acetona ($\text{CO}[\text{CH}_3]_2$), alcohol etílico (EtOH) y metanol (MeOH)], se purificaron por destilación, utilizando columnas de rectificación.

Obtención de los extractos

El proceso de extracción consistió en una maceración exhaustiva de la raíz seca y finamente picada (836.1 g) para una mayor superficie de contacto, inicialmente con EE y, posteriormente, con MeOH . La recuperación del disolvente, por medio de un evaporador rotatorio al vacío (Büchi), produjo 6.4 g de extracto de EE (EEEPafR) y 73.9 g de extracto de MeOH (EMPaF). Los extractos así obtenidos se guardaron en refrigeración a 4°C hasta que se utilizaron para las separaciones por cromatografía.

Cromatografía en capa fina y en columna abierta

Para la separación y purificación de los componentes químicos de los extractos se utilizaron las técnicas de cromatografía, tanto en capa fina (ccf) como en columna abierta (cc), empleando, de forma general, 50 gramos de gel de sílice por gramo de extracto por separar.

Para la ccf se emplearon cromatofolios Merck de 'silica gel' 60 F₂₅₄ (con indicador) y diferentes mezclas de disolventes como eluyentes, además de agentes cromogénicos como luz ultravioleta de onda larga (365 nm) y de onda corta (254 nm), además de KOH alcohólico (5%) y CoCl_2 al 2% en H_2SO_4 al 10% y calor.

Para la cc se utilizó gel de sílice 60 Merck de 0.063-0.200 mm, además de columnas de vidrio de diámetro variable acorde con la cantidad de muestra por separar o purificar. Los puntos de fusión (pf) se determinaron en un equipo Fisher-Johns.

Métodos espectroscópicos de RMN

Para conocer la estructura de los metabolitos aislados se utilizó la espectroscopía de RMN, empleando los espectrómetros Varian Mercury (RMN-¹H 300 y RMN-¹³C 75 MHz) y Agilent Technologies, Modelo DD₂ (500 MHz para RMN-¹H y 125 MHz para RMN-¹³C) del Instituto de Química Aplicada de la Universidad Veracruzana, utilizando cloroformo deuterado (CDCl_3), compuesto deuterado en acetona [$\text{CO}(\text{CD}_3)_2$] y dimetilsulfóxido deuterado (DMSO-d_6), así como tetrametilsilano (TMS) de referencia interna.

Purificación de los extractos (EEEPafR y EMPafR)

Para la separación de los extractos y purificación de los metabolitos secundarios aislados se recurrió a la metodología que se ha empleado en estudios anteriores (Hernández-Medel et al., 1998, 1999; Hernández-Medel y Pereda-Miranda, 2002). La separación del extracto EEEPafR se llevó a cabo mediante diversas cc, utilizando gel de sílice 60 y como eluyentes los disolventes puros y mezclas de estos, en orden de polaridad creciente, de Hx, Hx- CHCl_3 , CHCl_3 , CHCl_3 -AE, AE y, finalmente, MeOH .

Las fracciones obtenidas fueron comparadas, y en su caso reunidas, de acuerdo con las observaciones en ccf. De esta manera se obtuvieron 15 fracciones de 250 mL cada una, las cuales se reagruparon, acorde con la ccf, en 6 concentrados: EE1-2, EE3, EE4-5, EE6, EE7-8 y EE9-15.

La separación del extracto EMPafR se realizó, al igual que el EEEPafR, por varias cc usando, también, gel de sílice 60 y, como eluyentes, CHCl_3 y mezcla de disolventes de polaridades crecientes de CHCl_3 -AE, AE, AE- $\text{CO}(\text{CH}_3)_2$, $\text{CO}(\text{CH}_3)_2$ - MeOH y MeOH . Se recolectaron 50 fracciones de 100 mL cada una, las cuales se reagruparon, de acuerdo con la ccf, en solamente 3 concentrados, EM1-24, EM25-43 y EM44-50.

Evaluación de toxicidad de los extractos mediante el bioensayo de *Artemia salina* L. Los huevos de *A. salina* L. que se utilizaron para esta evaluación fueron de Salt Lake UTA, US, 2007 y se empleó para determinar la posible toxicidad de los extractos por probar. Este experimento se realizó de acuerdo con el procedimiento descrito a continuación sugerido por McLaughlin (1991). Los huevecillos de *A. salina* L. se incubaron en agua de mar artificial (3.8% acorde con la capacidad del recipiente), aproximadamente a 27°C. Despues de 48 horas las larvas obtenidas estaban listas para las evaluaciones y se recogieron con ayuda de pipetas Pasteur para ser contadas. Por otro lado, se pesaron 4 mg del extracto a evaluar y se diluyeron en 4 mL con el disolvente adecuado, se tomaron tres alícuotas de 1000 μ L, tres de 100 μ L, tres de 10 μ L y tres de 1 μ L, colocándose en sus respectivos viales, mismos que se evaporaron a sequedad. Para facilitar la disolución de las muestras se agregó a cada vial 50 μ L de dimetilsulfóxido (DMSO), y se incluyeron además tres viales para controles únicamente con solución salina y DMSO. Para hacer las diluciones correspondientes se utiliza una solución salina que se prepara como el agua de mar artificial ya mencionada. A cada vial se le agregó 1 mL de solución salina y 10 larvas, posteriormente se ajustaron a 5 mL con solución salina quedando concentraciones de 200, 20, 2 y 0.2 μ g/mL, respectivamente. Se dejaron incubar por 24 h. Pasado este tiempo se contó el número de larvas muertas y vivas de cada vial y se calculó el % de mortandad (%M) según la fórmula de Abbot:

$$\%M = (m_e - m_b / 10 - m_b) 100$$

donde: m_e = Larvas muertas en la muestra, y m_b = larvas muertas en el blanco.

La concentración letal 50 (DL₅₀) se determinó mediante el programa de cómputo TableCurve (v 1.0) (Jandel Scientific, 1992).

Resultados y discusión

EEEPafR

Cada uno de los 6 concentrados obtenidos por cc del EEEPafR, EE1-2, EE3, EE4-5, EE6, EE7-8 y EE9-15, se trabajaron nuevamente por cc, dando los resultados que a continuación se describen.

De las fracciones EE1-2 se lograron purificar dos compuestos, el primero, compuesto 1 (2 mg, pf= 157-160°C), mancha morada con rf= 0.53, y el otro, compuesto 2 (49 mg, pf= 196-198°C), mancha roja de rf= 0.44, ambos revelados con KOH y en 9:1 Hx-AE v/v.

El espectro de RMN-¹H del compuesto 1 en CDCl₃, mostró una señal simple en 2.39 (3H); una señal ancha en 7.16; dos dobles de dobles en 7.31 (1H) y 7.89 (1H), con constantes de acoplamiento (J) de 1.1 y 8.4 Hz, y 1.1 y 7.6 Hz, respectivamente; una triple en 7.69 (1H) con J= 7.6 y 8.4 Hz; finalmente, tres simples en 12.58, 12.70 y 13.48. Comparando las señales de este espectro con datos de la literatura consultada (Bezabih et al., 1997; Mishchenko et al., 1980) se puede concluir de que se trata del metabolito conocido como islandicina. Este es el primer reporte del aislamiento de esta antraquinona de esta especie de *Picramnia*.

El espectro de RMN-¹H del compuesto 2 en CDCl₃, muestra, nuevamente, una señal simple en 2.47 (3H) ppm que integra para tres protones; en 7.10 (1H) y 7.61 (1H) ppm dos señales dobles con J= 0.8 Hz; en 7.29 (1H) y 7.82 (1H) ppm dos señales dobles de dobles con J= 8.2 y 1.1 Hz; en 7.66 (1H) ppm una señal triple con J= 8.2 y 7.4 Hz; en 12.00 y 12.08 ppm, se observan dos señales simples. Este espectro se comparó con el obtenido para el crisofanol en estudios anteriores (Hernández-Medel et al., 1998, 1999) de *P. antidesma*, además de realizar una ccf comparativa con una muestra auténtica, resultando ser el mismo metabolito, crisofanol.

De la fracción EE3 no se consiguió aislar ningún metabolito debido a la escasa cantidad de esta muestra.

De la fracción EE4-5, se obtuvo el compuesto 3 (3 mg, $pf= 137-140^{\circ}\text{C}$), $rf= 0.30$, revelando una mancha de color rojo quemado con CoCl_2 y calor, en 8:2 Hx-AE v/v. El espectro de RMN- ^1H de este compuesto en CDCl_3 , muestra las señales características para un esterol entre 0.80-2.00 ppm, una base de un hidroxilo en 3.50 ppm y una señal doble en 5.30 (1H) ppm. Con estos datos espectrales y una ccf comparativa con una muestra auténtica, se puede concluir que este compuesto es el -sitosterol, también aislado de *P. antidesma* (Hernández-Medel et al., 1998, 1999).

De la fracción EE6, se purificó el compuesto 4 (7.5 mg, $pf= 252-255^{\circ}\text{C}$), $rf= 0.60$ en 1:1 Hx-AE v/v, revelando una mancha de color amarillo con luz UV (365 nm) y roja con KOH. El espectro de RMN- ^1H de este compuesto (4) en CDCl_3 muestra, nuevamente, la señal característica de un metilo aromático en 2.45 (3H) ppm; una señal ancha en 3.15, de un protón de hidroxilo; una señal doble en 6.64 (1H), con $J= 2.4$ Hz; en 7.11 (1H) se observa una señal doble ancha con $J= 0.7$ Hz; en 7.22 (1H), una señal doble con $J= 2.4$ Hz; una señal en 7.53 (1H) con $J= 0.7$ Hz; finalmente, en 12.04 y 12.16 ppm se observa la formación de dos señales simples anchas que caracterizan los grupos hidroxilo en las posiciones 1 y 8 de una antraquinona. Estos datos espectrales se compararon con estudios anteriores (Hernández-Medel et al., 1998, 1999), además de una ccf comparativa con una muestra auténtica de emodina, concluyéndose de que se trata de la misma antraquinona.

Con relación a las fracciones EE7-8, se logró el aislamiento del compuesto 5 (11.4 mg, $pf= 167-170^{\circ}\text{C}$), $rf= 0.44$ en 1:1 Hx-AE v/v, mostrando una mancha de color azul con luz UV (365 nm) que se intensificó con KOH. En el espectro de RMN- ^1H de este metabolito, en $\text{CO}(\text{CD}_3)_2$, se observan las siguientes señales: Una ancha en 2.88 ppm, típica de un hidroxilo; otra simple a 3.88 ppm (3H), característica de un metoxilo; en 5.26 ppm (2H) una doble con $J= 0.6$ Hz; en 6.45 ppm (1H) una doble con $J= 1.9$ Hz; finalmente, en 6.66 ppm (1H) una doble de dobles con $J= 1.1$ y 1.9 Hz. El espectro de RMN- ^{13}C , además el DEPT (Distortionless Enhancement by Polarization Transfer), permite observar nueve señales, en 56.41 una señal de metoxilo; en 70.31 ppm, una señal de un metilenoxy; las señales en 100.28 y 101.95, corresponden a metinos, y las señales en 105.75, 151.28, 158.34, 167.72 y 170.90, son debidas a carbonos cuaternarios.

Los datos espectrales de este compuesto comparados con los de la literatura consultada (El-Ferally et al., 1985; Morikawa et al., 2009; Satake et al., 1991) permiten concluir que este compuesto es el 7-hidroxi-5-metoxiftálico. La asignación de los protones y carbonos de esta molécula se muestran en la Tabla 1, y en la Figura 1, se muestra la estructura química de este ftálico. Esta es la primera vez que se aísla este compuesto del género *Picramnia*.

