

Alda Rocío Ortiz Muñiz
(Organizadora)



ESTUDOS EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E SUAS TECNOLOGIAS

VOL I



EDITORA
ARTEMIS
2026

Alda Rocío Ortiz Muñiz
(Organizadora)



ESTUDOS EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E SUAS TECNOLOGIAS

VOL I

 EDITORA
ARTEMIS
2026



O conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons Atribuição-Não-Comercial Não-Derivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0). Direitos para esta edição cedidos à Editora Artemis pelos autores.

Permitido o download da obra e o compartilhamento, desde que sejam atribuídos créditos aos autores, e sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

A responsabilidade pelo conteúdo dos artigos e seus dados, em sua forma, correção e confiabilidade é exclusiva dos autores. A Editora Artemis, em seu compromisso de manter e aperfeiçoar a qualidade e confiabilidade dos trabalhos que publica, **conduz a avaliação cega pelos pares de todos manuscritos publicados, com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.**

Editora Chefe	Antonella Carvalho de Oliveira
Editora Executiva	M. ^a Viviane Carvalho Mocellin
Direção de Arte	M. ^a Bruna Bejarano
Diagramação	Elisangela Abreu
Organizadora	Prof. ^a Dr. ^a Alda Rocío Ortiz Muñiz
Imagem da Capa	mikkiorso/123RF
Bibliotecário	Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Conselho Editorial

Prof.^a Dr.^a Ada Esther Portero Ricol, *Universidad Tecnológica de La Habana “José Antonio Echeverría”, Cuba*
Prof. Dr. Adalberto de Paula Paranhos, *Universidade Federal de Uberlândia, Brasil*
Prof. Dr. Agustín Olmos Cruz, *Universidad Autónoma del Estado de México, México*
Prof.^a Dr.^a Amanda Ramalho de Freitas Brito, *Universidade Federal da Paraíba, Brasil*
Prof.^a Dr.^a Ana Clara Monteverde, *Universidad de Buenos Aires, Argentina*
Prof.^a Dr.^a Ana Júlia Viamonte, *Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal*
Prof. Dr. Ángel Mujica Sánchez, *Universidad Nacional del Altiplano, Peru*
Prof.^a Dr.^a Angela Ester Mallmann Centenaro, *Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil*
Prof.^a Dr.^a Begoña Blandón González, *Universidad de Sevilla, Espanha*
Prof.^a Dr.^a Carmen Pimentel, *Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil*
Prof.^a Dr.^a Catarina Castro, *Universidade Nova de Lisboa, Portugal*
Prof.^a Dr.^a Cirila Cervera Delgado, *Universidad de Guanajuato, México*
Prof.^a Dr.^a Cláudia Neves, *Universidade Aberta de Portugal*
Prof.^a Dr.^a Cláudia Padovesi Fonseca, *Universidade de Brasília-DF, Brasil*
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos, *Universidade Federal da Grande Dourados, Brasil*
Dr. Cristo Ernesto Yáñez León – *New Jersey Institute of Technology, Newark, NJ, Estados Unidos*



Prof. Dr. David García-Martul, *Universidad Rey Juan Carlos de Madrid*, Espanha
Prof.ª Dr.ª Deuzimar Costa Serra, *Universidade Estadual do Maranhão*, Brasil
Prof.ª Dr.ª Dina Maria Martins Ferreira, *Universidade Estadual do Ceará*, Brasil
Prof.ª Dr.ª Edith Luévano-Hipólito, *Universidad Autónoma de Nuevo León*, México
Prof.ª Dr.ª Eduarda Maria Rocha Teles de Castro Coelho, *Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro*, Portugal
Prof. Dr. Eduardo Eugênio Spers, *Universidade de São Paulo (USP)*, Brasil
Prof. Dr. Eloi Martins Senhoras, *Universidade Federal de Roraima*, Brasil
Prof.ª Dr.ª Elvira Laura Hernández Carballido, *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, México
Prof.ª Dr.ª Emilas Darlene Carmen Lebus, *Universidad Nacional del Nordeste*, Argentina
Prof.ª Dr.ª Erla Mariela Morales Morgado, *Universidad de Salamanca*, Espanha
Prof. Dr. Ernesto Cristina, *Universidad de la República*, Uruguay
Prof. Dr. Ernesto Ramírez-Briones, *Universidad de Guadalajara*, México
Prof. Dr. Fernando Hitt, *Université du Québec à Montréal*, Canadá
Prof. Dr. Gabriel Díaz Cobos, *Universitat de Barcelona*, Espanha
Prof.ª Dr.ª Gabriela Gonçalves, *Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP)*, Portugal
Prof.ª Dr.ª Galina Gumovskaya – *Higher School of Economics*, Moscow, Russia
Prof. Dr. Geoffroy Roger Pointer Malpass, *Universidade Federal do Triângulo Mineiro*, Brasil
Prof.ª Dr.ª Gladys Esther Leoz, *Universidad Nacional de San Luis*, Argentina
Prof.ª Dr.ª Glória Beatriz Álvarez, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina
Prof. Dr. Gonçalo Poeta Fernandes, *Instituto Politécnico da Guarda*, Portugal
Prof. Dr. Gustavo Adolfo Juarez, *Universidad Nacional de Catamarca*, Argentina
Prof. Dr. Guillermo Julián González-Pérez, *Universidad de Guadalajara*, México
Prof. Dr. Håkan Karlsson, *University of Gothenburg*, Suécia
Prof.ª Dr.ª Lara Lúcia Tescarollo Dias, *Universidade São Francisco*, Brasil
Prof.ª Dr.ª Isabel del Rosario Chiyon Carrasco, *Universidad de Piura*, Peru
Prof.ª Dr.ª Isabel Yohena, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina
Prof. Dr. Ivan Amaro, *Universidade do Estado do Rio de Janeiro*, Brasil
Prof. Dr. Iván Ramon Sánchez Soto, *Universidad del Bío-Bío*, Chile
Prof.ª Dr.ª Ivânia Maria Carneiro Vieira, *Universidade Federal do Amazonas*, Brasil
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz, *University of Miami and Miami Dade College*, Estados Unidos
Prof. Dr. Jesús Montero Martínez, *Universidad de Castilla - La Mancha*, Espanha
Prof. Dr. João Manuel Pereira Ramalho Serrano, *Universidade de Évora*, Portugal
Prof. Dr. Joaquim Júlio Almeida Júnior, *UNIFIMES - Centro Universitário de Mineiros*, Brasil
Prof. Dr. Jorge Ernesto Bartolucci, *Universidad Nacional Autónoma de México*, México
Prof. Dr. José Cortez Godinez, *Universidad Autónoma de Baja California*, México
Prof. Dr. Juan Carlos Cancino Diaz, *Instituto Politécnico Nacional*, México
Prof. Dr. Juan Carlos Mosquera Feijoo, *Universidad Politécnica de Madrid*, Espanha
Prof. Dr. Juan Diego Parra Valencia, *Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín*, Colômbia
Prof. Dr. Juan Manuel Sánchez-Yáñez, *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, México
Prof. Dr. Juan Porras Pulido, *Universidad Nacional Autónoma de México*, México



Prof. Dr. Júlio César Ribeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
Prof. Dr. Leiníg Antonio Perazolli, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil
Prof.ª Dr.ª Livia do Carmo, Universidade Federal de Goiás, Brasil
Prof.ª Dr.ª Luciane Spanhol Bordignon, Universidade de Passo Fundo, Brasil
Prof. Dr. Luis Fernando González Beltrán, *Universidad Nacional Autónoma de México*, México
Prof. Dr. Luis Vicente Amador Muñoz, *Universidad Pablo de Olavide*, Espanha
Prof.ª Dr.ª Macarena Esteban Ibáñez, *Universidad Pablo de Olavide*, Espanha
Prof. Dr. Manuel Ramiro Rodriguez, *Universidad Santiago de Compostela*, Espanha
Prof. Dr. Manuel Simões, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal
Prof.ª Dr.ª Márcia de Souza Luz Freitas, Universidade Federal de Itajubá, Brasil
Prof. Dr. Marcos Augusto de Lima Nobre, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil
Prof. Dr. Marcos Vinicius Meiado, Universidade Federal de Sergipe, Brasil
Prof.ª Dr.ª Mar Garrido Román, *Universidad de Granada*, Espanha
Prof.ª Dr.ª Margarida Márcia Fernandes Lima, Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil
Prof.ª Dr.ª María Alejandra Arecco, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina
Prof.ª Dr.ª Maria Aparecida José de Oliveira, Universidade Federal da Bahia, Brasil
Prof.ª Dr.ª Maria Carmen Pastor, *Universitat Jaume I*, Espanha
Prof.ª Dr.ª Maria da Luz Vale Dias – Universidade de Coimbra, Portugal
Prof.ª Dr.ª Maria do Céu Caetano, Universidade Nova de Lisboa, Portugal
Prof.ª Dr.ª Maria do Socorro Saraiva Pinheiro, Universidade Federal do Maranhão, Brasil
Prof.ª Dr.ª MªGraça Pereira, Universidade do Minho, Portugal
Prof.ª Dr.ª Maria Gracinda Carvalho Teixeira, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
Prof.ª Dr.ª María Guadalupe Vega-López, *Universidad de Guadalajara*, México
Prof.ª Dr.ª Maria Lúcia Pato, Instituto Politécnico de Viseu, Portugal
Prof.ª Dr.ª Maritza González Moreno, *Universidad Tecnológica de La Habana*, Cuba
Prof.ª Dr.ª Mauriceia Silva de Paula Vieira, Universidade Federal de Lavras, Brasil
Prof. Dr. Melchor Gómez Pérez, Universidad del Pais Vasco, Espanha
Prof.ª Dr.ª Ninfa María Rosas-García, Centro de Biotecnología Genómica-Instituto Politécnico Nacional, México
Prof.ª Dr.ª Odara Horta Boscolo, Universidade Federal Fluminense, Brasil
Prof. Dr. Osbaldo Turpo-Gebera, *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*, Peru
Prof.ª Dr.ª Patrícia Vasconcelos Almeida, Universidade Federal de Lavras, Brasil
Prof.ª Dr.ª Paula Arcoverde Cavalcanti, Universidade do Estado da Bahia, Brasil
Prof. Dr. Rodrigo Marques de Almeida Guerra, Universidade Federal do Pará, Brasil
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares, Universidade Federal do Piauí, Brasil
Prof. Dr. Sergio Bitencourt Araújo Barros, Universidade Federal do Piauí, Brasil
Prof. Dr. Sérgio Luiz do Amaral Moretti, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil
Prof.ª Dr.ª Silvia Inés del Valle Navarro, *Universidad Nacional de Catamarca*, Argentina
Prof.ª Dr.ª Solange Kazumi Sakata, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN)- USP, Brasil
Prof.ª Dr.ª Stanislava Kashtanova, *Saint Petersburg State University*, Russia
Prof.ª Dr.ª Susana Álvarez Otero – Universidad de Oviedo, Espanha

Prof.ª Dr.ª Teresa Cardoso, Universidade Aberta de Portugal

Prof.ª Dr.ª Teresa Monteiro Seixas, Universidade do Porto, Portugal

Prof. Dr. Valter Machado da Fonseca, Universidade Federal de Viçosa, Brasil

Prof.ª Dr.ª Vanessa Bordin Viera, Universidade Federal de Campina Grande, Brasil

Prof.ª Dr.ª Vera Lúcia Vasilévski dos Santos Araújo, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil

Prof. Dr. Wilson Noé Garcés Aguilar, *Corporación Universitaria Autónoma del Cauca*, Colômbia

Prof. Dr. Xosé Somoza Medina, *Universidad de León*, Espanha

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
(eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)**

E89 Estudos em ciências biológicas e suas tecnologias [livro eletrônico] / Organizadora Alda Rocío Ortiz Muñiz. – 1. ed. – Curitiba, PR: Editora Artemis, 2026.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Edição bilingue

Inclui bibliografia.