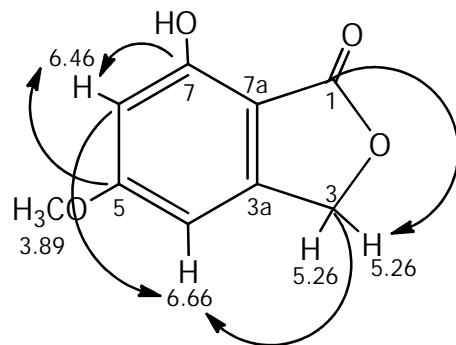


Figura 1. Estructura molecular de 7-hidroxi-5-metoxiftálico, numeración, desplazamiento de RMN- ^1H y correlaciones HMBC de este compuesto (5)

Tabla 1. Datos espectrales de RMN-¹H, COSY¹³, RMN-¹³C, HSQC y HMBC para 7-hidroxi-5-metoxiftálico (5) en CO(CD₃)₂

Posición	c	HSQC (¹³ C- ¹ H)	HMBC (¹³ C- ¹ H)	COSY (¹ H- ¹ H)
1	170.90		5.26	
7a	151.28		5.26	
7	158.34		3.89, 6.46, 6.66	
6	101.95	6.46 (d, 1.9 Hz)	6.66	5.26, 3.89
5	167.72		6.46	
4	100.28	6.66 (dd, 1.9, 1.1 Hz)	5.26, 6.46, 6.66	5.26, 3.89
3a	105.27		5.26, 6.46, 6.66	
3	70.31	5.26 (d, 0.6 Hz)	6.66, 5.26	6.66, 6.46, 3.89
OCH ₃	56.41	3.89 (s)	3.89	6.66, 6.46, 5.26

s: señal simple; d: señal doble; dd: señal doble de dobles

Discusión final

De las fracciones EE9-15, se obtuvo el aislamiento de tres metabolitos, compuestos 6 (2 mg, *pf*= 195-198°C), con *rf*= 0.66 en 6:4 Ac=O-CHCl₃ v/v, revelando una mancha de color azul con luz UV (365 y 254 nm) que se intensificó con KOH; compuesto 7 (3 mg, *pf*= 114-118°C) con *rf*= 0.37 en 8:2 Hx-AE v/v, mostrando una mancha de color café con luz UV (254 nm), y el compuesto 8 (5 mg, *pf*= se descompone a 258°C), con *rf*= 0.30 en 6:4 Ac=O-CHCl₃ v/v revelando una mancha de color amarillo con luz UV (365 nm) y morado con KOH.

El espectro de RMN-¹H del compuesto 6, en CO(CD₃)₂, mostró las siguientes señales: Un par de dobles en 6.16 (1H) y 7.85 (1H) ppm con *J*= 9.6 Hz; una doble en 6.75 (1H) ppm con *J*= 2.5 Hz; una doble de dobles en 6.84 ppm con *J*= 2.5 y 8.4 Hz; y una señal doble en 7.51 ppm con *J*= 8.4 Hz. Los datos espectrales de este metabolito se compararon con los de otro aislado de estudios anteriores (Hernández-Medel et al., 1998, 1999), además de una ccf comparativa con una muestra auténtica, resultando ser la 7-hidroxicumarina o umbeliferona.

El espectro de RMN-¹H del compuesto 7, en CDCl₃, permitió observar señales para protones aromáticos en 8.12 (2H), una doble de dobles con *J*= 1.6 y 8.0 Hz; en 7.62 (1H), una triple de triples con *J*= 1.6 y 7.4 Hz; en 7.48 (2H) una triple con *J*= 7.4 y 8.0 Hz. Los datos espectrales de este metabolito se compararon con los de otro aislado de estudios anteriores (Hernández-Medel et al., 1999; NCBI, 2025; Pretsch et al., 2009), además de una ccf comparativa con una muestra auténtica, resultando ser el ácido benzoico.

El espectro de RMN-¹H del compuesto 8, en CO(CD₃)₂, mostró las siguientes señales: En 1.86 ppm una simple de metilo; en 3.60 ppm, una ancha; en 3.77 y 3.88 ppm, un par de señales complejas; en 4.04 ppm, una doble de dobles con *J*= 2.6 y 9.6 Hz; en 4.30 ppm una ancha; en 4.56 ppm, una doble con *J*= 2.5 Hz; en 5.87 ppm, una simple; en 6.3 ppm una doble con *J*= 2.2 Hz; en 6.45 y 6.65 ppm dos simples anchas; en 6.73 ppm una doble con *J*= 2.2 Hz; entre 7.50 y 7.90 ppm se observaron señales semejantes a las mostradas en el espectro del ácido benzoico (compuesto 7), por lo cual se supuso la presencia de un benzoato; en 12.10 y 12.36 ppm, dos señales simples distintivas de hidroxilos quelatados. La comparación de estos datos espectrales con un compuesto aislado en un estudio anterior (Hernández-Medel y Pereda-Miranda, 2002), además de una ccf comparativa con una muestra auténtica, así como la literatura consultada (Rodríguez-Gamboa et al., 1999) se puede

¹³ Técnicas de RMN: **COSY (Correlación Espectroscópica)** mapea protones acoplados (1H-1H), **RMN-¹³C** identifica los diferentes carbonos, y **HSQC (Correlación de Quantum Simple Heteronuclear)** asocia protones con carbonos directamente unidos, mientras que **HMBC (Conectividad de Enlace Múltiple Heteronuclear)** revela conectividades de protones y carbonos a 2 o 3 enlaces de distancia, crucial para unir fragmentos moleculares y determinar la estructura completa (<https://www.sciencedirect.com/topics/chemistry/1h-13c-hsqc#:~:text=1H%2D13C%20HSQC&text=El%201H%2D13C%20HSQC%20se,mezclas%20complejas%20con%20se%20se%23%20B1ales%20superpuestas.&text=%C2%BFQu%C3%A9%20tan%20C3%20Bati%20es%20esta%20definici%C3%BCn?>)

concluir que este metabolito es una antrona de emodina, el picramniósido E o desoxisarósido, reportada como bioactiva contra líneas celulares derivadas de algunos tipos de cancer (Hernández-Medel y Pereda-Miranda, 2002).

La separación del extracto EMPafR, por cc, produjo solamente 3 concentrados, M1-24, M25-43 y M44-50. Del concentrado M1-24, por diversas cc, se lograron aislar y purificar, crisofanol, emodina y umbeliferona, por comparación con los metabolitos aislados del EEEPafR.

Del concentrado M25-43, también por diversas cc, se logró la identificación de las oxantronas mayósido y sarósido, aisladas de estudios anteriores (Hernández-Medel et al., 1999), además de otro metabolito, compuesto 9 (12 mg, $p_f = 258-260^\circ\text{C}$), con $r_f = 0.31$ en 6:4 $\text{CO}(\text{CD}_3)_2\text{-CHCl}_3$ v/v revelando una mancha de color amarillo con luz UV (365 nm) y anaranjado intenso con KOH. El espectro de RMN- ^1H , en DMSO-d_6 , exhibió las siguientes señales: Una simple aguda en 12.93 ppm, que por su desplazamiento y literatura corresponde a un hidroxilo quelatado; una triple, centrada en 7.73 (1H) ppm con $J = 8.27$ Hz; una doble ancha en 7.69 ppm, $J = 0.80$ Hz; una doble de dobles en 7.64 ppm, con $J = 7.53$ y 1.20 Hz; simple ancha en 7.52 ppm y una doble de dobles centrada en 7.34 ppm, con $J = 8.30$ y 1.20 Hz. Entre 5.16 y 3.00 ppm se observaron señales para un glúcido. En 5.15 ppm se notaron dos señales dobles, $J = 7.85$ y 10.13 Hz; en 5.11 ppm una triple, $J = 4.5$, 4.8 Hz, otra triple en 4.63 ppm, con $J = 11.55$ Hz; una doble de dobles en 3.69 ppm, $J = 1.60$, 5.50, 11.50 Hz; una señal doble de dobles en 3.49 ppm, $J = 5.80$, 11.70 Hz; y una múltiple en 3.43 ppm; se observó una señal colapsada en 3.30 ppm con la señal de humedad del disolvente utilizado y, finalmente, una señal doble de triples en 3.22 ppm, $J = 5.11$ Hz, además de una señal simple aguda en 2.46 ppm que corresponde a un grupo metilo.

El espectro de RMN- ^{13}C , en DMSO-d_6 , mostró 21 señales, de las cuales 15 pertenecen a la estructura de una antraquinona, destacando las señales en 188.11 y 182.57 ppm que corresponden a los carbonilos C-9 y C-10, respectivamente, las señales entre 100.99 y 61.02 ppm, corresponden a un glúcido, posiblemente glucosa, y la señal que se observó en 22.25 ppm corresponde a la señal de un metilo. Los desplazamientos de los carbonos que se muestran en este espectro son muy parecidos a los de crisofanol, lo que hace suponer que se trata de una molécula de crisofanol con una molécula de glucosa en alguno de los hidroxilos de la antraquinona, por la presencia de una única señal a campo bajo, en RMN- ^1H en 12.93 ppm, así como la señal en 158.85 ppm, en RMN- ^{13}C . El espectro HSQC, mostró las correlaciones de los carbonos que soportan los protones y, por lo tanto, los que no tuvieron correlación pertenecen a carbonos cuaternarios. De esta manera, los protones aromáticos en δ 7.73, 7.69, 7.64, 7.52 y 7.34 presentan una correlación con los carbonos en δ 136.62, 121.72, 118.72, 123.14 y 124.73, respectivamente. El protón anomérico de la glucosa, en δ 5.16, así como los protones del metileno en C-6' de la misma, están correlacionados con los carbonos en δ 100.88 y 61.02, respectivamente; el metilo aromático en δ 2.46 corresponde al carbono en δ 22.25. El espectro de correlación heteronuclear HMBC, permite observar las correlaciones del carbonilo C-9, en 188.11 ppm, por ejemplo, con los protones H-2 en 7.52 ppm y H-4 en 7.69 ppm; igualmente, el carbonilo C-10, en 182.57 ppm, con los protones H-4 en 7.69 ppm y H-5 en 7.64 ppm. La posición del glúcido también se puede observar en este espectro, pues el carbono en 161.83 ppm se correlaciona con el OH en 12.93 ppm, con los protones en 7.73 (H-6), 7.64 (H-5) y 7.34 (H-7) ppm, por lo tanto, este carbono corresponde a C-8; mientras que el carbono en 158.85 ppm tiene correlación con los protones en 7.52 (H-2) y 5.16 ppm (H-1'), de esta manera, este carbono es el que está soportando a la molécula de la glucosa, C-1. Con estos datos espectrales se puede concluir que el compuesto 9 es el crisofanol-1-glucósido conocido como pulmatina (Gimenes, 2018), metabolito aislado por primera vez de esta especie de *Picramnia*.

En la Figura 2 se muestra la estructura química de la pulmatina, y en la Tabla 2 se muestran todas las asignaciones de protones y carbonos para la pulmatina (9).

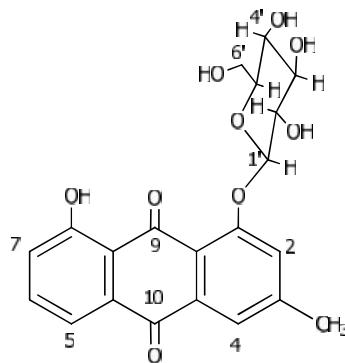


Figura 2. Estructura molecular de pulmatina (9) con su numeración

Tabla 2. Datos espectrales de RMN-¹H, RMN-¹³C, HSQC y HMBC para pulmatina, compuesto 9, en CO(CD₃)₂

Posición	δ_c (ppm)	¹ H/ ¹³ C conectividad (u, ppm)	¹ H/ ¹ H conectividad (u, ppm)	¹ H/ ¹³ C conectividad [Conectividad a enlaces]	Multiplicidad RMN- ¹ H (J en Hz)
C9	188.11			H-2 (7.52) [4], H-4 (7.69) [4]	
C10	182.57			H-4 (7.69) [3], H-5 (7.64) [3]	
C8	161.83			OH (12.93) [2], H6 (7.73) [3], H-5 (7.64) [4], H-7 (7.34) [2]	
C1	158.85			H-2 (7.52) [2], H-1' (5.15) [3]	
C3	147.80			H-2 (7.52) [2], H-11 (2.46) [2]	
C6	136.62	7.73	H-7 (7.34), H-5 (7.64)		dd (7.58, 8.28)
C4a	134.89				
C5a	132.89			H-6 (7.73) [3], H-4 (7.69) [4]	
C7	124.73	7.34	H-6 (7.73), H-5 (7.64)	OH (12.93) [3], H-5 (7.64) [3],	dd (1.2, 8.2)
C2	123.14	7.52	H-4 (7.69)	H-11 (2.46) [3], H-4 (7.69) [3]	s
C4	121.72	7.69	H-2 (7.52), H-11 (2.46)	H-2 (7.52) [3], H-11 (2.46) [3]	q (0.7)
C1a	118.74			H-4 (7.69) [3], H-2 (7.52) [3], H-11 (2.46) [5]	
C5	118.72	7.64	H-7 (7.34), H-6 (7.73)	H-7 (7.34) [3]	dd (1.2, 7.5)
C8a	117.21			OH (12.93) [3], H-7 (7.34) [3], H-5 (7.64) [3]	
C1'	100.88	5.15		H-2' (3.43) [2], OH (5.11) [3]	d (7.9)
C5'	77.73	3.43		OH (5.11) [3], OH (4.63) [3], H-6' (3.49) [2], H-4' (3.22) [2]	m
C3'	77.04	3.30		OH (5.11) [3], H-1' (5.15) [3], H-2'/5' (3.43) [2]/[3], H-4' (3.22) [2]	(3.9, 4.7, 9.5)
C2'	73.78	3.43		OH (5.11) [2], H-1' (5.15) [2], H-3' (3.30) [2]	m
C4'	69.99	3.22		OH (5.11) [2], H-1' (5.15) [4], H-6' (3.69) [3], H-3' (3.30) [2]	dt (9.1, 5.1)
C6'	61.02	3.69 3.49		H-4' (3.22) [3], OH (4.63) [2], H-5' (3.43) [2]	ddd (1.6, 5.5, 11.5)
C11	22.25	2.46		H-4 (7.69) [2], H-2 (7.52) [2]	dd (5.9, 11.8)
OH-8	12.93				s
OH-2' y 4'	5.11 (2)	OH-C2' y OH-4'			s
OH-6'	4.63	OH-C6'			t (4.5, 4.8)
OH-	5.14-5.13				t (5.6, 5.9)

s: señal simple; d: señal doble; dd: señal doble de dobles; t: señal triple; dt: señal doble de triples; q: señal cuádruple; m: señal múltiple

El proceso de purificación del concentrado M44-50

Los resultados de las evaluaciones de toxicidad de los extractos EEEPafR ($DL_{50} = 2.55 \mu\text{g/mL}$) y EMPafR ($DL_{50} = 0.21 \mu\text{g/mL}$) con *A. salina* L., demostraron la alta toxicidad que ambos extractos poseen y la posibilidad de que contengan otros metabolitos secundarios bioactivos, además del compuesto 8, desoxisarósido o picramniósido E, que de acuerdo con la literatura posee actividad citotóxica contra las líneas celulares del carcinoma nasofaríngeo (KB) y carcinoma de células escamosas del cuello uterino (SQC-1) (Hernández-Medel y Pereda-Miranda, 2002). Por otra parte, se conoce que muchos de los ftálicos naturales presentan diferentes actividades biológicas, incluyendo efectos antibacterianos, antifúngicos, insecticidas, citotóxicos y antiinflamatorios, entre muchos otros (Wei et al., 2022), lo que también puede estar contribuyendo al uso tradicional que les atribuyen a especies de *Picramnia*.

Conclusiones

El estudio químico de los extractos de raíz de *P. antidesma* ssp *fessonia*, permitió el aislamiento de las antraquinonas islandicina (1), crisofanol (2), emodina (4) y pulmatina (9), de la antrona de emodina picramniósido E o desoxisarósido (8), del esterol conocido como -sitosterol (3), de la cumarina umbeliferona (6), de ácido benzoico (7) y de 7-hidroxi-5-metoxifthalido (5). Este es el primer reporte de la presencia de islandicina y pulmatina en esta especie, y de 7-hidroxi-5-metoxifthalido, en el género *Picramnia*.

La elevada toxicidad que mostraron los extractos de éter etílico y de metanol de la raíz de esta especie, permite suponer la presencia de otros compuestos bioactivos, además de la antrona picramniósido E, metabolito que tiene actividad citotóxica contra líneas celulares derivadas de cánceres humanos.

Glosario

Término	Significado
AE	Acrónimo para acetato de etilo
Artemia salina	 <p>La artemia salina es un pequeño crustáceo de más de dos centímetros de longitud. Tiene como preferencia un hábitat de salinidad alta, pero fisiológicamente se adapta a medios de menor salinidad con facilidad. La artemia posee el mejor sistema de osmorregulación que existe en el reino animal, para mantener la composición del líquido corporal constante (9 g/L de salinidad) en un medio extremo (Fotografía cortesía de Proaqua México: https://proaqua.mx/blog-y-noticias/importancia-de-la-artemia-viva-para-el-crecimiento-de-peces-y-camarones-en-granjas-acuáticas-laboratorios-y-acuarios/#:~:text=La%20artemia%20salina%20es%20un%20peque%C3%B1o%20crust%C3%A1neo,permite%20reducir%20la%20frecuencia%20de%20los%20recambios)</p>

Término	Significado
Caregre	
	Arbusto que puede llegar a alcanzar hasta 5 metros de altura. Originario de América (Méjico a Colombia). Sus frutos son ingeridos por aves y son tan vistosos que el arbusto se usa de manera ornamental en setos. Son medicinales y ayudan a la restauración de ecosistemas y se usan como colorantes naturales. Su nombre varía de país a país. En Méjico se conoce como chilitecuáhuitl o chilillo (Foto cortesía de Mundo Forestal de Costa Rica)
cc	Técnica de cromatografía en columna abierta
ccf	Técnica de cromatografía en capa fina (https://www.youtube.com/watch?v=jEhen_tC_zg)
Seis concentrados: EE1-2, EE3, EE4-5, EE6, EE7-8 y EE9-15	
CDCl ₃	Cloroformo deuterado (RMN)
CHCl ₃	Cloroformo
CH ₂ Cl ₂	Cloruro de metileno
CO(CD ₃) ₂	Compuesto deuterado en acetona (RMN)
CO[CH ₃] ₂	Acetona
DEPT	Distortionless Enhancement by Polarization Transfer en inglés
DMSO	Dimetilsulfóxido (Toxicidad con <i>Artemia salina</i> L.)
DMSO-d ₆	Dimetilsulfóxido deuterado (RMN)
EE	Acrónimo para éter etílico
EEEPafR	Extracto de <i>Picramnia antidesma</i> ssp. <i>fessonia</i> en éter etílico
EMPafR	Extracto de <i>Picramnia antidesma</i> ssp. <i>fessonia</i> en metanol
Equipo	Es un aparato de laboratorio para determinar el punto de fusión de sustancias sólidas, que funciona calentando una platina de aluminio donde la muestra se coloca entre dos cubre-objetos de vidrio, permitiendo la observación de la fusión a través de una lupa y una iluminación, controlando la temperatura para medir con precisión cuándo empieza y termina la fusión. Es ideal para control de calidad e investigación, analizando muestras cristalinas con un rango de temperatura amplio (20 a 300°C)
Fisher Johns	
EtOH	Alcohol etílico
Hx	Acrónimo para hexano
MeOH	Metanol
PafR	<i>Picramnia antidesma</i> ssp. <i>fessonia</i>
Pf	Puntos de fusión
RMN	Espectroscopía de resonancia magnética nuclear
TMS	Tetrametilsilano de referencia interna (RMN)

Reconocimientos

Las autoras reconocen el apoyo institucional de su universidad. Asimismo, reconocen los valiosos comentarios de los revisores de esta contribución.

Referencias

- Bezabih, M., Motlhagodi, S., Abegaz, B.M. 1997. Isofuranonaphthoquinones and phenolic and knipholone derivatives from the roots of *Bulbine capitata*. *Phytochemistry*. 46(6): 1063-1067.
- Diaz, F., Chai, H.-B., Mi, Q., Su, B.-N., Vigo, J.S., Graham, J.G., Cabieses, F., Farnsworth, N.R., Cordell, G.A., Pezzuto, J.M., Swanson, S.M., Kinghorn, A.D. 2004. Anthrone and oxanthrone C-Glycosides from *Picramnia latifolia* Collected in Peru. *Journal of Natural Products*. 67: 352-356. doi.org/10.1021/np030479j
- El-Feraly, F.S., Cheatham, S.F., McChesney, J.D. 1985. Total synthesis of notholaenic acid. *Journal of Natural Products*. 48(2): 293-298.
- Gimenes, L. 2018. *Picramnia glazioviana* and *Picramnia bahiensis* as sources for new natural products. Insecticidal and fungicidal evaluations and High-Resolution Bioassay/HPLC-HRMS-SPE/NMR studies. Tesis de Doctorado. Universidade Federal de São Carlos, Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, Departamento de Química Programa de Pós-Graduação em Química. São Carlos, Brasil.
- Hernández-Medel, M.R., García-Salmones, I., Santillan, R., Trigos, A. 1998. An anthrone from *Picramnia antidesma*. *Phytochemistry*. 49(8): 2599-2601.
- Hernández-Medel, M.R., Méndez-Ventura, L.M. 2022. *Picramnia*, genus with therapeutic potential. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*. 5(2): 1634-1640. En línea. ISSN: 2595-573X, DOI: 10.34188/bjaer5n2-016. <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJAER/article/view/46478>
- Hernández-Medel, M.R., Pereda-Miranda, R. 2002. Cytotoxic anthraquinone derivatives from *Picramnia antidesma*. *Planta Medica*. 68(6): 556-558.
- Hernández-Medel, M.R., Ramírez-Corzas, C.O., Rivera Dominguez, M.N., Ramírez-Mendez, J., Santillan, R., Rojas-Lima, S. 1999. Diastereomeric C-glycosyloxanthrones from *Picramnia antidesma*. *Phytochemistry*. 50: 1379-1383.
- Jandel Scientific. 1992. Table Curve Version 1 for Windows. Jandel Scientific, San Rafael, CA, U.S.
- Martínez, M. 1989. Las plantas Medicinales de México. Ed. Botas. Pp. 63-64. México, D.F. México.
- McLaughlin, J.L. 1991. Crown Gall Tumours on Potato Disc and Brine Shrimp Lethality: Two Simple Bioassays for Higher Plant Screening and Fractionation. En *Methods in Plant Biochemistry*. Hostettmann, K., ed. Academic Press Ltd. Vol. 6. Pp. 1-32. London, U.K.
- Mishchenko, N.P., Stepanenko, L.S., Krivoshchekova, O.E., Maksimov, O.B. 1980. Anthraquinones of the lichen *Asahinea chrysanthia*. *Chemistry of Natural Compounds*. 16(2): 117-121.
- Morikawa, T.; Wang, L.-B.; Nakamura, S.; Ninomiya, K.; Yokoyama, E.; Matsuda, H.; Muraoka, O.; Wu, L.-J.; Yoshikawa, M. 2009. Medicinal Flowers. XXX.¹⁾ Eight New Glycosides, Everlastosides F-M, from the Flowers of *Helichrysum arenarium*. *Chemical and Pharmaceutical Bulletin*. 57: 853-859.
- Morton, J.F. 1981. *Atlas of Medicinal Plants of Middle America-Bahamas to Yucatan*. Charles Thomas Publisher. Pp. 386-389. Springfield, Illinois, U.S.
- NCBI. 2025. PubChem Compound Summary for CID 243, Benzoic Acid. National Center for Biotechnology Information. Recuperado August 5, 2025 de <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Benzoic-Acid>
- Pretzsch, E., Bühlmann, P., Badertscher, M. 2009. *Structure Determination of Organic Compounds. Tables of Spectral Data*. Ed. Springer. Pp. 131, 179. Berlin, Heidelberg.
- Rodríguez-Gamboa, T., Fernandes, J.B., Rodrigues Fo, E., Da Silva, M.F., Vieira, P.C., Castro, O. 1999. Two anthrones and one oxanthrone from *Picramnia teapensis*. *Phytochemistry*. 51: 583-586.
- Satake, T., Co kun, M., Hori, K., Yasuhisa, A., Mekin, T. 1991. An acetophenone and three naphthalides from Turkish *Rhamnus libanoticus*. *Phytochemistry*. 30(12): 4191-4192.
- Solis, P.N., Gutierrez-Ravelo, A., Gonzalez, A.G., Gupta, M.P., Phillipson, J.D. 1995. Bioactive anthraquinone glycosides from *Picramnia antidesma* ssp. *fessonii*. *Phytochemistry*. 38(2): 477-480.
- Standley, P.C. 1961. *Trees and Shrubs of Mexico*. Smithsonian Institution. Pp. 541-542. Washington, U.S.
- Thomas, W.W. 1988. A conspectus of Mexican and Central American *Picramnia* (Simaroubaceae). *Brittonia*. 40:89-105.
- Wei, X., Zeng, Y., Sun, Ch., Meng, F., Wang, Y. 2022. Recent advances in natural phthalides: Distribution, chemistry, and biological activities. *Fitoterapia*. 160:105223. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2022.105223>

Hoja en blanco / *Intentionally blank page*

Instructivo para autores(as)¹⁴

La revista *Ambiens Techné et Scientia México* es una revista científico-tecnológica bianual editada por la Red para Análisis de la Calidad Ambiental en México y la Red Internacional de Ciencias Ambientales. El contenido de los artículos es responsabilidad exclusiva de los autores y no refleja el punto de vista de las entidades que la publican.