ISBN 978-65-82858-09-3

DOI 10.37572/EdArt_300626093

1. Ciências biológicas. 2. Biotecnologia. 3. Biodiversidade.
4. Sustentabilidade ambiental. I. Ortiz Muñiz, Alda Rocío.

CDD 570

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422



PRÓLOGO

Las ciencias biológicas ocupan un lugar esencial en la comprensión de los fenómenos de la vida, desde los procesos moleculares, celulares y genéticos que sustentan el funcionamiento de los organismos, hasta la dinámica de los ecosistemas y las relaciones que estos establecen con su ambiente, así como de las posibilidades tecnológicas que emergen de la investigación científica aplicada. En un mundo marcado por crisis ambientales, demandas de sostenibilidad, avances biotecnológicos y desafíos relacionados con la salud humana y ecosistémica, resulta cada vez más necesario articular conocimiento científico, innovación, responsabilidad social y compromiso con la preservación de la vida en sus múltiples formas.

Este primer volumen de *Estudos em Ciências Biológicas e suas Tecnologias* reúne un conjunto de trabajos que expresa la diversidad y la relevancia contemporánea de este campo. Las investigaciones aquí presentadas transitan por temas como biomarcadores de daño genético, formación en contextos biomédicos, productos naturales, compuestos bioactivos, actividad antioxidante, alternativas ecológicas para la higiene doméstica, crisis hídrica, sostenibilidad, biodiversidad, ecosistemas costeros, manglares, microplásticos y contaminación lumínica. Se trata, por tanto, de una obra que evidencia la amplitud de las ciencias biológicas y su capacidad de dialogar con problemas científicos, ambientales, tecnológicos, educativos y sociales.

La organización de este volumen fue pensada a partir de una estructura breve y articulada, distribuida en tres ejes temáticos. Esta propuesta busca valorar la especificidad de cada trabajo sin fragmentar excesivamente la lectura, considerando que los capítulos reunidos comparten una preocupación común: comprender, preservar, transformar y aplicar el conocimiento biológico frente a los desafíos del presente.

El primer eje, dedicado a la salud, los biomarcadores y los procesos formativos, abre el volumen con una reflexión sobre dos dimensiones complementarias de las ciencias biológicas aplicadas al ámbito de la salud: por una parte, el desarrollo y utilización de herramientas para el estudio del daño celular y genético, y por otra, los procesos educativos que intervienen en la formación de los profesionales de la salud. Los estudios reunidos en esta sección permiten reflexionar sobre la importancia de las herramientas de análisis biológico para la identificación de daños celulares y genéticos, así como sobre los procesos formativos que atraviesan áreas vinculadas a la salud. Al articular investigación biomédica, toxicología, nutrición, ambiente y formación profesional, este bloque evidencia que las ciencias biológicas no se restringen al estudio aislado de los seres vivos, sino que también contribuyen a la comprensión de condiciones que afectan la salud, la prevención de riesgos y la calidad de los procesos educativos en campos biomédicos.

El segundo eje reúne investigaciones relacionadas con los productos naturales y los compuestos bioactivos. En este conjunto se observa el potencial de las ciencias biológicas y de sus tecnologías para el aprovechamiento sostenible de recursos naturales y el desarrollo de procesos y productos con aplicación ambiental, alimentaria y doméstica. Los trabajos exploran temas como la extracción de compuestos fenólicos, la capacidad antioxidante, la capsaicina, los hidrolatos, los aceites esenciales y las formulaciones sostenibles. Esta sección destaca la relevancia de la innovación científica orientada por principios de sostenibilidad, aprovechamiento responsable de los recursos naturales y reducción de impactos ambientales.

Al abordar recursos vegetales y materias primas naturales, los capítulos de este eje demuestran que la tecnología puede ponerse al servicio de soluciones más responsables, eficientes y coherentes con las necesidades actuales. La búsqueda de procesos menos agresivos para el ambiente, de alternativas biodegradables y de productos con potencial funcional o antimicrobiano revela una dimensión aplicada de las ciencias biológicas, en la cual el conocimiento sobre organismos, moléculas y metabolitos naturales se transforma en estrategias concretas de innovación.

El tercer eje se orienta al ambiente, la biodiversidad y la sostenibilidad socioecológica. Los trabajos reunidos en esta sección abordan problemáticas ambientales de gran relevancia, como la contaminación lumínica, la crisis agrícola provocada por sequías, la presencia de microplásticos en playas, la biodiversidad de peces en manglares y la necesidad de soluciones sostenibles frente a la presión sobre los recursos naturales. Estos temas revelan la urgencia de comprender los ecosistemas de manera integrada, reconociendo sus dimensiones biológicas, sociales, económicas y culturales.

La presencia de estudios sobre ambientes costeros, manglares, recursos hídricos y contaminación evidencia la importancia del monitoreo ambiental y de la producción de datos científicos para orientar políticas públicas, prácticas comunitarias y estrategias de conservación. Al mismo tiempo, la discusión sobre soluciones sostenibles, como sistemas hidropónicos de bajo costo e iniciativas de gestión ambiental, apunta a la necesidad de integrar ciencia, educación, tecnología y participación social en la construcción de respuestas frente a los desafíos ecológicos contemporáneos.

En conjunto, los capítulos de este primer volumen muestran que las ciencias biológicas y sus tecnologías son fundamentales para comprender las relaciones entre vida, ambiente y sociedad. Las investigaciones aquí reunidas revelan que los fenómenos biológicos no pueden pensarse de forma aislada, pues están profundamente conectados con las formas de producción, consumo, cuidado, educación, innovación y gestión de los recursos naturales. Esta perspectiva integradora resulta especialmente importante en un

contexto en el que los problemas ambientales y sanitarios exigen respuestas científicas sólidas, interdisciplinarias y socialmente comprometidas.

Así, ***Estudos em Ciências Biológicas e suas Tecnologias*** propone una lectura que parte de la salud y los biomarcadores, avanza hacia los productos naturales y las aplicaciones biotecnológicas de los recursos biológicos, y culmina en las discusiones ambientales y socioecológicas. Esta trayectoria permite reconocer la vitalidad del campo biológico, tanto en su dimensión experimental y aplicada como en su capacidad de contribuir a prácticas más sostenibles, inclusivas y responsables.

Esperamos que este primer volumen contribuya al diálogo entre investigadores, docentes, estudiantes y profesionales interesados en las ciencias biológicas y en sus interfaces tecnológicas. Que los estudios aquí reunidos inspiren nuevas investigaciones, fortalezcan prácticas científicas comprometidas con la vida y amplíen los horizontes de actuación de las ciencias biológicas frente a los desafíos ambientales, sociales y tecnológicos de nuestro tiempo.

Dra. Alda Rocío Ortiz Muñiz

Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa

México

SUMARIO

SALUD, BIOMARCADORES Y FORMACIÓN EN CONTEXTOS BIOMÉDICOS

CAPÍTULO 1..... 1

MICRONÚCLEOS: DE LA CINÉTICA DE FORMACIÓN A SUS APLICACIONES EN NUTRICIÓN Y AMBIENTE

Rocío Ortiz Muñiz

Elsa Cervantes Ríos

Pedro Morales Ramírez

Virginia Cruz Vallejo

Juana Sánchez-Alarcón

Rafael Valencia-Quintana

Edith Cortés Barberena

 https://doi.org/10.37572/EdArt_3006260931

CAPÍTULO 2..... 21

EL CURRÍCULUM OCULTO Y SUS EFECTOS EN LAS ESCUELAS DE ODONTOLOGÍA

Elsa Gabriela Chávez-Guajardo

Gloria Martha Álvarez Morales

Joana Etzel Rodríguez Raudales

Claudia H. Maldonado-Tapia

Carla Sofía Padilla-Arellano

Nelly Alejandra Rodríguez Guajardo

Jesús Rivas Gutiérrez

 https://doi.org/10.37572/EdArt_3006260932

BIOTECNOLOGÍA, PRODUCTOS NATURALES Y COMPUESTOS BIOACTIVOS

CAPÍTULO 3..... 36

EFFECTO DEL SOLVENTE EN LA EXTRACCIÓN POR ULTRASONIDO DE FENOLES Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DEL APIO (*Apium graveolens*)

Gisela Palma-Orozco

Lorena Marian Calles-Soriano

Cybellé Darian García-Mancera

Carlos Orozco-Álvarez

 https://doi.org/10.37572/EdArt_3006260933

CAPÍTULO 4..... 49

CAPSAICIN CONTENT AND ANTIOXIDANT CAPACITY IN DIFFERENT MATURITY STATES OF HABANERO PEPPER (*Capsicum chinense* Jacq.)