La revista *Ambiens Techné et Scientia México* podrá aceptar para su publicación los siguientes tipos de manuscritos:

- a) Investigación y desarrollo. Se presentan aportaciones de estudios experimentales y/o teóricos de investigación básica y/o aplicada o de desarrollo humanístico o tecnológico. Su objeto será difundir los avances de las ciencias y las tecnologías derivadas así como aquellas que protejan al ambiente, de tal forma que resulten de interés para los profesionales de la ciencia, la tecnología y las humanidades teniendo como referente a la protección del ambiente (ciencias y tecnologías verdes)
- b) Artículos técnicos. Deben abordar temas de interés práctico para investigadores de las ciencias y las ingenierías y tecnologías, así como para investigadores de las humanidades y las ciencias sociales, educativas y de la salud tales como procedimientos de cálculo, criterios de selección de equipo, predicción de propiedades, técnicas de simulación y optimización u optimización de procesos, instrumentación y control, etc.
- c) Actualización profesional y educación. Presentarán los aspectos fundamentales de la enseñanza en la ingeniería y las tecnologías, así como para las ciencias exactas, naturales y humanísticas y de todos los ámbitos del conocimiento humano, de forma clara y accesible. Su propósito será mantener actualizados, a los profesionales, académicos y estudiantes, proporcionando material didáctico útil.

Los manuscritos deberán ser **inéditos y contener material original** para los y las lectores(as). Los autores serán los únicos responsables del contenido de sus trabajos. Si son aceptados para su publicación en la revista, los autores ceden de manera automática sus derechos autorales a la revista para facilitar su publicación en formatos físicos y/o electrónicos, incluido *Internet*. Una versión electrónica ya sea en español o en inglés deberá ser enviada a:

Marisela Bernal-González, Directora de la revista (Editora-en-Jefe), UNAM, Facultad de Química
 Beatriz Espinosa-Aquino, Directora adjunta de la revista (Editora-en-Jefe adjunta), BUAP, Instituto de Ciencias
 Rolando Salvador García-Gómez, Director administrativo de la revista (Editor técnico), UNAM, Facultad de Química
 Samuel Mendoza-Pérez, Director administrativo adjunto (Editor técnico adjunto), UNAM, Facultad de Química

Consejo Editorial de la Revista *Ambiens Techné et Scientia México*
 UNAM, Facultad de Química
 Facultad de Química de la UNAM

Authors instructions¹⁵

The journal Ambiens Techné et Scientia México is a biannual scientific-technological journal edited by the Red para Análisis de la Calidad Ambiental en México (Network for the Analysis of Environmental Quality in Mexico) and the Red Internacional de Ciencias Ambientales (International Network of Environmental Sciences). The content of the articles is the sole responsibility of the author(s) and does not reflect the point of view of the entities that publish it.

The journal Ambiens Techné et Scientia México can accept for publication the following type of contributions:

- a) Research, investigation and development. They present contributions from experimental and/or theoretical studies of basic and/or applied research or humanistic or technological development. Their objective is the dissemination of the advances in science and derived technologies as well as those related to environmental protection, in such a way that they are of interest to scholars in the fields of science, technology and humanities with reference to environmental protection(green sciences and technologies)*
- b) Technical articles. They address topics of practical interest to scientists, to engineers, to researchers in the humanities and the social, educational, and health sciences, such as calculation procedures, equipment selection criteria, property prediction, simulation techniques and process optimization or optimization, instrumentation and control, etc.*
- c) Professional updating and education. Contributions will include the fundamental aspects of teaching in engineering and technologies, as well as for the exact, natural and humanistic sciences and all areas of human knowledge, in a clear and accessible way. Its purpose will be to keep professionals, academics, and students updated, providing useful didactic material.*

Manuscripts should be unpublished and contain original material for readers. The author(s) are solely responsible for the content of their work. If accepted for publications in the journal, the author(s) automatically assign their copyrights to the journal to facilitate publication in physical and/or electronic formats, including the Internet. An electronic version in either Spanish or English should be sent to:

*Marisela Bernal-González, Director of the Journal (Editor-in-Chief), UNAM, Facultad de Química
 Beatriz Espinosa-Aquino, Adjunct Director of the Journal (Adjunct Editor-in-Chief), BUAP, Instituto de Ciencias
 Rolando Salvador García-Gómez, Administrative Director of the Journal (Technical Editor), UNAM, Facultad de Química
 Samuel Mendoza-Pérez, Adjunct Technical Director of the Journal (Adjunct Technical Editor), UNAM, Facultad de Química*

*Editorial Council of the Journal Ambiens Techné et Scientia México
 UNAM, Facultad de Química*

¹⁴ Los artículos han sido arbitrados por pares -modalidad doble ciego- y reflejan opiniones de la exclusiva responsabilidad del(a) o de los(as) autores(as). Queda prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización

¹⁵ The articles were peer-reviewed in the double-blind modality and their content is the exclusive responsibility of the author(s). The total or partial reproduction of the contents and images of the publication without prior authorization is prohibited

Círculo de la Investigación Científica s/n, Cd. Universitaria
04510 Ciudad de México.
Red para Análisis de la Calidad Ambiental en México
Correos-e: marisela_ernal2000@yahoo.com.mx,
marisela_ernal2000@quimica.unam.mx,
bett_espinosa@hotmail.com, rolandoga2000_a@yahoo.com,
rolandogarciajgomez@quimica.unam.mx,
samuel@comunidad.unam.mx

Cada manuscrito tendrá un número de archivo. Una vez aceptado, el(s) autor(es) deberá(n) enviar la versión final en forma electrónica (como un archivo adjunto en un correo electrónico empleando paquetería Word para Windows 97-2003 para evitar incompatibilidades). En el texto deberán insertarse las tablas y material gráfico con una resolución alta en donde correspondan. El documento deberá seguir el formato que se describe a continuación. El idioma oficial de la revista es el español y deberá contar con un resumen en inglés y al menos tres palabras clave en ambos idiomas para ser incluidas en los índices internacionales. Si la contribución se encuentra en el idioma inglés, estas deberán contener además del título, el resumen y las palabras clave en español. En este caso, si la lengua materna de los autores no es el inglés, el texto deberá ser revisado por una persona conocedora del tema y cuya lengua materna sea el inglés.

Título y autores(as)

La primera página deberá contener el título del trabajo, su traducción al inglés, los nombres completos de los autores como deseen que aparezcan, sin grados ni títulos. Si usan sus dos apellidos, paterno y materno, se deberán unir con un guión para evitar confusiones a los lectores sobre cuál es el apellido del(a) autor(a). Debe contener también el nombre y la dirección de la institución donde se realizó el trabajo. Debe indicarse con un asterisco al autor a quien debe dirigirse la correspondencia, con la dirección, teléfono, fax y correo electrónico. Si se desea, en un pie de página se pueden indicar la o las direcciones actuales de los autores. El título debe reflejar el objetivo principal del trabajo en forma concisa. Utilice un título complementario sólo cuando sea estrictamente necesario.

Resumen

La segunda página debe contener un breve resumen del trabajo (un párrafo entre 200 y 400 palabras), donde se establezcan los objetivos metodología, resultados y conclusiones. Se recomienda encarecidamente que todas y cada una de las traducciones sean realizadas por traductores expertos. Se deberá de presentar en español e inglés. Se incorporarán de tres a cinco palabras clave en español e inglés.

Texto

El texto comenzará en la tercera página. Deberá estar escrito de una manera concisa y coherente, utilizando enunciados cortos y simples en estilo impersonal y evitando la información detallada previamente de libros, tesis, artículos previos o cualquier material publicado de fácil acceso. El(los) autor(es) deberá(n) dividir el texto en secciones, las cuales pueden incluir introducción o antecedentes, técnicas experimentales / teoría, procedimientos, resultados, discusión y conclusiones. En la introducción se establecerá el objeto del artículo, evitando una relación demasiado extensa de la literatura existente. Las referencias a las ecuaciones, figuras y tablas deberán hacerse con un número entre paréntesis. Las ecuaciones incluirán su número entre paréntesis, a la derecha. Los resultados se presentarán, de preferencia, en tablas o figuras, limitando el texto exclusivamente al análisis e interpretación de las mismas. Como norma, las tablas con datos que han sido incluidos en figuras (o viceversa) deberán evitarse. Se limitará el número de tablas y figuras al mínimo requerido para que el trabajo se entienda en forma clara y correcta. El texto no debe incluir símbolos escritos a mano sino con el propio procesador de palabras evitando que se presten a confusión, debiendo ser claramente identificados la primera vez que se utilicen. Al final del texto deberán presentarse en forma concisa las

Facultad de Química de la UNAM
Círculo de la Investigación Científica s/n, Cd. Universitaria
04510 Ciudad de México. MÉXICO
Correos-e: marisela_ernal2000@yahoo.com.mx,
marisela_ernal2000@quimica.unam.mx,
bett_espinosa@hotmail.com, rolandoga2000_a@yahoo.com,
rolandogarciajgomez@quimica.unam.mx,
samuel@comunidad.unam.mx

Each manuscript will have a file number. Once accepted, the author (s) must send the final version electronically (as an attachment in an email using Word for Windows 97-2003 packages to avoid incompatibilities). Tables and graphic material with high resolution should be attached where applicable. The document must follow the format described below. The official language of the journal is Spanish and it must have an additional abstract in English and at least three keywords in both languages to be included in the international indexes. If the contribution is in the English language, these must also contain the title, the abstract and the keywords in Spanish. In this case, if the authors' mother tongue is not English, the text must be reviewed by a person familiar with the subject and whose mother tongue be English.

Title and author(s)

First page should contain the contribution title in Spanish, its translation into English, and the full names of the author(s) without degrees or honorific titles. If paternal and material last names are used, then they should be separated by a hyphen. It should also contain the name and address of the institution where the research was carried out. An asterisk will indicate the author to whom correspondence should be addressed, including full postal address, phone and fax numbers, and e-mail. If desired the present addresses of the author(s) can be included. The title of the contribution should reflect the main objective in a concise form. The use of complementary titles will be accepted only when strictly necessary.

Abstract

The second page will contain the abstract of the contribution (between 200 and 400 words), which clearly establishes the objectives, methodology, results, and the conclusions. It should be presented in Spanish and English. It is strongly advised that any and all translations be conducted by knowledgeable translators. It also should include between three and five key words in Spanish and English.

Text

The text will start on the third page. It should be written in a concise and coherent manner, using simple short sentences, an impersonal style, and avoiding the inclusion of detailed information from previously published accessible books, theses, and articles. The author(s) may divide the text into unnumbered sections, such as the introduction, theoretical background, procedures and/or experimental techniques, results and discussion, and the conclusions. In the introduction, the subject of the contribution will be presented, avoiding a long review of existing literature. Reference to equations, figures, and tables should be included in parentheses. Equations will include its number in parenthesis in the right side of the text. Methodology should be precise enough for the readers to be able to replicate the experimental work or the mathematical development of the contribution. Results will be either presented in tables or figures, with analysis and interpretation in the text. As a rule, tables with data already included in figures (or vice versa) should be avoided. The number of tables and figures will be kept to the minimum required for the contribution to be clearly understood. The final part of the text should present in a concise manner the general conclusions. If it were strictly

conclusiones generales del trabajo. Si fuera estrictamente necesario incluir símbolos de un procesador de texto que pudieran resultar confusos, deberán estar claramente identificados en el margen la primera vez que se utilicen. Al final del texto, se deberán numerar para su rápida búsqueda como se indica a continuación.

Nomenclatura

Los símbolos usados en el texto y en las ecuaciones deberán ser reunidos e identificados nuevamente en una tabla de nomenclatura que se colocará después del texto entre las conclusiones y los reconocimientos y si estos no existieran seguiría la bibliografía citada en el texto. Los caracteres romanos deben listarse primero y, a continuación, los griegos. Los símbolos utilizados serán los de uso común en las ciencias exactas y las ingenierías, así como en las ciencias naturales, sociales y humanísticas y en el área específica del artículo. Esta revista usa el PUNTO decimal (DOF, 2009) y los °C y % junto al guarismo. Las abreviaturas de las locuciones latinas *et alitera*, *et al.*, así como *et cetera*, etc., no van en cursivas.

Unidades

El sistema de unidades que deberá emplearse es el Sistema Internacional (SI). Si se desea, se pueden poner entre paréntesis los valores de otras unidades o factores de conversión.

Figuras y fotografías. Tablas

Las figuras deberán de ser de buena calidad y nítidas (fotografías en color: mínimo 300 ppp / CMYK en formato Tiff, dibujos de líneas en color: mínimo 300 ppp / mapa de bits, fotografías en blanco y negro: escala de grises, mínimo 450 ppp en formato Tiff, líneas en blanco y negro Dibujos: mínimo 1000 ppp / mapa de bits o EPS o SVG). Todas las palabras y números en cifras deberán imprimirse, evitando pegar copias escaneadas con una definición débil. Las fotografías deberán de ser nítidas y legibles. Una vez aceptado el artículo, deberán insertarse en su lugar correspondiente ya que se reproducirán a partir de estos originales y se reducirán su tamaño si es necesario. Cada tabla debe de tener como título: Tabla 7. Frecuencia. (Pérez et al., 1989) o Tabla 9. Frecuencia: si son datos tomados de otro (s) autor (es) o si son datos de esta contribución, respectivamente, y sin un punto final

Bibliografía

La literatura citada en el texto o referencias a trabajos anteriores serán señaladas en el texto en orden alfabético por el apellido del(os) autor(es) y el año de publicación, separados por una coma y entre paréntesis. Si son más de dos autores se pondrá *et al.*, después del apellido del primer autor (P. ej.: Stoker et al., 1981). En caso de citarse varios trabajos simultáneamente, se separarán por punto y coma entre cada cita (P. ej.: Pérez et al., 1989; Stoker et al., 1981) por orden alfabético. En el caso de que el nombre del(os) autor(es) forme parte de la redacción del escrito, únicamente se pondrá entre paréntesis el año de publicación. La lista de referencias se insertará después de las conclusiones, nomenclatura y agradecimientos, si es que estos existen y se hará también por orden alfabético, sin numeración y cuando se mencionen varios artículos del mismo autor, estos se presentarán cronológicamente, del más reciente al más antiguo. Si hay dos o más referencias del o los autores para un mismo año agregar las letras a,b, etc., al año (Stoker et al., 2006a,b).

Cada una de las referencias contendrá los siguientes datos (para revistas periódicas): Nombre del(os) autor(es), comenzando con el apellido paterno seguido de las iniciales de los nombres (si se desea incluir el apellido materno éste deberá estar unido por un guión al paterno). Año de la publicación. Título completo de la publicación (usando mayúsculas solamente cuando sea necesario gramaticalmente). Nombre completo de la revista en que apareció. Volumen seguido por el número (si hay) entre paréntesis y, después de dos puntos las páginas de iniciación y conclusión del artículo separadas por un guión. Ejemplo: Hegg, D.A., Hobbs, P.V. 1978. Oxidation of sulfur dioxide in aqueous systems with particular

necessary to include word processor symbols that might be confusing, they should be clearly identified in the margin the first time they are used. At the end of the text they should be listed for its quick finding as indicated below.

Nomenclature

Symbols used in the text and in the equations should be gathered and identified in a table of nomenclature to be placed at the end of the text, between the conclusions and the references. Latin characters should be listed first, and then Greek ones. Symbols employed will be those of common use for each discipline and the specific area of the contribution. This journal uses the DECIMAL POINT and °C and % next to the number. The abbreviations of the Latin phrases *et alitera*, *et al.*, and *et cetera*, etc., are not underlined.

Units

Units system to be employed is the International System (SI). If it is considered important, numerical values in other units or conversion factors may be added in parenthesis.

Figures and photographs. Tables

Figures should be of good quality and sharp (Color Photographs: Minimum 300 dpi/CMYK in Tiff format, Color Line Drawings: Minimum 300 dpi(bitmap, B & W Photographs: Gray Scale, minimum 450 dpi in Tiff format, B & W Line Drawings: Minimum 1000 dpi(bitmap or EPS or SVG). All words and numbers in figures should be printed, avoiding pasting scanned copies with weak definition. Photographs should be sharp and legible. Upon acceptance of the article, they should be inserted in its proper place; they will be reproduced from these originals and reduced if required. Each table should have the title as a heading: Table 7. Frequency ... (Pérez et al., 1989) or Table 9. Frequency ... if they are data taken from other author(s) or if these are data from this contribution, respectively, and with no final point

References

References cited in the text should be in alphabetical order of the author(s) last name and the year of publication separated by a comma and in parenthesis, and separating with semicolon (;) each reference. If there are more than two authors, *et al.* will be added to the first author last name (Pérez, 1998; Ramírez and López, 2001; Stoker et al., 2006). In case the last name(s) is (are) part of the text, only the year of publication will appear in parenthesis (... the experiments carried out by Stoker et al. (2006) ...). The list of references will be inserted after the conclusions, nomenclature, and acknowledgements, if these exist, and they will appear in alphabetical order without numbering. When there are several works by the same author they will be presented chronologically, with the newest reference appearing first. If two or more are from the same year a letter a, b, etc., should be added to the year (Stoker et al., 2006a,b).

Each reference will have the following information. For periodical journals: Last name of the author(s) followed by his/her/their initials (first, second names). For Spanish speaking people wishing to include the mother's full last name or initial, a hyphen should be added between both last names. Year of publication. Full title of the publication. Full name of the journal. Volume followed by the number (if there is any) in parenthesis and, after a colon the starting and ending pages numbers separated by a hyphen. Example: Hegg, D.A., Hobbs, P.V. 1978. Oxidation of sulfur dioxide in aqueous systems with particular reference to the atmosphere. Atmospheric

reference to the atmosphere. *Atmospheric Environment*. 12(1-3):241-253. doi¹⁶: doi.org/10.1016/0004-6981(78)90204-4.

En el caso de libros, el título debe ir primero. Después, debe indicarse la casa editorial. Posteriormente, la o las páginas que fueron consultadas (P. 25, si fue solamente una o Pp. 237-242, si fueron varias). Finalmente, la ciudad y país de edición, separados por una coma. Ejemplo: Stoker, M.S., Stone, R., Seager, S.L. 1981. Química ambiental; contaminación del aire y del agua. Ed. Blume. P. 320. Barcelona, España. Cuando se trate de artículos dentro de volúmenes conmemorativos, memorias de simposios o congresos o libros en que colaboren varios autores, se citará según el siguiente ejemplo. Underbrink, A.C., Sparrow, A.H. 1973. A radiobiological test system. En *Chemical mutagens: Principles and methods for their detection*. Hollander, A., ed. Plenum Press. Vol. 3. Pp. 71-203. Nueva York, EE. UU.

Si se citan tesis se seguirá el siguiente ejemplo. López-Pérez, R. 1994. Uso de un programa computarizado para determinar propiedades termodinámicas. Tesis profesional. UNAM, Facultad de Química. Ciudad de México. México.

Si la cita es a una norma se pondrá la fuente, el año, el título de la norma, la entidad que la emitió, la ciudad y el país de edición. Ej.: DOF. 2009. Diario Oficial (Primera Sección). Modificación del inciso 0, el encabezado de la Tabla 13, el último párrafo del Anexo B y el apartado Signo decimal de la Tabla 21 de la Norma Oficial Mexicana NOM-008-SCFI-2002, Sistema general de unidades de medida. CUARTO.- Se modifica el encabezado de la tabla 13 para quedar como sigue: Tabla 21 - Reglas para la escritura de los números y su signo decimal. Signo decimal El signo decimal debe ser una coma sobre la línea (,) o un punto sobre la línea (.). Si la magnitud de un número es menor que la unidad, el signo decimal debe ser precedido por un cero. Diario Oficial de la Federación: Jueves 24 de septiembre de 2009. Poder Ejecutivo Federal. Ciudad de México. México.

Si se citan patentes, se debe dar el título y después el número asignado, la ciudad y el país de registro, como sigue: Martínez, C. 1970. Procedimiento para cocer sorgo por extrusión. Registro: Abril 7. Pat. No. 17253384. Dirección General de Invenciones y Marcas. Departamento de Patentes. Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial. Ciudad de México. México.

Si la cita proviene de las redes internacionales se pondrá el autor (si existe) o la palabra Anónimo, el año de la consulta y la "dirección" como puede ser consultada: Anónimo, 2007. Presentación. <http://www.ambiental.unam.mx>. Si viene de una revista electrónica se pondrá el nombre del(os) autor(es), el año, el título de la contribución, el título de la revista seguido de las palabras entre paréntesis (en línea) y su número de ISSN y doi, si lo tiene, el volumen y entre paréntesis el número y después de dos puntos las páginas inicial y final separadas por un guión si las tiene. Finalmente, la dirección electrónica.

¹⁶ El desarrollador y administrador del sistema DOI es la International DOI Foundation (IDF), que lo introdujo en 2000 (Paskin, Norman. 2010. "Digital Object Identifier (DOI®) System". Encyclopedia of Library and Information Sciences, 3a ed., Taylor y Francis, pp. 1586-1592). Las organizaciones que cumplen con las obligaciones contractuales del sistema DOI y están dispuestas a pagar para convertirse en miembros del sistema pueden asignar DOI (Davidson, Lloyd A.; Douglas, Kimberly. 1998. "Identificadores de objetos digitales: promesa y problemas para la publicación académica". Revista de publicación electrónica. 4(2). DOI: 10.3998/3336451.0004.203). El sistema DOI se implementa a través de una federación de agencias de registro coordinadas por la IDF ("Bienvenido al sistema DOI". Doi.org. 28 de junio de 2010. Consultado el 7 de agosto de 2010). A finales de abril de 2011, unas 4,000 organizaciones habían asignado más de 50 millones de nombres DOI ("Noticias DOI®, abril de 2011: 1. El sistema DOI supera los 50 millones de identificadores asignados". doi.org. 20 de abril de 2011. Consultado el 3 de julio de 2011) y en abril de 2013 este número había aumentado a 85 millones de nombres DOI asignados a través de 9,500 organizaciones (Wikipedia, 2013).

¹⁷ The developer and administrator of the DOI system is the International DOI Foundation (IDF), which introduced it in 2000 (Paskin, Norman. 2010. "Digital Object Identifier (DOI®) System". Encyclopedia of Library and Information Sciences (3rd ed.), Taylor and Francis, pp. 1586-1592). Organizations that meet the contractual obligations of the DOI system and are willing to pay to become a member of the system can assign DOIs (Davidson, Lloyd A.; Douglas, Kimberly. 1998. "Digital Object Identifiers: Promise and problems for scholarly publishing". Journal of Electronic Publishing, 4(2). doi:10.3998/3336451.0004.203). The DOI system is implemented through a federation of registration agencies coordinated by the IDF ("Welcome to the DOI System". Doi.org. 28 June 2010. Retrieved 7 August 2010). By late April 2011 more than 50 million DOI names had been assigned by some 4,000 organizations ("DOI® News, April 2011: 1. DOI System exceeds 50 million assigned identifiers". Doi.org. 20 April 2011. Retrieved 3 July 2011), and by April 2013 this number had grown to 85 million DOI names assigned through 9,500 organizations (Wikipedia, 2013).

Environment. 12(1-3):241-253. doi¹⁷: doi.org/10.1016/0004-6981(78)90204-4.