Gisela Palma-Orozco
América Belém Ugalde-Herrera
Víctor Ouseiri Díaz-Castañón
Carlos Orozco-Álvarez

 https://doi.org/10.37572/EdArt_3006260934

CAPÍTULO 5..... 58

HIDROLATO DE LIMONARIA (*Cymbopogon citratus*) COMO DESINFECTANTE ARTESANAL SOSTENIBLE, UNA ALTERNATIVA ECOLÓGICA PARA LA HIGIENE DOMÉSTICA

Juan Carlos Llanes Carvajal
Miller Sánchez Balaguera
Andrea Catalina Escalante Rico

 https://doi.org/10.37572/EdArt_3006260935

AMBIENTE, BIODIVERSIDAD Y SOSTENIBILIDAD SOCIOECOLÓGICA

CAPÍTULO 6..... 68

“PUERTO RICO BRILLA NATURALMENTE” REDUCE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA: IMPACTOS SOCIOECOLÓGICOS, MARCO REGULATORIO Y ESTRATEGIAS DE GESTIÓN COMUNITARIA

Elizabeth Padilla-Rodríguez

 https://doi.org/10.37572/EdArt_3006260936

CAPÍTULO 7.....82

HIDRONOMÍA: DIAGNÓSTICO DE LA CRISIS AGRÍCOLA POR SEQUÍA EN TAMAULIPAS (2023-2025) Y FUNDAMENTOS DE UN SISTEMA HIDROPÓNICO CON PERTINENCIA CULTURAL EN ESCUELAS DE EDUCACIÓN BÁSICA COMO SOLUCIÓN PROPUESTA

Lucio Alberto San Pedro Acevedo
Hilario Rafael Martínez Flores
Nora Armenia Torres Mariño
Valeria Isabel Vargas Olvera
Emanuel León Estrada

 https://doi.org/10.37572/EdArt_3006260937

CAPÍTULO 8..... 98

ABUNDÂNCIA DE PEIXES TELEÓSTEOS EM UM MANGUEZAL DA RAPOSA, ILHA DE SÃO LUÍS, MARANHÃO, BRASIL

Maria do Socorro Saraiva Pinheiro

 https://doi.org/10.37572/EdArt_3006260938

CAPÍTULO 9..... 114

PRESENCIA Y CARACTERIZACIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN PLAYAS DE LA ZONA ORIENTAL DE EL SALVADOR

Osmel Alberto Sánchez Granados

 https://doi.org/10.37572/EdArt_3006260939

SOBRE A ORGANIZADORA..... 130

ÍNDICE REMISSIVO 131

CAPÍTULO 1

MICRONÚCLEOS: DE LA CINÉTICA DE FORMACIÓN A SUS APLICACIONES EN NUTRICIÓN Y AMBIENTE^{1, 2}

Data de submissão: 05/05/2026

Data de aceite: 26/05/2026

¹ Rocío Ortiz Muñiz

Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Iztapalapa
Departamento de Ciencias de la Salud
Ciudad de México, México
<https://orcid.org/0000-0003-2501-2916>

² Elsa Cervantes Ríos

Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Iztapalapa
Departamento de Ciencias de la Salud
Ciudad de México, México
<https://orcid.org/0000-0002-8596-3409>

³ Pedro Morales Ramírez

Instituto Nacional de
Investigaciones Nucleares
Departamento de Biología
Estado de México, México
<https://orcid.org/0000-0002-1336-6170>

⁴ Virginia Cruz Vallejo

Instituto Nacional de
Investigaciones Nucleares
Departamento de Biología
Estado de México, México

⁵ Juana Sánchez-Alarcón

Facultad de Agrobiología
Universidad Autónoma de Tlaxcala
Ixtacuixtla, Tlaxcala, México
<https://orcid.org/0000-0002-9105-0251>

⁶ Rafael Valencia-Quintana

Facultad de Agrobiología
Universidad Autónoma de Tlaxcala
Ixtacuixtla, Tlaxcala, México
<https://orcid.org/0000-0002-3396-7694>

⁷ Edith Cortés Barberena

Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Iztapalapa
Departamento de Ciencias de la Salud
Ciudad de México, México.
<https://orcid.org/0000-0003-0186-7338>

RESUMEN: El ensayo de micronúcleos (MN) se ha consolidado como un biomarcador robusto de inestabilidad genómica, ampliamente utilizado en toxicología genética, biomedicina y monitoreo ambiental. Su fundamento radica en la detección de fragmentos cromosómicos o cromosomas completos que no se incorporan al núcleo durante la división celular, reflejando eventos clastogénicos y aneugénicos. Además, los MN son estructuras dinámicas implicadas en procesos como cromotripsis y activación de la respuesta inmune, lo que amplía su relevancia biológica y clínica. En el ámbito nutricional, tanto la desnutrición como

¹ Agradecimiento: Proyecto CBF-2025-I-3888 apoyado por la SECIHTI, México.

² Los números 1-9 indican la contribución principal de los autores en cada sección, sin excluir su participación en el conjunto del capítulo.

la obesidad se asocian con un incremento en la frecuencia de MN. A pesar de representar extremos opuestos, ambas condiciones comparten mecanismos como el estrés oxidante y la inflamación crónica, que comprometen la estabilidad del ADN. La evidencia en modelos animales y humanos demuestra un aumento tanto en la frecuencia basal como inducida de MN, reflejando mayor susceptibilidad al daño genético. En modelos experimentales, particularmente en roedores, el análisis de la cinética de formación de MN ha permitido caracterizar la inducción, reparación y persistencia del daño genético a lo largo del tiempo, aportando información mecanística sobre la acción de agentes genotóxicos y la capacidad de respuesta celular. En sistemas vegetales, el ensayo de MN constituye una herramienta clave para el biomonitoreo ambiental. Especies como *Allium cepa*, *Vicia faba* y *Tradescantia* han demostrado alta sensibilidad para detectar genotoxicidad inducida por contaminantes ambientales. Su bajo costo y facilidad de manejo respaldan su uso como alternativa confiable a modelos animales. Por otro lado, la citometría de flujo ha optimizado el análisis de MN al permitir evaluar grandes poblaciones celulares con alta rapidez, sensibilidad y reproducibilidad, facilitando además la discriminación entre tipos de daño genético. En conjunto, el ensayo de MN es una herramienta integradora con aplicaciones clave en investigación, salud pública y medicina preventiva.

PALABRAS CLAVE: micronúcleos; genotoxicidad; biomonitoreo ambiental; desnutrición; citometría de flujo.

MICRONUCLEI: FROM FORMATION KINETICS TO APPLICATIONS IN NUTRITION AND ENVIRONMENT

ABSTRACT: The micronucleus (MN) assay has been established as a robust biomarker of genomic instability, widely used in genetic toxicology, biomedicine, and environmental monitoring. It is based on the detection of chromosomal fragments or whole chromosomes that fail to be incorporated into the nucleus during cell division, reflecting clastogenic and aneugenic events. In addition, MN are dynamic structures involved in processes such as chromothripsis and immune response activation, expanding their biological and clinical relevance. In the nutritional context, both malnutrition and obesity are associated with an increased frequency of MN. Despite representing opposite conditions, both share pathophysiological mechanisms such as oxidative stress and chronic inflammation, which compromise DNA stability. Evidence from animal models and human studies demonstrates increases in both baseline and induced MN frequency, reflecting greater susceptibility to genetic damage. In experimental models, particularly in rodents, the analysis of MN formation kinetics has enabled the characterization of the induction, repair, and persistence of genetic damage over time, providing mechanistic insight into the action of genotoxic agents and cellular response capacity. In plant systems, the MN assay represents a key tool for environmental biomonitoring. Species such as *Allium cepa*, *Vicia faba*, and *Tradescantia* have demonstrated high sensitivity for detecting genotoxicity induced by environmental contaminants. Moreover, flow cytometry has optimized MN analysis by enabling the evaluation of large cell populations with high speed, sensitivity, and reproducibility, while facilitating discrimination between different types of genetic damage. Overall, the MN assay is an integrative tool with key applications in research, public health, and preventive medicine.

KEYWORDS: micronuclei; genotoxicity; environmental biomonitoring; malnutrition; flow cytometry.

1. MICRONÚCLEOS (MN) EN NUTRICIÓN: INESTABILIDAD GENÓMICA EN DESNUTRICIÓN Y OBESIDAD ^{1,2}

La desnutrición y la obesidad representan extremos del estado nutricional que constituyen un problema relevante de salud pública a nivel global. A pesar de sus diferencias, ambas condiciones comparten alteraciones metabólicas como el estrés oxidante y la inflamación crónica, factores que pueden comprometer la integridad del ADN y favorecer la inestabilidad genómica. En este contexto, el ensayo de micronúcleos (MN) se ha consolidado como una herramienta sensible y confiable para evaluar daño cromosómico en distintos sistemas biológicos (Albertini et al., 2000).

1.1. BASES BIOLÓGICAS DE LOS MICRONÚCLEOS

Los MN son estructuras nucleares pequeñas que se originan a partir de fragmentos cromosómicos acéntricos o cromosomas completos que no se incorporan al núcleo principal durante la división celular (Countryman & Heddle, 1976; Lin et al., 2023). Su formación refleja eventos clastogénicos o aneugénicos asociados con daño al ADN o alteraciones en la segregación cromosómica. Por ello, el ensayo de MN ha sido ampliamente utilizado en estudios de genotoxicidad, tanto en modelos experimentales como en poblaciones humanas (Albertini et al., 2000).

1.2. DESNUTRICIÓN Y DAÑO GENÉTICO

En el ámbito de la desnutrición, diversos estudios han demostrado una elevación en la frecuencia de MN como indicador de daño cromosómico. En modelos animales, se ha observado que la desnutrición durante etapas tempranas del desarrollo incrementa significativamente la frecuencia de MN en linfocitos (Ortiz et al., 1995). Este hallazgo ha sido confirmado en estudios posteriores que muestran un aumento tanto en la frecuencia basal como en la inducida por agentes genotóxicos en sangre periférica (Ortiz et al., 2004).

En humanos, particularmente en población infantil, la desnutrición también se ha asociado con mayor inestabilidad genómica y mayor susceptibilidad al daño inducido, lo que sugiere una interacción entre el estado nutricional y la capacidad de respuesta celular frente a agentes mutagénicos (Ortiz et al., 1997; Cervantes-Ríos et al., 2012). Estas alteraciones pueden estar relacionadas con deficiencias de micronutrientes esenciales, como ácido fólico y vitamina B12, que participan en procesos clave de síntesis y reparación del ADN (Fenech, 2002).