*In the case of books, the title should be first. Afterwards, the editorial house should appear. Then, the page(s) consulted (P. 25, if it was only one or Pp. 237-242, if there were several of them). Finally, the city and country of edition, separated by a comma. Example: Stoker, M.S., Stone, R., Seager, S.L. 1981. Química ambiental; contaminación del aire y del agua. Ed. Blume. P. 320. Barcelona, España. When the reference comes in commemorative volumes, proceedings from symposia or congresses, or they are chapters of books, they will be cited as follows: Underbrink, A.C., Sparrow, A.H. 1973. A radiobiological test system. In *Chemical mutagens: Principles and methods for their detection*. Hollander, A., ed. Plenum Press. Vol. 3. Pp. 71-203. New York, U. S.*

If a thesis is cited, the following example is given: López-Pérez, R. 1994. Uso de un programa computarizado para determinar propiedades termodinámicas. Professional Thesis. UNAM, Facultad de Química. Ciudad de México. Mexico.

If the citation is for an act or normativity the source, year, title, entity that emitted it, city and country of edition should be given. Example: DOF. 2009. Official Gazette (First Section). Modification of subsection 0, the heading of Table 13, the last paragraph of Annex B and the Decimal sign section of Table 21 of the Official Mexican Standard NOM-008-SCFI-2002, General system of measurement units. FOURTH.- The heading of table 13 is modified to read as follows: Table 21 - Rules for writing numbers and their decimal sign. Decimal sign The decimal sign must be a comma on the line (,) or a point on the line (.). If the magnitude of a number is less than unity, the decimal sign must be preceded by a zero. Official Gazette of the Federation: Thursday, September 24, 2009. Federal Executive Branch. Mexico City. Mexico.

If patents are cited, the title will be given, then the number assigned to it, the city and country of registration, as follows: Martínez, C. 1970. Procedimiento para cocer sorgo por extrusión. Registration: April 7. Pat. No. 17253384. Dirección General de Invenciones y Marcas. Departamento de Patentes. Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial. Ciudad de México. Mexico.

If the citation comes from international networks, the author (if it exists) or the word Anonymous, the year of the consultation and the "address" as it can be consulted will be entered: Anonymous, 2007. Presentation. <http://www.ambiental.unam.mx>. If it comes from an electronic journal, the name of the author (s), the year, the title of the contribution, the title of the journal, followed by the words in parentheses (online) and their ISSN and doi number will be entered, if it has it, the volume and in parentheses the issue, and after a colon the initial and final pages separated by a hyphen if it has them. Finally, the

electronic address.

Material complementario

Las deducciones matemáticas, datos experimentales extensos, programas computacionales y las partes del manuscrito de menor importancia serán enviados por separado como material adicional. Este material quedará depositado en la administración de la Revista ATSM y en un pie de página en el artículo publicado se darán las indicaciones necesarias para obtener una copia de dicho material en caso de ser requerido. El material complementario contendrá solamente información relevante que no sea incluida en la publicación.

Archivo en pdf

Cada autor recibirá libre de costo una copia de su contribución en formato electrónico .pdf como aparece publicado en el ejemplar.

Supplementary Material

Mathematical deductions, profuse experimental data, computer programs, and those parts of the manuscript of lesser importance will be sent as separate additional material. This material will be deposited with the IMIQ administration and a foot note in the printed contribution will indicate to those readers interested in obtaining a copy of it, the instructions to get it. This supplementary material will only contain relevant information that has not been included in the publication.

File in pdf

Each author will receive free of charge a copy of his/her contribution in electronic format .pdf as it is in the exemplar.

Lista de comprobación del envío por parte del(a) autor(a) responsable de la publicación

Aviso de derechos de autor(a)

Marque los siguientes elementos para indicar que este envío está preparado para que la revista lo examine y más abajo se pueden añadir comentarios al(a) editor(a):

	El envío no ha sido publicado previamente ni se ha enviado previamente a otra revista (o se ha proporcionado una explicación en Comentarios al(a) editor(a))	<i>The submission has not been previously published or previously submitted to another journal (or an explanation has been provided in Comments to the editor)</i>
	Esta revista mantiene los códigos de ética y las buenas prácticas editoriales científicas, tecnológicas y humanísticas (por ejemplo, COPE, CSE, CSIC, etc.). En caso de detectar alguna falta de ética y/o de buenas prácticas la o las personas perderán automáticamente el derecho a enviar contribuciones	<i>This journal maintains the codes of ethics and good scientific, technological, and humanistic editorial practices (for example, COPE, CSE, CSIC, etc.). In case of detecting any lack of ethics and/or good practices, the person or persons will automatically lose the right to send contributions</i>
	El material de esta revista ha sido evaluado por pares y su contenido incluyendo figuras, mapas, etc., es responsabilidad de sus autores	<i>The material in this journal has been peer reviewed. Its content including figures, maps, etc., is the responsibility of the authors</i>
	La revista, aunque no cuenta con la promoción directa de sitios especializados no comerciales o comerciales con acceso,	<i>Although the journal does not have the direct promotion of non-commercial or commercial specialized sites with</i>

Submission checklist by the author(s) responsible for the publication

Copyright notice

Please check the following items to indicate that this submission is ready for the journal to review and comments to editors can be added below:

	permite a sus autores(as) que socialicen sus contribuciones en esos sitios especializados	<i>access, it allows its authors to socialize their contributions on those specialized sites</i>
	El manuscrito enviado está en formato Microsoft Word y la versión final aceptada por los evaluadores deberá estar en Word para Windows 97-2003 para evitar incompatibilidades	<i>The submitted manuscript is in Microsoft Word format and the final version accepted by the evaluators must be in Word for Windows 97-2003 to avoid incompatibilities</i>
	Se han añadido direcciones de páginas electrónicas (doi o equivalente) para las referencias donde ha sido posible	<i>Electronic page addresses (doi or equivalent) have been added for references where possible</i>
	El texto tiene interlineado doble; las páginas están numeradas al igual que las líneas del texto, estas últimas de manera consecutiva ; el tamaño de fuente es 12 puntos tipo Tahoma; se usa cursiva sólo para el nombre de las especies en vez de subrayado y todas las ilustraciones, figuras y cuadros se colocan donde deben ir de acuerdo con su cita en el texto	<i>Text is double spaced; the pages are numbered like the lines of the text, the latter consecutively; the font size is 12 point Tahoma type; italics are used only for the name of the species instead of underlining and all illustrations, figures and tables are placed where they should go according to their citation in the text</i>
	Es indispensable incluir, en la sección de comentarios al editor , los nombres, institución y direcciones de correo electrónico de todos(as) los(as) autores(as), comprometiéndose el(a) autor(a) responsable de la publicación a la anuencia de los otros coautores a que el manuscrito sea evaluado y eventualmente publicado en esta revista	<i>It is essential to include, in the comments to the editor section, the names, institution and email addresses of all the authors, the author responsible for the publication committing to the consent of the other co-authors that the manuscript be evaluated. and eventually published in this journal</i>
	Es indispensable incluir, en la sección de comentarios al(a) editor(a) , los nombres, institución y direcciones de correo electrónico de al menos tres posibles revisores(as) para su manuscrito, que no deberán pertenecer a la institución de trabajo de ninguno de los autores ni tener vínculos de proyectos conjuntos con ellos(as)	<i>It is essential to include, in the comments to the editor section, the names, institution and email addresses of at least three possible reviewers for your manuscript, who should not belong to the work institution of any of the authors or have joint project links with them</i>
	Como la revista se revisa por pares en la modalidad doble ciego, tiene que asegurarse que los nombres de los autores no se han incluido después del título del trabajo, ni en las propiedades del archivo	<i>As the journal is peer-reviewed in double-blind mode, you have to make sure that the names of the authors have not been included after the title of the work, nor in the properties of the file</i>
	El Consejo Editorial se reserva la confidencialidad de los formatos de evaluación usados por los(as) revisores(as)	<i>The Editorial Board reserves the confidentiality of the evaluation formats used by the reviewers of the</i>

de las contribuciones (doble ciego). En los documentos revisados se indicarán las recomendaciones de los(as) revisores(as) y los puntos de mejora para los posibles dictámenes (aceptado, aceptado con correcciones, enviado para correcciones mayores y enviado al autor para otra revista fraterna con la temática <i>ad hoc</i>	<i>contributions (double blind). The revised documents will indicate the recommendations of the reviewers and the points of improvement for the possible opinions (accepted, accepted with corrections, sent for major corrections, and sent to the author for another ad hoc fraternal journal</i>
El tiempo máximo para que el(a) autor(a) de correspondencia reciba información de aceptación o rechazo es de 3 meses	<i>The maximum time for the corresponding author to receive acceptance or rejection information is 3 months</i>
La revista permite el autoarchivo de los artículos publicados en repositorios institucionales, temáticos o páginas Web personales siempre y cuando no haya un uso lucrativo de ellos	<i>The journal allows the self-archiving of articles published in institutional or thematic repositories or personal Web pages as long as there is no lucrative use of them.</i>
Esta revista no exige que los(as) autores(as) tengan (ID):ORCID. Si el(a) autor(a) lo desea puede ponerse en su contribución.	<i>This journal does not require authors to have (ID):ORCID. If the author wishes, this information can be included in his/her contribution</i>
Para garantizar su difusión a más lectores(as) el Consejo Editorial y los(as) autores(as) están de acuerdo en que esta revista esté bajo la Licencia <i>Creative-Commons</i> con derechos de atribución y no comercial (CC-BY-SA):	<i>To guarantee its dissemination to more readers, the Editorial Board and the authors agree that this journal is licensed under the Creative-Commons License with attribution and non-commercial rights (CC-BY-SA) :</i>
"Esta licencia permite el uso comercial de la obra y de las posibles obras derivadas, pero la distribución de éstas se debe hacer con una licencia igual a la que regula la obra original, es decir, la obra derivada que se lleve a cabo a partir de la obra original deberá ser explotada bajo la misma licencia"	<i>"This license allows the commercial use of the work and of the possible derivative works, but the distribution of these must be done with a license equal to that which regulates the original work, that is, the derivative work that is carried out from of the original work must be exploited under the same license"</i>

Una vez que un artículo es aceptado para su publicación, el autor está de acuerdo en que los derechos de su texto pasan a ser propiedad de la Revista ATSM con las implicaciones legales que esto significa.

La distribución de artículos aceptados, pero aún no publicados (*preprints*), por cualquier medio no está permitida. La infracción de esta

Once an article is accepted for publication, the author agrees that the rights to its text become the property of ATSM Journal with the legal implications that this means.

*The distribution of articles accepted, but not yet published (*preprints*), by any means is not allowed. Violation*

norma puede ocasionar que el artículo aunque ya esté aceptado, sea retirado para su publicación.

of this rule may cause the article, even if it is already accepted, to be withdrawn for publication.

<p>Los(as) autores(as) se comprometen a aceptar las condiciones de este aviso de derechos de autor(a), que se aplicarán a este envío siempre y cuando se publique en esta revista y más abajo se pueden añadir comentarios al(a) editor(a).</p>	<p><i>The author(s) agree to accept the conditions of this copyright notice, which will apply to this submission as long as it is published in this journal and comments to the editor can be added below.</i></p>
---	--

Declaración de privacidad de la revista

Los nombres y direcciones de correo-e introducidos en este sitio se usarán exclusivamente para los fines declarados por esta revista y no estarán disponibles para ningún otro propósito u otra persona.

Journal privacy statement

The names and email addresses entered on this site will be used exclusively for the purposes stated by this journal and will not be available for any other purpose or other person.

Comentarios para el(a) editor(a)

Introduzca el texto relacionado con los puntos señalados arriba

Comments to the Editor

Introduce any text corresponding to the points above

<p>Como apoyo a los(as) autores(as), lectores(as) o revisores(as), a continuación se presentan algunos puntos interesantes proporcionados por las(os) colegas de la Red de Revistas Científicas de Acceso Abierto Diamante presentado por el Sistema de Información Científica Redalyc de la Universidad Autónoma del Estado de México, México.</p>	<p><i>As support to the authors, readers or reviewers, below are some interesting points provided by the colleagues of the Diamante Open Access Scientific Journals Network presented by the System of Scientific Information Redalyc of the Autonomous University of the State of Mexico, Mexico.</i></p>
<p>1. CRITERIOS BÁSICOS DE ADMISIÓN</p>	<p><i>1. BASIC CRITERIA FOR ADMISSION</i></p>
<p>1.1. Política de Acceso Abierto Inmediato (AAI) Esta revista permite leer, descargar, copiar, distribuir, imprimir, buscar o vincular los textos completos de sus artículos, de manera inmediata después de su publicación.</p>	<p><i>1.1. Immediate Open Access Policy (AAI)</i> <i>This journal allows you to read, download, copy, distribute, print, search or link the full texts of its articles, immediately after publication.</i></p>
<p>1.2. No efectuar cargos por procesamiento de artículos (APC) No se efectúan cargos monetarios por revisión, procesamiento, evaluación o publicación de artículos (APC, en inglés <i>article processing charges</i>) a autores y/o instituciones.</p>	<p><i>1.2. No Article Processing Charges (APC)</i> <i>No monetary charges for article review, processing, evaluation or publication (APC, in English <i>article processing charges</i>) are made to authors and/or institutions.</i></p>
<p>1.3. Institución editora La institución editora de la revista es una red académica perteneciente al sector académico o de investigación sin fines de lucro por lo que queda inscrita en uno de los supuestos señalados de que debe ser una institución académica, de investigación, sociedad científica, universidad u organización sin fin de lucro perteneciente al sector académico o de investigación.</p>	<p><i>1.3. Publishing institution</i> <i>The publishing institution of the journal is an academic network belonging to the non-profit academic or research sector, which is why it is registered in one of the aforementioned assumptions that it must be an academic, research institution, scientific society, university or non-profit organization, belonging to the academic or research sector.</i></p>
<p>1.4. Revisión por pares Todos los originales publicados son sometidos a un proceso de dictamen por pares académicos (especialistas). El tipo evaluación es la conocida como doble ciego.</p>	<p><i>1.4. Peer Review</i> <i>All published originals are submitted to an opinion process by academic peers (specialists). The type of evaluation is known as double blind.</i></p>
<p>1.5. Antigüedad Tiene once años de existencia. Los fascículos editados en el último año (2022) están visibles en la plataforma OJS y en la página de la revista https://atsmexico.org/atsm. Para efectos de la evaluación, sólo se considerarán los números regulares editados.</p>	<p><i>1.5. Antiquity</i> <i>It has eleven years of existence. The issues published in the last year (2022) are visible on the OJS platform and on the journal page https://atsmexico.org/atsm. For evaluation purposes, only regular published issues will be considered.</i></p>
<p>1.6. Cumplimiento de periodicidad Los fascículos se publican puntualmente de acuerdo con la periodicidad expresada por la revista (semestralmente). El primer fascículo se pone en línea el 30 de junio y el segundo el 30 de diciembre.</p>	<p><i>1.6. Periodicity compliance</i> <i>The issues are published punctually according to the periodicity expressed by the journal (semester). The first issue goes online on June 30 and the second on December 30.</i></p>
<p>1.7. Datos de identificación Los datos visibles en el sitio web de la revista https://atsmexico.org/atsm:</p> <ul style="list-style-type: none"> Título completo ISSN electrónico Institución editora Ciudad 	<p><i>1.7. Identification data</i> <i>The data visible on the journal website https://atsmexico.org/atsm:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <i>Full title</i> <i>electronic ISSN</i> <i>Publishing institution</i> <i>City</i>

País Correo	<i>Country Mail</i>
2. CRITERIOS CUALITATIVOS	2. <i>QUALITATIVE CRITERIA</i>
2.1. Porcentaje de contenido científico El 100% de las colaboraciones de cada fascículo son resultados originales producto de investigaciones científico-tecnológicas y sometidas a revisión por pares.	<i>2.1. Percentage of scientific content 100% of the collaborations in each issue are original results, the product of scientific-technological research and subjected to peer review.</i>
2.2. Exogeneidad de las publicaciones El 80% de los trabajos científicos publicados en cada número son colaboraciones ajena a la institución editora RACAM y su sororal RedICA (con al menos un autor ajeno a la institución).	<i>2.2. Exogeneity of publications 80% of the scientific papers published in each issue are collaborations outside the RACAM publishing institution and its sister organization RedICA (with at least one author outside the institution).</i>
2.3. Artículos por año Se publican siempre 12 artículos o resultados de investigación al año. El promedio anual es de 12 artículos	<i>2.3. Articles per year Articles or research results published per year are 12. The annual average is 12 articles.</i>
2.4. XML JATS Se dispone de artículos marcados en formato XML JATS.	<i>2.4. XML JATS Articles are available in XML JATS format.</i>
2.5. Publicación homogénea La revista es homogénea y publica 6 artículos por fascículo.	<i>2.5. Homogeneous publication The journal is homogeneous and publishes 6 articles per issue.</i>
2.6. Indexaciones La revista está indexada en Directorio Latindex y será enviada para calificación.	<i>2.6. Indexing The journal is indexed in the Latindex directory and will be sent for qualification.</i>
2.7. Plataforma electrónica La revista tiene una página independiente https://atsmexico.org/atsm .	<i>2.7. Electronic platform The journal has an independent page https://atsmexico.org/atsm.</i>
2.8. Formatos de lectura Pone a disposición de los usuarios los siguientes formatos electrónicos para el despliegue de los artículos publicados: PDF, XML JATS.	<i>2.8. Reading formats It makes the following electronic formats available to users for displaying published articles: PDF, XML JATS.</i>
2.9. Contenido científico Publica fascículos completos con contenido científico y tecnológico, artículos derivados de investigaciones.	<i>2.9. Scientific content It publishes complete fascicles with scientific and technological content, articles derived from research.</i>
3. CRITERIOS ALTAMENTE VALORADOS CUANTITATIVOS	3. <i>HIGHLY VALUED QUANTITATIVE CRITERIA</i>
3.1. Prácticas editoriales 3.1.1. Exogeneidad de evaluadores Los evaluadores no cobran y son externos a las dos entidades editoras RACAM y RedICA.	<i>3.1. Editorial practices 3.1.1. Exogeneity of evaluators The evaluators do not charge and are external to the two publishing entities RACAM and RedICA.</i>
3.1.2. Publicación original e inédita Todo artículo postulado para su publicación es original e inédito y no está postulado simultáneamente en otras revistas u órganos editoriales.	<i>3.1.2. Original and unpublished publication All articles submitted for publication are original and unpublished and are not simultaneously submitted to other journals or editorial bodies.</i>
3.1.3. Publicación preprints La revista no acepta preprints.	<i>3.1.3. Preprint publication The journal does not accept preprints.</i>

3.1.4. Exogeneidad del Consejo Editorial El 75% de los integrantes del Consejo Editorial son ajenos a la entidad editora.	3.1.4. <i>Exogeneity of the Editorial Board</i> <i>75% of the members of the Editorial Board are outside the publishing entity.</i>
3.1.5. Tiempos de evaluación Brinda información a los autores sobre los tiempos estimados (30-60 días), para los procesos de evaluación (revisión por pares): Recepción y aceptación.	3.1.5. <i>Evaluation times</i> <i>It provides information to the authors about the estimated times (30-60 days), for the evaluation processes (peer review): Reception and acceptance.</i>
3.1.6. Formato de evaluación en línea El formulario de evaluación (utilizado en el proceso de revisión por pares) no aparece al público abiertamente pero se encuentra al final del reglamento de la revista que está en la plataforma.	3.1.6. <i>Online evaluation form</i> <i>The evaluation form (used in the peer review process) does not appear openly to the public but is found at the end of the journal's regulations that are on the platform.</i>
3.1.7. Fechas recepción y aceptación En la primera página después del título y los(as) autor(as), se indican las fechas de recepción y aceptación en cada artículo.	3.1.7. <i>Reception and acceptance dates</i> <i>On the first page, after the title and the author(s), the dates of receipt and acceptance of each article are indicated.</i>
3.1.8. Indicadores bibliométricos y/o cienciométricos Son públicos los indicadores sobre el desempeño de la revista: La tasa de rechazo, el número de descargas, citas, o “responsables”.	3.1.8. <i>Bibliometric and/or scientometric indicators</i> <i>The indicators on the performance of the journal are public: The rejection rate, the number of downloads, citations, or "responsible".</i>
3.2. Periodicidad 3.2.1. Periodicidad El fascículo incluye en su portada los meses que comprende el periodo de publicación, para el primero es enero-junio y para el segundo julio-diciembre y en su cintilla legal se señala que la fecha de publicación del primer fascículo es 30 de junio y del segundo 30 de diciembre en la página principal de la revista, hoja 2, así como la correspondiente en el segundo fascículo.	3.2. <i>Periodicity</i> 3.2.1. <i>Periodicity</i> <i>The issue includes on its cover the months that comprise the publication period, for the first it is January-June and for the second July-December and in its legal ribbon it is indicated that the date of publication of the first issue is June 30 and second December 30 on the main page of the journal, page 2, as well as the corresponding one in the second issue.</i>
3.2.2. Fecha de publicación La revista especifica el momento en el que pone en línea sus fascículos	3.2.2. <i>Publication date</i> <i>The journal specifies the moment in which it puts its issues online</i>
3.3. Acceso abierto 3.3.1. Licenciamiento En la primera página de cada contribución se menciona explícitamente el licenciamiento bajo el cual la revista <i>Ambiens Techné et Scientia México</i> e institución editora RACAM y RedICA publica los contenidos es: CC-BY-NC, CC: Creative Commons; BY: puede usar y compartir la obra, dando crédito al autor; NC: puede usar y compartir, solo si no hace un uso comercial.	3.3. <i>Open access</i> 3.3.1. <i>Discharge</i> <i>On the first page of each contribution, the licensing under which the <i>Ambiens Techné et Scientia México</i> journal and RACAM and RedICA publishing institution publishes the contents is explicitly mentioned: CC-BY-NC, CC: Creative Commons; BY: you can use and share the work, giving credit to the author; NC: You can use and share, only if you do not make a commercial use.</i>
3.3.2. Metadatos de la licencia En el encabezado de la primera página incluye la información relativa a la licencia <i>Creative Commons</i> (legible por máquinas) en los metadatos de los artículos en formatos portables (PDF).	3.3.2. <i>License metadata</i> <i>In the header of the first page, it includes the information related to the <i>Creative Commons</i> license (readable by machines) in the metadata of the articles in portable formats (PDF).</i>
3.3.3. Fuentes de financiamiento Esta revista no tiene ninguna fuente de financiamiento y sus editores y evaluadores trabajan altruistamente. Esta publicación electrónica recibe apoyo altruista de personal académico de la Facultad de Química de la Universidad Nacional Autónoma de México, quienes dedican parte de su tiempo libre a esta publicación	3.3.3. <i>Funding sources</i> <i>This journal does not have any funding source and its editors and reviewers work altruistically. This electronic publication receives altruistic support from academic staff of the Faculty of Chemistry of the National Autonomous University of Mexico, who dedicate part of their free time to this</i>