1.3. OBESIDAD E INESTABILIDAD GENÓMICA

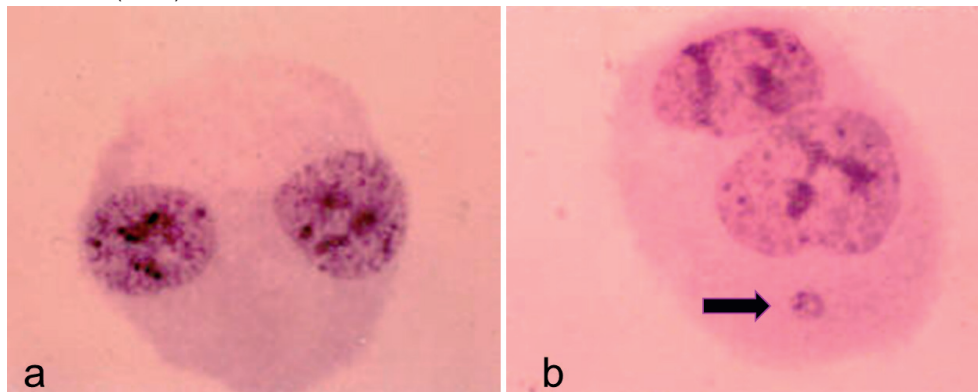
Por otro lado, la obesidad se ha vinculado con un incremento en el daño genético debido a un entorno metabólico caracterizado por inflamación crónica y estrés oxidante. Estudios recientes han mostrado que la frecuencia de MN aumenta conforme se incrementa el grado de obesidad, lo que sugiere una relación directa entre el exceso de tejido adiposo y la inestabilidad genómica. Este fenómeno puede estar asociado con alteraciones metabólicas como la resistencia a la insulina, lo que refuerza la complejidad de sus efectos sistémicos (Usman et al., 2021).

1.4. APLICACIONES CLÍNICAS Y EPIDEMIOLÓGICAS

El estudio de MN en este contexto se ha beneficiado del uso de diferentes modelos biológicos. Los modelos animales permiten analizar mecanismos de daño en condiciones controladas, mientras que los estudios en humanos reflejan el impacto real de estas condiciones en contextos clínicos y epidemiológicos. Además, el análisis puede realizarse en distintos tipos celulares, como linfocitos, eritrocitos y células epiteliales exfoliadas (Sánchez-Alarcón et al., 2026).

El ensayo de micronúcleos *in vitro* emplea células binucleadas (CBMN), las cuales se obtienen mediante la inhibición de la citocinesis utilizando citocalasina B (Cyt-B), un inhibidor del ensamblaje de microfilamentos. Este enfoque permite una mayor precisión en la evaluación del daño genético, ya que asegura que las células analizadas han completado una división nuclear, evitando sesgos derivados de alteraciones en la cinética de proliferación celular inducidas por la citotoxicidad de los agentes evaluados o por condiciones subóptimas de cultivo.

Figura 1. Células binucleadas obtenidas mediante el ensayo CBMN: a) célula binucleada; b) célula binucleada con micronúcleo (flecha).



Un avance metodológico relevante ha sido la incorporación de la citometría de flujo para la evaluación de MN en eritrocitos, lo que permite analizar grandes cantidades de células de manera rápida y objetiva, incrementando la sensibilidad y reproducibilidad del ensayo (Hayashi et al., 2000). Este enfoque ha facilitado su uso en estudios poblacionales y experimentales.

En conjunto, la evidencia indica que tanto la desnutrición como la obesidad están asociadas con un aumento en la frecuencia MN, lo que refleja un incremento en la inestabilidad genómica. Este biomarcador integra señales de daño acumulado y susceptibilidad individual, lo que lo posiciona como una herramienta útil en la evaluación de riesgos en salud.

Desde una perspectiva integradora, los avances recientes han fortalecido la relevancia de los MN como biomarcadores no solo de daño, sino también de riesgo de enfermedad. Su asociación con enfermedades crónicas no transmisibles y su potencial aplicación en medicina preventiva han sido respaldados por evidencia epidemiológica (Fenech et al., 2021; Duan et al., 2026).

En este sentido, el monitoreo de MN en condiciones nutricionales adversas no solo contribuye a comprender los mecanismos de daño genético, sino que también permite identificar poblaciones vulnerables y evaluar intervenciones con potencial protector. La integración de este biomarcador en enfoques de salud pública y medicina personalizada representa una oportunidad para avanzar en la prevención y el manejo de enfermedades asociadas con inestabilidad genómica. Más allá de los estudios en humanos, los modelos experimentales permiten profundizar en la dinámica del daño genético en condiciones controladas.

2. CINÉTICA DE LA INDUCCIÓN DE MICRONÚCLEOS EN ERITROCITOS DE RATÓN *IN VIVO*: BIOMARCADOR DINÁMICO DE GENOTOXICIDAD Y CITOTOXICIDAD ^{3,4}

2.1. INTRODUCCIÓN

La formación de micronúcleos (MN) es un biomarcador ampliamente validado de daño cromosómico inducido por agentes clastogénicos y aneugénicos (Countryman & Heddle, 1976). En modelos murinos, la cuantificación de eritrocitos policromáticos micronucleados (MN-PCE) constituye una herramienta robusta para la evaluación de genotoxicidad *in vivo* (Hayashi et al., 2000).

Aunque tradicionalmente estos ensayos se han basado en mediciones en tiempos únicos, los sistemas biológicos son dinámicos. En este contexto, el análisis cinético de la inducción de MN-PCE permite integrar procesos como la farmacocinética, la activación

metabólica y los mecanismos de daño y reparación del ADN, proporcionando una evaluación más precisa del efecto genotóxico (Morales-Ramírez et al., 1994).

2.2. FUNDAMENTO Y ALCANCE DEL MODELO CINÉTICO

La inducción de micronúcleos ocurre durante la última división de los normoblastos en médula ósea, mientras que su detección se realiza en eritrocitos policromáticos circulantes. Este sistema permite evaluar eventos recientes de daño cromosómico mediante muestreos seriados en el mismo individuo.

Una de sus principales ventajas es la posibilidad de analizar simultáneamente genotoxicidad y citotoxicidad, mediante la cuantificación de MN-PCE y la proporción de eritrocitos policromáticos. Asimismo, permite comparar dosis en términos molares y establecer relaciones funcionales entre exposición y efecto.

El análisis cinético ha demostrado que las evaluaciones en tiempos únicos pueden conducir a conclusiones erróneas. Por ejemplo, el efecto de moduladores como la clorofilina puede variar dependiendo del tiempo de medición, mientras que el análisis del área bajo la curva (ABC) revela que el daño total permanece constante (Morales-Ramírez et al., 1996).

2.3. PARÁMETROS CINÉTICOS Y VARIABILIDAD ENTRE AGENTES

El tiempo de máxima inducción (Tmax) representa el punto de mayor frecuencia de MN-PCE y varía de acuerdo con el tipo de agente. La radiación ionizante presenta la respuesta más rápida, debido a que no requiere absorción ni metabolismo, mientras que los aneuploidógenos, alquilantes y antimetabolitos muestran retrasos progresivos en la inducción (Morales-Ramírez & Vallarino-Kelly, 1998).

Estas diferencias reflejan procesos como la biodisponibilidad, la activación metabólica y los mecanismos de interacción con el ADN. En este sentido, la cinética de inducción de MN-PCE permite inferir aspectos farmacocinéticos y farmacodinámicos de los agentes evaluados.

El área bajo la curva (ABC) constituye un parámetro integral de genotoxicidad, ya que incorpora la respuesta temporal completa. Se ha demostrado que la misma dosis total de radiación produce un ABC equivalente independientemente de la tasa de exposición, lo que valida este enfoque como medida robusta del daño genético (Morales-Ramírez et al., 1994).

Adicionalmente, la forma de las curvas cinéticas puede revelar la participación de múltiples mecanismos de daño. Algunos agentes presentan curvas con más de un

pico o con hombros amplios, lo que sugiere diferentes vías de inducción y reparación del ADN. Este comportamiento ha sido descrito, por ejemplo, para antimetabolitos que inducen daño tanto por incorporación al ADN como por efectos epigenéticos (Morales-Ramírez et al., 2008).

Tabla 1. Tiempo de máxima inducción (Tmax) y retraso relativo en la inducción de eritrocitos policromáticos micronucleados (MN-PCE).

TABLA 1. tiempo de máxima inducción por diferentes agentes y retraso (h)			
Agente	Dosis ($\mu\text{mol/kg}$)	Tmax	Retraso (h)
Rad	(0.25 Gy)	25.7	
VNB	0.28	27.6	1.9
Colch	1.5	29.9	4.2
VNC	0.05	30.2	4.5
ENU	214	31.4	5.7
cisPt	0.9	32	6.3
BUS	30	32	6.3
BCNU	17.5	32.6	6.9
MMC	1.5	33	7.3
azaC	45	35.2	9.5
MNU	20	37.3	11.5
CP	77	39.4	13.7
DMN	108	40.6	14.9

Tabla 2. Eficiencias de inducción de MN-PCE, medida en términos del ABC respecto a las dosis.

TABLA 2, Eficiencia de inducción de MN-PCE en términos del ABC. Determinación del ancho de la cinética ABC/MAXIMA FRECUENCIA				
AGENTE	DOSIS ($\mu\text{mol/kg}$)	ABC	ABC/dosis	ABC/MF
VNC	0.05	7.99	14,800	18.9
MMC	1.5	654	436	17.5
COL	1.5	584	389	21.6
VNB	0.28	94	342	14.3
CisPt	0.93	267	287	13
AZA-C	20	1200	60	34.3
BCNU	35	1896	54.2	27.1

MNU	20	654	32.7	17.2
CP	76	439	5.8	22.3
DMN	108	292	2.7	19.3
ENU	214	553	2.6	21.7
BUS	30	70	2.3	17.7

2.4. RELACIÓN ENTRE GENOTOXICIDAD Y CITOTOXICIDAD

El análisis simultáneo de la frecuencia de MN-PCE y la proporción de eritrocitos policromáticos ha permitido demostrar que, aunque no existe sincronía temporal entre genotoxicidad y citotoxicidad, sí se observa una relación cercana a la proporcionalidad (Morales-Ramírez et al., 2006).

Este hallazgo cuestiona el paradigma clásico de selección de agentes antineoplásicos basado exclusivamente en citotoxicidad, y sugiere que el daño genético debe considerarse como un componente independiente y complementario.

2.5. APLICACIONES Y DESARROLLOS RECIENTES

El modelo cinético ha evolucionado hacia aplicaciones más complejas, incluyendo la evaluación de agentes antineoplásicos y su capacidad radiosensibilizadora. En particular, se ha utilizado para estudiar compuestos como bromodesoxiuridina, clofarabina y difluorodesoxicidina, los cuales modifican tanto la magnitud como la cinética del daño inducido por radiación (Cruz-Vallejo et al., 2019; Quezada-Vidal et al., 2024; Cruz-Vallejo et al., 2025).

Asimismo, este enfoque ha sido aplicado para evaluar genotoxicidad en condiciones fisiológicas específicas, como desnutrición, así como en estudios comparativos entre estados nutricionales (Ortiz-Muñiz et al., 2024).

Estos avances consolidan el modelo como una herramienta no solo descriptiva, sino también predictiva, con aplicaciones en farmacología, toxicología y evaluación de riesgo.

Nuestro grupo ha desarrollado y aplicado de manera sistemática el análisis de la cinética de inducción de MN-PCE y de la reducción de eritrocitos policromáticos, con el objetivo de caracterizar la dinámica de la genotoxicidad y citotoxicidad inducida por radiaciones y agentes químicos en modelos murinos *in vivo*.”

Entre sus principales ventajas destacan: ser un sistema *in vivo en ratón*; permite el análisis temporal de la respuesta biológica; requerir volúmenes mínimos de muestra sanguínea; posibilitar la evaluación simultánea de genotoxicidad y citotoxicidad en el mismo tipo celular; y facilitar la comparación de dosis mediante su normalización en $\mu\text{mol}/\text{kg}$ de peso corporal.

Este modelo presenta características relevantes: es un sistema in vivo en ratón; permite evaluar la respuesta en función del tiempo; requiere volúmenes mínimos de muestra de sangre; posibilita el análisis simultáneo de genotoxicidad y citotoxicidad en el mismo tipo celular; y facilita la comparación de dosis mediante su normalización en $\mu\text{mol}/\text{kg}$ de peso corporal.

2.6. CONCLUSIONES

1. El análisis cinético de MN-PCE permite una evaluación integral de la genotoxicidad *in vivo*.
2. El Tmax y el ABC son parámetros clave para caracterizar la respuesta biológica.
3. La variabilidad en la cinética refleja diferencias en los mecanismos de acción y en la farmacocinética de los agentes.
4. La relación entre genotoxicidad y citotoxicidad no es sincrónica, pero muestra una tendencia a la proporcionalidad.
5. El análisis cinético permite inferir mecanismos de acción, incluyendo procesos clastogénicos, aneugénicos y dependientes de activación metabólica.
6. El parámetro ABC constituye una medida robusta para comparar la actividad genotóxica total entre agentes.
7. La evaluación conjunta de MN-PCE y la reducción de eritrocitos policromáticos representa una estrategia útil para el cribado de compuestos con potencial antineoplásico y para la estimación del riesgo genotóxico.

En conjunto, los modelos animales permiten desentrañar los mecanismos y la dinámica temporal del daño genético. Complementariamente, los sistemas vegetales facilitan la evaluación de estos efectos en escenarios ambientales complejos, ampliando el alcance del ensayo de micronúcleos.

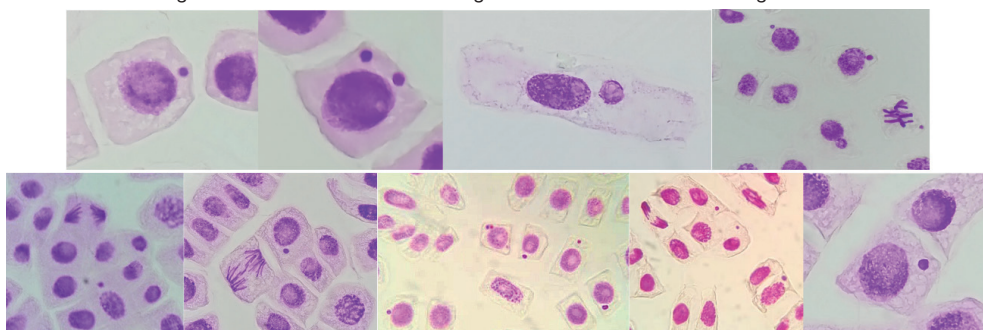
3. EL ENSAYO DE MICRONÚCLEOS EN PLANTAS EN EL MONITOREO DE LA GENOTOXICIDAD AMBIENTAL ^{5,6}

3.1. FUNDAMENTO Y RELEVANCIA

El desarrollo de la industria ha favorecido el incremento de la contaminación ambiental, la cual puede representar un riesgo para la salud pública. Diferentes efectos han sido relacionados con estos agentes incluyendo daños al ADN. Dentro de los biomarcadores de daño genético inducidos por xenobióticos ambientales se encuentran

múltiples alteraciones como las aberraciones cromosómicas, los intercambios de cromátidas hermanas, los micronúcleos y las mutaciones, los cuales pueden ser detectados tanto en sistemas animales como vegetales. Entre ellos destacan los micronúcleos (Figura 2, pequeños cuerpos extracromosómicos resultantes de la fragmentación o segregación incorrecta del material genético durante la división celular), por su alta sensibilidad, simplicidad y efectividad (Salazar Mercado y Correa 2024). Su técnica ha sido estandarizada, así como validada y permiten una fácil identificación y análisis al microscopio (Kwaśniewska & Bara, 2022), miden la pérdida, rotura y no disyunción de cromosomas, alteración del huso mitótico o daño clastogénico (Tavarekere Venkataravanappa et al. 2025).

Figura 2. Micronúcleos en células vegetales como indicador de daño genético.



3.2. MODELOS VEGETALES

Por otra parte, las especies vegetales han ganado mucha atención como bioindicadores potenciales del riesgo genotóxico que representan agentes ambientales tanto físicos (radiaciones) como químicos [metales pesados, plaguicidas, hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs), compuestos orgánicos volátiles (VOCs), entre otros], ya que suelen entrar en contacto con contaminantes presentes en las matrices ambientales (suelo, agua y aire) de forma natural e incluso pueden ser expuestas intencionalmente en el laboratorio. Han demostrado su confiabilidad, fácil manejo y alta sensibilidad en el biomonitoreo ambiental. En una revisión previa (Valencia-Quintana et al. 2013), se destaca que más de 200 bioensayos vegetales han sido empleados con este propósito, lo que respalda su uso. Así, los bioensayos vegetales proveen una alternativa rentable y fiable a las pruebas con animales (Tavarekere Venkataravanappa et al. 2025)

Particularmente el análisis de micronúcleos en plantas para el monitoreo ambiental ha sido reconocido como una prueba accesible, sensible y confiable para el estudio de la genotoxicidad asociada a contaminantes liberados en el agua, el suelo o el aire (Iqbal 2016).

Los sistemas vegetales presentan ventajas importantes frente a otros sistemas experimentales: son económicos, están disponibles durante todo el año y no requieren condiciones de cultivo complejas. Presentan altas tasas de división celular y relativamente cromosomas de gran tamaño, lo que facilita su análisis al microscopio. No necesitan la adición de sistemas metabólicos externos. Permiten identificar diferentes mecanismos de acción de los agentes genotóxicos, como efectos clastogénicos y aneugénicos (Valencia-Quintana et al., 2013; Iqbal, 2016).

3.3. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

Las células meristemáticas de plantas como *Vicia faba* y *Allium cepa* han sido utilizadas en estudios citogenéticos desde principios del siglo XX, particularmente en radiobiología para evaluar aberraciones cromosómicas. Con el tiempo, *Vicia faba* se consolidó como modelo de referencia debido al tamaño y número de sus cromosomas, lo que facilita la identificación de alteraciones como los micronúcleos.

En la década de 1970, el programa Gene-Tox de la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos evaluó diversas especies vegetales, incluyendo *Allium cepa*, *Vicia faba* y *Tradescantia*, confirmando su utilidad en la detección de genotoxicidad ambiental. Desde entonces, el ensayo de micronúcleos en plantas se ha consolidado como una herramienta clave para evaluar daño genético inducido por contaminantes químicos y físicos.

3.4. AVANCES RECIENTES

La OCDE, ha reconocido y estandarizado la prueba de micronúcleos en plantas que lo incluye en sus directrices para la evaluación de genotoxicidad en plantas. El uso de microscopía de fluorescencia y el análisis digital de imágenes han permitido mejorar su precisión.

Se han tenido avances sobre los mecanismos de acción que potencialmente dan origen a los micronúcleos. A nivel molecular, se ha relacionado su formación con la inestabilidad del huso mitótico, el estrés oxidante, así como fallas en los mecanismos de reparación del ADN. También se han vinculado con la activación de vías de respuesta al daño genético.

3.5. APLICACIONES EN ESTUDIOS AMBIENTALES

La contaminación atmosférica y al tráfico vehicular en zonas urbanas, se ha correlacionado con un incremento significativo de la frecuencia de micronúcleos en *Tradescantia pallida* (Godoy et al., 2021).

Suelos contaminados con petróleo crudo en la Amazonía ecuatoriana, han sido capaces de inducir daño genético en *Vicia faba* (Coronel Vargas et al., 2023).

Inducción de micronúcleos y otras alteraciones citogenéticas se han evidenciado en diversas investigaciones desarrolladas con metales pesados (Garnica-Acuña et al., 2020).

Diversos plaguicidas, han demostrado la capacidad de inducir micronúcleos en especies como *Allium cepa*, *Vicia faba* y *Tradescantia* (Valencia-Quintana et al., 2013; Salazar Mercado and Correa, 2024).

La prueba de micronúcleos sirve como una herramienta versátil para evaluar los efectos genotóxicos, citotóxicos y mutagénicos tanto de mezclas simples como complejas en diversos sistemas vegetales. Ha demostrado la capacidad genotóxica de las aguas residuales, así como la eficacia de las plantas de tratamiento (Oubane et al. 2020). En suelos contaminados, el ensayo ha permitido diferenciar diferentes niveles de genotoxicidad y evaluar procesos diversos de remediación (Ordoñez-Frías et al., 2025).

Asimismo, ha sido útil en el estudio de contaminantes emergentes como nanopartículas y elementos de tierras raras (Kotelnikova et al., 2021; Saavedra Negrete et al., 2025), donde se ha demostrado su capacidad de interacción con proteínas del huso mitótico y los centriolos, dependiendo de la naturaleza de la nanopartícula del periodo de exposición, de la concentración y del bioensayo vegetal.

3.6. CONCLUSIONES

Las plantas modelo como *Allium cepa*, *Vicia faba* y *Hordeum vulgare* continúan siendo herramientas clave para detectar agentes genotóxicos en aire, agua y suelo, contribuyendo a la evaluación del riesgo ambiental y en salud humana.

En particular, los bioensayos basados en la detección de micronúcleos ofrecen una combinación valiosa de sensibilidad, accesibilidad y aplicabilidad, lo que los convierte en una base sólida para el monitoreo genotóxico ambiental.

Lejos de quedar obsoleto, este enfoque se ha fortalecido con los avances en biología molecular, permitiendo integrar distintos niveles de análisis, desde lo celular hasta lo molecular. Además, su valor predictivo lo posiciona como una herramienta relevante para anticipar riesgos como el desarrollo de cáncer y otros efectos adversos a nivel ecosistémico.

Aunque las tecnologías ómicas han ampliado las posibilidades de estudio, los bioensayos vegetales, especialmente el de micronúcleos, siguen siendo una alternativa práctica, económica y confiable para la evaluación del daño genético en el ambiente.