electrónica.	<i>electronic publication.</i>
3.3.4. Derechos de autor (<i>copyrigth</i>) El titular de los derechos de autor (copyright), es la propia revista y los autores ceden los derechos para ser publicada su contribución de acuerdo con el siguiente inciso 3.3.5.	<i>3.3.4. Copyright</i> <i>The owner of the copyright is the journal itself and the authors assign the rights to publish their contribution in accordance with the following subsection 3.3.5.</i>
3.3.5. Política de autoarchivo La revista permite el autoarchivo de los artículos publicados, en repositorios institucionales, temáticos o páginas web personales.	<i>3.3.5. Self-Archive Policy</i> <i>The journal allows the self-archiving of published articles, in institutional, thematic repositories or personal web pages.</i>
3.4. Gestión Editorial Este rubro está señalado en el instructivo de autores antes de este texto	<i>3.4. Publishing Management</i> <i>This item is indicated in the authors' instructions before this text</i>
3.4.1. Datos de contacto Indica en los datos de contacto (En la hoja legal, segunda de cada número se encuentra esta información): Nombre completo del contacto Nombre completo de la institución u organismo editor (sin abreviaturas) Ciudad y país de edición (sin abreviaturas) Correo electrónico (institucional)	<i>3.4.1. Contact information</i> <i>Indicate in the contact information (In the legal page, second of each number, this information is found):</i> <i>Full name of the contact</i> <i>Full name of the publishing institution or organization (without abbreviations)</i> <i>City and country of publication (without abbreviations)</i> <i>Email (institutional)</i>
3.4.2. Objetivos y alcance (Instructivo para autores) Indica explícitamente los objetivos y alcance, así como la definición de la naturaleza, propósito, público y/o comunidad a la que se dirige en los antecedentes de la revista.	<i>3.4.2. Objectives and scope (Instructions for authors)</i> <i>It explicitly indicates the objectives and scope, as well as the definition of the nature, purpose, public and/or community to which it is directed in the background of the journal.</i>
3.4.3. Especificidad temática La revista recibe artículos a, b y c, según el instructivo de autores(as).	<i>3.4.3. Thematic specificity</i> <i>The journal receives articles a, b, and c, according to the author's instructions.</i>
3.4.4. Equipo Editorial El equipo editorial se describe con funciones o roles y se da crédito a las personas encargadas (Esta información se encuentra en la hoja legal).	<i>3.4.4. Editorial Team</i> <i>The editorial team is described with functions or roles and credit is given to the people in charge (This information is found in the legal sheet).</i>
3.4.5. Membrete bibliográfico Se identifica cada artículo mediante membrete bibliográfico en la página inicial (En el contenido de cada número): Nombre de la revista ISSN-e Volumen y número Periodo que cubre la edición indicando meses y años (Hoja legal) Nombres de los autores	<i>3.4.5. Bibliographic letterhead</i> <i>Each article is identified by bibliographic letterhead on the home page (in the content of each number):</i> <i>Journal name</i> <i>ISSN-e</i> <i>Volume and number</i> <i>Period covered by the edition indicating months and years (Legal page)</i> <i>Author names</i>
3.4.6. Afiliación del Consejo Editorial Se indica la afiliación institucional de los miembros del consejo editorial, incluyendo el país (Hoja legal).	<i>3.4.6. Editorial Board Affiliation</i> <i>The institutional affiliation of the members of the editorial board is indicated, including the country (Legal page).</i>
3.4.7. Tabla de contenido con traducción Al inicio de cada fascículo existe una tabla de contenido que menciona: El título completo de todos los artículos en el idioma original y en un segundo idioma, en este caso el inglés; además, incluye el nombre del(os) autor(es).	<i>3.4.7. Table of contents with translation</i> <i>At the beginning of each issue there is a table of contents that mentions: The complete title of all the articles in the original language and in a second language, in this case English; In addition, it includes the name of the author(s).</i>

3.4.8. Datos del o de la(los)(as) autor(es)(as) Cada artículo indica los nombres completos de los autores, la institución de adscripción, el país de la institución de adscripción de cada autor y el correo electrónico de al menos un autor, el de correspondencia.	3.4.8. <i>Data of the author(s)</i> <i>Each article indicates the full names of the authors, the affiliation institution, the country of the affiliation institution of each author and the email address of at least one author, the correspondence address.</i>
3.4.9. Identificador de autor (ID) ORCID La revista no exige que los autores tengan ID: ORCID, en caso de que cuente con él se les recomienda que lo coloquen después de los datos de afiliación.	3.4.9. <i>Author Identifier (ID) ORCID</i> <i>The journal does not require authors to have ID: ORCID, if they do, it is recommended that they place it after the affiliation data.</i>
3.4.10. Indexaciones La revista está indexada en el Directorio Latindex y se iniciará en breve el proceso de evaluación. Cada registro declarado cuenta con un enlace directo al lugar en que se encuentra la lista maestra (<i>Master list</i>) donde se menciona la revista o dirección electrónica (URL) donde están los datos de la revista (Esto se logra accediendo con el vínculo al extremo inferior derecho que indica el vol(num) año)	3.4.10. <i>Indexing</i> <i>The journal is indexed in the Latindex Directory and the evaluation process will begin shortly. Each declared record has a direct link to the place where the master list (<i>Master list</i>) is located where the journal is mentioned or the electronic address (URL) where the journal data is (This is achieved by accessing the link at the bottom end right indicating the vol(num)year)</i>
3.4.11. Normas de referencias bibliográficas Esta revista menciona en el instructivo para autores que utiliza el estilo Elsevier de mediados del siglo XX para las referencias bibliográficas, el cual los autores deben observar (ver instructivo para autores páginas arriba).	3.4.11. <i>Bibliographic reference standards</i> <i>This journal mentions in the instructions for authors that it uses the mid-twentieth century Elsevier style for bibliographic references, which authors must observe (see instructions for authors pages above).</i>
3.4.12. Estilo de citación A continuación, se muestra el estilo de citación que se debe utilizar: Elsevier de mediados del siglo XX. Ejemplo: Ver el instructivo de autores	3.4.12. <i>Citation style</i> <i>Below is the citation style to use: Elsevier mid-20th century.</i> <i>Example: See the instructions for authors</i>
3.4.13. Resumen y palabras clave en idioma original Cada artículo incluye tanto el resumen como las palabras clave en el idioma original, el español .	3.4.13. <i>Abstract and keywords in original language</i> <i>Each article includes both the abstract and the keywords in the original language, Spanish.</i>
3.4.14. Resumen y palabras clave en segundo idioma Cada artículo incluye el resumen y las palabras clave en un segundo idioma, el inglés .	3.4.14. <i>Abstract and keywords in second language</i> <i>Each article includes the abstract and keywords in a second language, English.</i>
3.4.15. Instrucciones para los autores en dos idiomas Se incluyen estas instrucciones para los autores en un segundo idioma (inglés) de manera visible en la página de la revista.	3.4.15. <i>Instructions for authors in two languages</i> <i>These instructions for authors are included in a second language (English) conspicuously on the journal page.</i>
3.4.16. Código de ética La revista menciona su adhesión al código de ética y buenas prácticas editoriales científicas (COPE) en el instructivo de autores.	3.4.16. <i>Code of ethics</i> <i>The journal mentions its adherence to the code of ethics and good scientific editorial practices (COPE) in the authors' instructions.</i>
3.4.17. Detección de similitud (posible plagio) Esta revista no aplica la detección de similitud y posible plagio, pues para utilizar el software que posee la Dirección General de Publicaciones de la UNAM, entidad a la que pertenece la mayoría del Comité Editorial, esa autoridad indicó desde el inicio de la publicación en 2013 que era necesario que esta fuera parte de las revistas de la Universidad Nacional Autónoma de México requiriendo la firma del titular de una dependencia académica, lo cual ejercería coerción sobre la libertad académica de la revista. Por lo tanto, se apela a la ética de los autores(as) y, en caso	3.4.17. <i>Similarity detection (possible plagiarism)</i> <i>This journal does not apply the detection of similarity and possible plagiarism, because to use the software owned by the General Directorate of Publications of the UNAM, entity to which the majority of the Editorial Committee belongs, that authority indicated from the beginning of the publication in 2013 that it was necessary for this to be part of the journals of the National Autonomous University of Mexico requiring the signature of the head of an academic unit, which would exert coercion on the academic freedom of the journal.</i>

<p>de que llegara a detectarse un posible plagio se haría del conocimiento de los autores(as) responsables de la publicación para corregirlo y, en caso de no cumplir, se retiraría la contribución.</p>	<p><i>Therefore, the ethics of the authors is appealed to and, in the event that a possible plagiarism is detected, the authors responsible for the publication will be made aware of it in order to correct it and, in case of non-compliance, the contribution would be withdrawn.</i></p>
<p>3.4.18. Política de preservación digital No se cuenta con una política de preservación de archivos digitales en Lockss, Clockss, Portico, etc., debido a que son empresas de lucro y nuestra revista no es lucrativa por lo que no se cuenta con fondos para pagar este tipo de servicios. Cada una de las contribuciones se almacena en formato pdf con sistemas de cómputo “espejo”, independientes uno de otro.</p>	<p>3.4.18. Digital Preservation Policy <i>There is no policy for the preservation of digital files in Lockss, Clockss, Portico, etc., because they are for-profit companies and our journal is not for profit, so there are no funds to pay for this type of service. Each of the contributions is stored in pdf format with "mirror" computing systems, independent of one another.</i></p>
<p>3.5. Aprovechamiento de Tecnología</p>	<p>3.5. Leveraging Technology</p>
<p>3.5.1. Uso de gestor editorial Utiliza un gestor editorial electrónico como herramienta de control del proceso de dictamen y no sólo como plataforma de publicación abierta: <i>Open Journal System (OJS)</i>.</p>	<p>3.5.1. Use of editorial manager <i>It uses an electronic editorial manager as a control tool for the opinion process and not only as an open publication platform: Open Journal System (OJS).</i></p>
<p>3.5.2. Protocolos de interoperabilidad La revista sí cuenta con protocolos de interoperabilidad y la dirección electrónica es: https://atsmexico.org/atsm/about</p>	<p>3.5.2. Interoperability protocols <i>The journal does have interoperability protocols and the electronic address is: https://atsmexico.org/atsm/about</i></p>
<p>3.5.3. Motor de búsqueda La revista sí cuenta con un motor de búsqueda específico para los contenidos de la revista y para la localización y recuperación de artículos publicados; además, permite el uso de operadores lógicos para optimizar la búsqueda.</p>	<p>3.5.3. Search Engine <i>The journal does have a specific search engine for the journal contents and for locating and retrieving published articles; In addition, it allows the use of logical operators to optimize the search.</i></p>
<p>3.5.4. Descarga individual de contenidos Permite la descarga de cada uno de los artículos de manera individual.</p>	<p>3.5.4. Individual download of content <i>Allows the download of each of the articles individually.</i></p>
<p>3.5.5. Colección integrada Todos los números digitales disponibles están visibles en un solo sitio web.</p>	<p>3.5.5. Integrated collection <i>All available digital numbers are visible on a single website.</i></p>
<p>3.5.6. Identificador de recursos digitales Los artículos no cuentan con un identificador digital de objeto (DOI), pues esta fundación exige un pago anual y por tal razón no se cuenta con él. Supuestamente existen empresas patrocinadoras pero el comité editorial de esta revista no ha encontrado ninguna que sea gratuita.</p>	<p>3.5.6. Digital resource identifier <i>The articles do not have a digital object identifier (DOI), since this foundation requires an annual payment and for this reason it is not available. Supposedly there are sponsoring companies but the editorial committee of this journal has not found any that are free.</i></p>
<p>3.5.7. Navegación y usabilidad La página electrónica cuenta con adecuada navegabilidad, es decir, permite el acceso a los contenidos de la revista en un máximo de tres clics.</p>	<p>3.5.7. Navigation and usability <i>The electronic page has adequate navigability, that is, it allows access to the contents of the journal in a maximum of three clicks.</i></p>
<p>3.5.8. Valor agregado La revista no cuenta con características propias para brindar valor agregado al usuario: En el texto de REDALyC se recomiendan servicios multimedia, acceso a datos fuente, servicios de accesibilidad e interacción con el usuario, así como la promoción a través de sitios especializados no comerciales (Open edition, Doaj, Erudit, etc.), comerciales con acceso</p>	<p>3.5.8. Added value <i>The journal does not have its own characteristics to provide added value to the user: The REDALyC text recommends multimedia services, access to source data, accessibility services and interaction with the user, as well as promotion through specialized non-commercial sites (Open edition, Doaj, Erudit, etc.), commercial with access</i></p>

(Google Académico, Mendeley, Academia.edu, Research Gate, etc.). La primera y más importante razón es que la revista es justamente eso, una revista académica que visibiliza el conocimiento generado por colegas de habla española para el beneficio de la sociedad y el mejoramiento de la calidad de vida de las personas.	<i>(Google Scholar, Mendeley, Academia.edu, Research Gate, etc.). The first and most important reason is that the journal is exactly that, an academic journal that makes visible the knowledge generated by Spanish-speaking colleagues for the benefit of society and the improvement of people's quality of life.</i>
3.5.9. Interacción con el usuario La revista no facilita el uso de tecnologías de interacción, como blogs y/o foros que permitan al usuario una mayor interacción exactamente por las razones señaladas en el punto anterior.	<i>3.5.9. User interaction The journal does not facilitate the use of interaction technologies, such as blogs and/or forums that allow the user greater interaction for exactly the reasons indicated in the previous point.</i>
3.5.10. Estadísticas de descargas La revista tiene un apartado de estadísticas de descargas actualizadas, ya sean de su propio sitio web o bien recurriendo a servicios de terceros.	<i>3.5.10. Download statistics The journal has a section with updated download statistics, whether from its own website or using third-party services.</i>

Esta revista es electrónica

Se terminó de editar en el servidor de los Laboratorios de Ingeniería Química Ambiental y de
Química Ambiental

Ciudad de México, México

Diciembre 2025