En este contexto, la evolución de las metodologías analíticas ha permitido complementar los bioensayos tradicionales. La citometría de flujo, en particular, ha

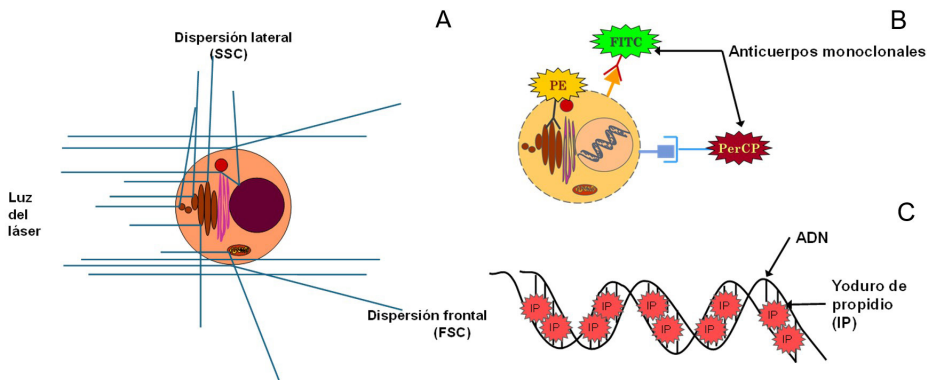
transformado el análisis de micronúcleos al ofrecer mayor rapidez, sensibilidad y capacidad de evaluación a gran escala.

4. CITOMETRÍA DE FLUJO APLICADA AL ANÁLISIS DE MICRONÚCLEOS 7

4.1. PRINCIPIOS Y FUNDAMENTOS

La citometría de flujo (CF) se ha desarrollado como una herramienta capaz de analizar de forma rápida, y en un gran número de células, diferentes características celulares mientras estas viajan en suspensión en un fluido y pasan por uno o varios haces de láser. Cuando la luz incide sobre las células, se generan señales por desviación de luz que al incidir sobre la célula; la luz dispersada frontalmente nos da información sobre el tamaño y la dispersión lateral nos indica la complejidad interna (Figura 3 A). Otras características de las células pueden ser identificada con ayuda de anticuerpos conjugados con fluorocromos que se unan a moléculas de interés (Figura 3 B), y en otros casos los fluorocromos por sí mismos pueden revelar esas características (Figura 3 C), como en el caso de los intercalantes de ácido nucleicos (Pérez-Lara et al., 2018).

Figura 3. Representación de las señales obtenidas de la célula por medio de la luz.



El citómetro de flujo se compone de tres sistemas principales que trabajan en conjunto para identificar múltiples características celulares, también llamadas parámetros (Figura 4):

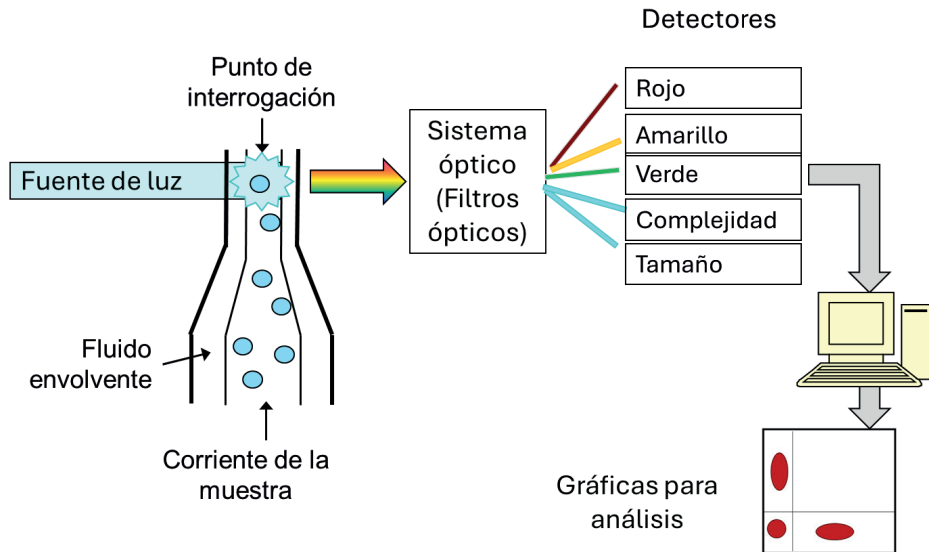
Fluidos: Este sistema se encarga de introducir y alinear las células para llegar al punto donde la luz incide sobre ellas (punto de interrogación).

Óptico: Cuenta con una fuente excitación y colección para incidir sobre las células y generar las señales luminosas y captar esas señales y dirigir las a los detectores.

Electrónico: Se encarga de convertir las señales ópticas en señales electrónicas las cuales son interpretadas por medio de programas de cómputo.

Estos tres sistemas en su conjunto permiten el análisis de múltiples parámetros de las células, así como el contarlas en un gran número (Patiño-Uriostegui et al., 2022).

Figura 4. Representación de los tres sistemas que forman parte del citómetro de flujo.



4.2. VENTAJAS FRENTE A LA MICROSCOPIA CONVENCIONAL

Desde que Anton Van Leeuwenhoek observó y describió la primera célula a través de un microscopio que constaba de un solo lente ocular, la microscopía ha permitido identificar a las células de acuerdo a su morfología; sin embargo, algunas características funcionales o morfológicas requieren el uso de tinciones, pero tienen un límite, por ejemplo, con la tinción de Wright se pueden distinguir a los linfocitos de otros leucocitos, pero sería imposible identificar a un linfocito T de uno B (Pérez-Lara et al., 2018). Si bien, el desarrollo de microscopios de fluorescencia y anticuerpos monoclonales permitieron la identificación de subpoblaciones de células que no sería posible identificar por microscopía de campo claro y de contraste de fases, hay otra limitante, el conteo de un gran número de células para identificar aquellas relacionadas a alguna enfermedad se vuelve impráctico (Shapiro, 2018).

Los citómetros de flujo permiten analizar múltiples parámetros celulares a velocidades variables que permiten obtener datos de un gran número de células en un poco tiempo, además, la capacidad para analizar diferentes tipos celulares provenientes

de diferentes organismos, mientras estén en suspensión, lo que constituyen grandes ventajas para el estudio de las células (Sánchez-Torres et al., 2022).

4.3. DESARROLLO DE LOS PROTOCOLOS PARA EL ANÁLISIS DE MN POR CITOMETRÍA DE FLUJO.

Los ensayos para evaluar daño citogenético por medio de análisis de micronúcleos se han consolidado como una herramienta para evaluar la genotoxicidad de diversas sustancias químicas, tanto en estudios exploratorios como mecanísticos (Elhajouji y Stadelmann, 2019).

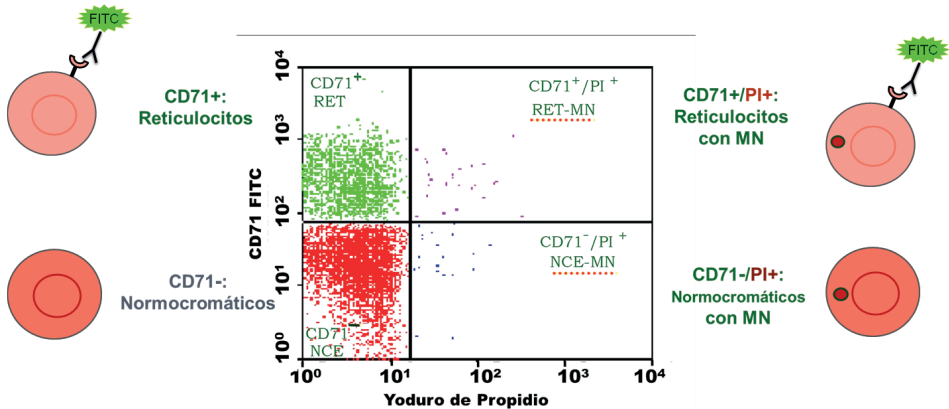
Se han desarrollado diferentes ensayos de micronúcleos que tiene características propias (Sommer et al., 2020). El ensayo de micronúcleos en eritrocitos de médula ósea y de sangre de hámster fue propuesto por Boller y Schmid (Hayasi, 2016). A partir de estos trabajos, se continuó desarrollando para realizarse en ratas y ratones, pero en un inicio, se sugería usar eritrocitos inmaduros (reticulocitos, RET) provenientes de médula ósea (Sommer et al., 2018).

Posteriormente, se desarrollaron protocolos que aplicaban fluorescencia para identificar ADN y proteínas para discriminar eritrocitos anucleados normales de eritrocitos micronucleados, analizándolos por microscopía y citometría de flujo. (Hutter y Stöhr, 1982; Hayasi, 2016).

El grupo Dertinger se enfocó en estandarizar sistemas para el análisis automatizado de MN en reticulocitos de roedores y humanos, basándose en las siguientes estrategias (Figura 5): identificación de eritrocitos jóvenes por inmunomarcaje y tinción del ADN; conteo de un gran número de eritrocitos (Dertinger et al., 2011).

El marcaje con anticuerpos fluorescentes se basa en la identificación de reticulocitos a través del receptor de transferrina que se encuentra expresado solo en los reticulocitos, para lo cual se usa un anticuerpo monoclonal conjugado con un fluorocromo, usualmente el isotiocianato de fluoresceína (FITC). La tinción del ADN se basa en el uso de RNasas para eliminar el ARN y de intercalantes fluorescentes que, al unirse al ADN, facilita la identificación de los micronúcleos. En la Figura 5 se muestra una gráfica de puntos del ensayo de micronúcleos de una muestra de sangre periférica de rata, y al lado de cada cuadrante, se representan a los reticulocitos y eritrocitos sin y con micronúcleos.

Figura 5. Gráfica de reticulocitos y eritrocitos maduros evaluados por citometría de flujo.



Adicionalmente, el uso de anticuerpos CREST permite diferenciar micronúcleos de origen aneugénico (con cinetocoro) de aquellos clastogénicos, aportando información mecánica relevante (Sun et al., 2025).

La identificación de MN por microscopia permite el conteo de 1000 a 2000 células, un número relativamente bajo, por tanto, estadísticamente es una limitante (Lenzi et al., 2018). Por otro lado, la citometría de flujo permitió incrementar la confiabilidad del ensayo en muestras de humanos y otros mamíferos, pues se permite contar un gran número de eritrocitos, hasta un millón (Sommer et al., 2020).

4.4. APLICACIONES Y ALCANCES ACTUALES

Existe un creciente interés en el análisis de micronúcleos en células nucleadas mediante citometría de flujo, tanto en estudios *in vivo* como *in vitro*, incluyendo linfocitos, otras células de mamíferos, líneas celulares y células de otros vertebrados, como peces y reptiles. Para ello, se han propuesto adaptaciones de protocolos basados en citometría de flujo de imagen, con el objetivo de desarrollar análisis automatizados y permitir el almacenamiento de imágenes para su validación posterior (Rodriguez et al., 2018).

4.5. VENTAJAS ANALÍTICAS Y PERSPECTIVAS

Las principales ventajas del análisis de MN por citometría de flujo incluyen:

- Alta capacidad de análisis (hasta 10^6 células)
- Mayor sensibilidad estadística
- Reducción de sesgo del observador
- Posibilidad de análisis multiparamétrico
- Automatización y estandarización

Estas características posicionan a la citometría de flujo como una herramienta complementaria y, en muchos casos, superior a la microscopía convencional para la evaluación de daño genético.

4.6. CONCLUSIONES

La citometría de flujo ha transformado el análisis de micronúcleos al proporcionar una metodología rápida, sensible y reproducible para la evaluación de genotoxicidad. Su capacidad para analizar grandes poblaciones celulares y diferenciar mecanismos de daño la convierte en una herramienta fundamental en toxicología genética, investigación biomédica y aplicaciones clínicas.

REFERENCIAS

Albertini, R., Anderson, D., Douglas, G., Hagmar, J., et al. (2000). IPCS guidelines for monitoring genotoxic effects of carcinogens in humans. *Mutation Research*, 463, 111-172.

Cervantes-Ríos, E., Ortiz-Muñiz, R., Martínez-Hernández, A. L., Cabrera-Rojo, L., et al. (2012). Malnutrition and infection influence the peripheral blood reticulocyte micronuclei frequency in children. *Mutation Research*, 731, 68-74.

Coronel Vargas, G., Izzotti, A., Rosano, C., & La Maestra, S. (2023). Micronucleus induction in *Vicia faba* root tips by crude oil-polluted soil from Ecuadorian Amazon. *Environments*, 10(11), 195. <https://doi.org/10.3390/environments10110195>

Countryman, P. & Heddle, J. A. (1976). The production of micronuclei from chromosome aberrations in irradiated cultures of human lymphocytes. *Mutation Research*, 41, 321-332.

Cruz-Vallejo, V., Ortiz-Muñiz, R., Vallarino-Kelly, T., Cervantes-Ríos, E., & Morales-Ramírez, P. (2019). In vivo characterization of the radiosensitizing effect of very low doses of BrdU in murine cells exposed to low-dose radiation. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 60, 534-545.

Cruz-Vallejo, V., Vallarino-Kelly, T., López-Pavón, S., Quezada-Vidal, J., & Morales-Ramírez, P. (2025). Early and late effects of difluorodeoxycytidine on murine cell radiosensitivity in vivo. *In Vivo*, 39, 3287-3297.

Duan, H., Peng, X., Qin, S., Zhou, Y., et al. (2026). Micronuclei: Origins, assays, mechanisms, diseases and treatments. *Signal Transduction and Targeted Therapy*, 11(1), 114.

Elhajouji, A., & Stadelmann, P. (2019). Micronucleus analysis by flow cytometry. *Methods in Molecular Biology*, 2031, 165-193. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-9646-9_9

Fenech, M. (2002). Micronutrients and genomic stability: A new paradigm for recommended dietary allowances. *Food and Chemical Toxicology*, 40, 1113-1117.

Fenech, M., Knasmueller, S., Knudsen, L. E., Kirsch-Volders, M., et al. (2021). Micronuclei and disease: Aims, scope, and synthesis of outcomes. *Mutation Research Reviews*, 788, 108384.

Garnica-Acuña, S. J., López-Herrera, M., Romero Bautista, L., & Meza Sánchez, M. (2020). Efecto genotóxico y citotóxico del plomo en meristemas radiculares de dos variedades de *Vicia faba* L. y su

- relación con la domesticación. *Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 8(2), 73–82. <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v8i2.181>
- Godoy, K. D. S. P., Spósito, J. C. V., Rocha, A. D. N., Candido, L. S., et al. (2021). Mutagenicity in *Tradescantia pallida* as an indicator of the effect of air pollution and human health. *Atmosphere*, 12, 1185. <https://doi.org/10.3390/atmos1209118>
- Hayashi, M., MacGregor, J. T., Gatehouse, D. G., Adler, I. D., et al. (2000). In vivo rodent erythrocyte micronucleus assay: II. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 35, 234–252. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2280\(2000\)35:3%3C234::AID-EM10%3E3.0.CO;2-L](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2280(2000)35:3%3C234::AID-EM10%3E3.0.CO;2-L)
- Hayashi, M., Sofuni, T., & Ishidate Jr., M. (1984). Kinetics of micronucleus formation in relation to chromosomal aberrations in mouse bone marrow. *Mutation Research*, 127, 129–137. [https://doi.org/10.1016/0027-5107\(84\)90014-9](https://doi.org/10.1016/0027-5107(84)90014-9)
- Hutter, K. J., & Stöhr, M. (1982). Rapid detection of mutagen-induced micronucleated erythrocytes by flow cytometry. *Histochemistry*, 75(3), 353–362. <https://doi.org/10.1007/BF00496738>
- Iqbal, M. (2016). *Vicia faba* bioassay for environmental toxicity monitoring: A review. *Chemosphere*, 144, 785–802. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2015.09.048>
- Kotelnikova, A. D., Rogova, O. B., & Stolbova, V. V. (2021). Lanthanides in the soil: Routes of entry, content, effect on plants, and genotoxicity (a review). *Eurasian Soil Science*, 54(1), 117–134. <https://doi.org/10.1134/S1064229321010051>
- Kwaśniewska, J., & Bara, A. W. (2022). Plant cytogenetics in the micronuclei investigation: The past, current status, and perspectives. *International Journal of Molecular Sciences*, 23, 1306. <https://doi.org/10.3390/ijms23031306>
- Lenzi, M., Cocchi, V., & Hrelia, P. (2018). Flow cytometry vs optical microscopy in the evaluation of the genotoxic potential of xenobiotic compounds. *Cytometry Part B*, 94B, 852–862.
- Lin, Y. F., Hu, Q., Mazzagatti, A., Valle-Inclán, J. E., et al. (2023). Mitotic clustering of pulverized chromosomes from micronuclei. *Nature*, 614, 1041–1048. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-05974-0>
- Misýk, M., Ma, T. H., Nersesyan, A., Monarca, S., et al. (2011). Micronucleus assays with *Tradescantia* pollen tetrads: An update. *Mutagenesis*, 26(1), 215–221. <https://doi.org/10.1093/mutage/geq080>
- Morales-Ramírez, P., Vallarino-Kelly, T., Mercader-Martínez, J., & Rodríguez-Reyes, R. (1994). Induction of micronuclei by acute and chronic exposure in vivo to gamma rays in murine polychromatic erythrocytes. *Mutation Research*, 341, 47–55.
- Morales-Ramírez, P., Vallarino-Kelly, T., & Rodríguez-Reyes, R. (1996). Effect of chlorophyllin on gamma ray-induced micronuclei in polychromatic erythrocytes of murine peripheral blood determined by the ABC strategy. *Mutation Research*, 367, 51–56.
- Morales-Ramírez, P., & Vallarino-Kelly, T. (1998). Pharmacokinetic parameters determined from the clastogenic activity of ethylnitrosourea (ENU) and dimethylnitrosamine (DMN) in mice in vivo. *Mutation Research*, 412, 315–322.
- Morales-Ramírez, P., Miranda-Pasaye, S., Cruz-Vallejo, V. L., Vallarino-Kelly, T., & Mendiola-Cruz, M. T. (2006). Kinetic of genotoxic expression in the pharmacodynamics of busulfan. *Archives of medical research*, 37(3), 316–321. <https://doi.org/10.1002/em.22394>

Morales-Ramírez, P., Vallarino-Kelly, T., & Cruz-Vallejo, V. L. (2008). Mechanisms of DNA breaks induction in vivo by 5-azacytidine: Paths of micronucleus induction by azaC. *Journal of Applied Toxicology*, 28, 254–259.

Ordoñez-Frías, E. J., Domínguez-Rodríguez, V. I., Adams, R. H., Sánchez-Alarcón, J., & Valencia-Quintana, R. (2025). Genotoxic impact of soil contaminated with di(2-ethylhexyl)phthalate and treated by landfarming or chemical oxidation. *Pedosphere*. <https://doi.org/10.1016/j.pedsph.2025.02.002>

Ortiz, R., Cortés, E., González, C., Pérez, L., et al. (1995). Micronucleus frequency in spleen lymphocytes from severely malnourished rats during lactation. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 26, 55–59. <https://doi.org/10.1002/em.2850260108>

Ortiz, R., Cortés, L., González, C., López, L., et al. (1997). Analysis of mitomycin C-induced micronuclei in lymphocytes from malnourished infected children. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 30, 363–370. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-2280\(1997\)30:4%3C363::AID-EM1%3E3.0.CO;2-K](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-2280(1997)30:4%3C363::AID-EM1%3E3.0.CO;2-K)

Ortiz, R., Medina, H., Rodríguez, L., & González-Márquez, H. (2004). Spontaneous and mitomycin C-induced micronuclei in peripheral blood reticulocytes from severely malnourished rats. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 43, 179–185. <https://doi.org/10.1002/em.20009>

Ortiz-Muñiz, R., Cervantes-Ríos, E., Soriano-Correa, C., Campos-Fernández, L., et al. (2024). In vivo genotoxicity and cytotoxicity kinetics of trimethoprim-sulfamethoxazole in well-nourished and undernourished young rats. *In Vivo*, 38, 674–682. <https://doi.org/10.21873/invivo.13488>

Oubane, M., Khadra, A., Ezzariá, A., El Fels, L., et al. (2020). Micronucleus assay based on *Vicia faba* roots as a tool to assess the performances of wastewater treatment systems. *Environmental Technology & Innovation*, 19, 100903. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100903>

Patiño Urióstegui, L. N., & Velázquez Cruz, R. (2022). Fundamentos de citometría de flujo. *Mensaje Bioquímico*, 46, 67–77. <http://biosensor.facmed.unam.mx/mensajebioquimico/wp-content/uploads/2022/06/7-Patin%CC%83o.pdf>

Pérez-Lara, J. C., Santiago-Cruz, W., Romero-Ramírez, H., & Rodríguez-Alba, J. C. (2019). Fundamentos de citometría de flujo: Su aplicación diagnóstica en la investigación biomédica y clínica. *Revista Médica de la Universidad Veracruzana*, 18(2), 41–52. <https://www.medigraphic.com/pdfs/veracruzana/muv-2018/muv182d.pdf>

Quezada-Vidal, J., Cruz-Vallejo, V., Ortiz-Muñiz, R., Cervantes-Ríos, E., & Morales-Ramírez, P. (2024). In vivo Cytotoxic, genotoxic and radiosensitizing effects of clofarabine. *In Vivo*, 38, 1719–1730. <https://doi.org/10.21873/invivo.13622>

Rodrigues, M. A., Beaton-Green, L. A., Wilkins, R. C., & Fenech, M. F. (2018). The potential for complete automated scoring of the cytokinesis-block micronucleus cytome assay using imaging flow cytometry. *Mutation Research Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis*, 836, 53–64. <https://doi.org/10.1016/j.mrgentox.2018.05.003>

Saavedra Negrete, D., Pérez Sánchez, M. del C., Borjas-García, S., & Tiwari, D. K. (2025). Assessment of the genotoxic effects of nanomaterials on plant tissues using *Allium cepa* as the experimental model organism. *Microscopy and Microanalysis*, 31(7), 898–902. <https://doi.org/10.1093/mam/ozaf048.461>

Salazar Mercado, S. A., & Correa, R. D. C. (2024). Examining the interaction between pesticides and bioindicator plants: An in-depth analysis of their cytotoxicity. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(39), 51114–51125. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-34521-1>

Sánchez-Alarcón, J., Bonassi, S., Milić, M., Ramírez-Durán, N., et al. (2026). Micronuclei and nuclear abnormalities in oral mucosa as indicators of genotoxicity in health care professionals. *Toxics*, 14(1), 61.

Sánchez-Torres, L. E., Espinosa-Bonilla, A., & Diosdado-Vargas, F. (2022). La citometría de flujo, un universo de posibilidades en el ámbito veterinario. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 13(3), 763–786. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v13i3.5985>

Shapiro, H. M. (2018). Flow cytometry: The glass is half full. *Methods in Molecular Biology*, 1678, 1–10. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7346-0_1

Sommer, S., Buraczewska, I., & Kruszewski, M. (2020). Micronucleus assay: The state of the art and future directions. *International Journal of Molecular Sciences*, 21, 1534. <https://doi.org/10.3390/ijms21041534>

Sun, X., Dertinger, S. D., Elhajouji, A., Roberts, D. J., et al. (2025). Critical evaluation of methods for the identification of aneugens. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, 66(8), 412–424. <https://doi.org/10.1002/em.70023>

Tavarekere Venkataravanappa, J., Saraswathi, S., Shapur Gopalkrishnashetty, Y., Soman, P., Mitta Lakshminarayana Gupta, N., Srivastava, S., & Kumari, S. (2025). *Allium cepa* L. as a bioindicator: A comprehensive review of genotoxicity and cytotoxicity assessment methods. *Toxicon*, 267, 108586. <https://doi.org/10.1016/j.toxicon.2025.108586>

Usman, M., Woloshynowych, M., Britto, J. C., Bilkevic, I., et al. (2021). Obesity, oxidative DNA damage and vitamin D as predictors of genomic instability in children and adolescents. *International Journal of Obesity*, 45(9), 2095–2107. <https://doi.org/10.1038/s41366-021-00879-2>

Valencia-Quintana, R., Alarcón, J. S., Gómez-Arroyo, S., Eslava, J. C., et al. (2013). Genotoxicidad de plaguicidas en sistemas vegetales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 29, 133–157. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37028958008>

CAPÍTULO 2

EL CURRÍCULUM OCULTO Y SUS EFECTOS EN LAS ESCUELAS DE ODONTOLOGÍA

Data de submissão: 26/05/2026

Data de aceite: 10/06/2026

Jesús Rivas Gutiérrez

Universidad Autónoma de Zacatecas

México

<https://orcid.org/0000-0001-7223-4437>

Elsa Gabriela Chávez-Guajardo

Universidad Autónoma de Zacatecas

México

<https://orcid.org/0000-0002-2046-5177>

Gloria Martha Álvarez Morales

Universidad Autónoma de Zacatecas

México

<https://orcid.org/0009-0001-1116-5463>

Joana Etzel Rodríguez Raudales

Universidad Autónoma de Zacatecas

México

<https://orcid.org/0009-0001-5379-5236>

Claudia H. Maldonado-Tapia

Universidad Autónoma de Zacatecas

México

<https://orcid.org/0009-0004-6321-2729>

Carla Sofía Padilla-Arellano

Universidad Autónoma de Zacatecas

México

<https://orcid.org/0009-0006-7215-5986>

Nelly Alejandra Rodríguez Guajardo

Universidad Autónoma de Zacatecas

México

<https://orcid.org/0000-0001-8159-5621>

RESUMEN: El presente trabajo tiene como objetivo analizar el papel del currículum oculto en la formación de estudiantes de odontología, identificando sus principales manifestaciones y efectos en el proceso educativo-formativo. A partir de una revisión teórica y documental de la literatura especializada, se examinan los aportes de autores como Philip Jackson, Pierre Bourdieu y Basil Bernstein para comprender cómo las relaciones de poder, los procesos de socialización y las dinámicas institucionales influyen en la construcción de actitudes, conductas y valores profesionales dentro de las escuelas de odontología. El análisis evidencia que, además de los contenidos explícitamente establecidos en el currículum formal, existen aprendizajes implícitos que condicionan la interacción entre docentes y estudiantes, contribuyendo a la reproducción de normas, jerarquías, formas de comunicación y mecanismos de control social. Asimismo, se destaca que el currículum oculto puede generar efectos tanto positivos como negativos en la formación profesional, influyendo en la identidad, el desempeño académico y las prácticas futuras de los estudiantes. Se concluye que reconocer y comprender la presencia del currículum oculto

constituye un elemento fundamental para reflexionar sobre los procesos educativos en odontología y fortalecer una formación profesional más crítica, ética e integral.

PALABRAS CLAVE: curriculum oculto; formación odontológica; educación superior; socialización educativa; identidad profesional; cultura institucional.

THE HIDDEN CURRICULUM AND ITS EFFECTS ON DENTAL EDUCATION

ABSTRACT: The present study aims to analyze the role of the hidden curriculum in the education of dental students, identifying its main manifestations and effects on the educational and training process. Based on a theoretical and documentary review of the specialized literature, the contributions of authors such as Philip Jackson, Pierre Bourdieu, and Basil Bernstein are examined to understand how power relations, socialization processes, and institutional dynamics influence the construction of professional attitudes, behaviors, and values within dental schools. The analysis shows that, in addition to the content explicitly established in the formal curriculum, there are implicit forms of learning that shape interactions between teachers and students, contributing to the reproduction of norms, hierarchies, communication patterns, and mechanisms of social control. Furthermore, the hidden curriculum may generate both positive and negative effects on professional education, influencing students' identity, academic performance, and future professional practices. It is concluded that recognizing and understanding the presence of the hidden curriculum is essential for reflecting on educational processes in dentistry and for promoting a more critical, ethical, and comprehensive professional education.

KEYWORDS: hidden curriculum; dental education; higher education; educational socialization; professional identity; institutional culture.

1. INTRODUCCIÓN

En las instituciones educativas con programas académicos del área de la salud, en particular del campo de la odontología se hacen y suceden muchas cosas que afectan y/o condicionan positiva o negativamente el proceso educativo-formativo de los alumnos, en específico el asunto de la enseñanza-aprendizaje. Este fenómeno se manifiesta objetiva y subjetivamente a través de las actitudes, conductas y acciones de los docentes y de los alumnos, quienes a su vez cada uno responde a la dimensión subjetiva y abstracta de su *yo interno*, es decir, su parte más interna, auténtica y profunda que abarca sus verdaderos pensamientos, emociones, valores, creencias y motivaciones, independientemente de los estereotipos sociales o expectativas externas que los lleva a actuar inconscientemente dentro de la institución educativa, conectando su intuición y su esencia verdadera (*así debo de ser, así soy, así puedo de ser*).

Esas instancias educativas conocidas como escuelas son entidades constituidas por una dimensión física y objetiva (infraestructura) y otras dimensión inmateriales, subjetivas y muchas veces abstractas, la primera la constituye los salones, laboratorios,

clínicas, oficinas, auditorios y otros espacios físicos, las otras dimensiones están estructuradas por la ideología, finalidad e intención plasmadas en su Misión, Visión y Objetivos, así como el señalamiento de sus formas de organización, control y evaluación (supraestructura y estructura), todo ello plasmado implícitamente y explícitamente en lo que se conoce como currículum formal institucional escrito.

2. METODOLOGÍA

El presente trabajo corresponde a un estudio de carácter teórico-reflexivo desarrollado mediante revisión documental de literatura especializada sobre currículum oculto, educación superior y formación odontológica. Para ello se analizaron aportes de autores clásicos y contemporáneos, con especial énfasis en los planteamientos de Philip Jackson, Pierre Bourdieu y Basil Bernstein, buscando comprender las manifestaciones e implicaciones del currículum oculto en los procesos educativos de las escuelas de odontología.

3. QUÉ ES EL CURRÍCULUM FORMAL INSTITUCIONAL

Es un documento institucional escrito, por la misma comunidad educativa-escolar de la propia institución o por entidades externas a ella, que enuncia y da cuerpo, organización y concreción al plan educativo, formativo, cultural y profesional que la institución escolar pretende hacer realidad dentro de determinadas condiciones que contextualizan y matizan ese proyecto, funciona como guía o eje conductual y normativo para administradores, docentes y alumnos, que define *el qué, el cómo, el por qué y el cuándo enseñar y evaluar* para lograr los objetivos, metas y competencias por medio de contenidos académicos y metodologías pertinentes, adecuadas y sistematizadas pretendiendo con ello garantiza la calidad y equidad educativa. Su propósito es generar procesos de socialización entre administradores, docentes y alumnos bajo el establecimiento de normatividades que regulan y controlan la interacción educativa para aprender a convivir, gestionar y seguir rutinas (rituales) diarias (Uquillas, M., 2017).

Además de formar e instruir disciplinadamente a los futuros profesionista del campo de la odontología, crea identidades y actitudes al moldear, corregir o sustituir creencias, expectativas y valores a través de la transmisión de modelos educativos curriculares a seguir, sirve para generar y cultivar desempeños preestablecidos y confianza en los docentes y alumnos para motivar el esfuerzo necesario para ser un buen docente o buen alumno y posteriormente un buen profesionista y reducir las brechas sociales, económicas y de género.

De manera señalativa, el constructo mental y cognitivo o imagen del curriculum se puede visualizar y entender como la representación o estructura formada por creencias, conceptos, esquemas que la autoridad educativa, el docente o el alumno utiliza para organizar, interpretar y predecir aspectos o eventos, aunque no sean directamente observables, que guían el camino y que regulan el proceso educativo y formativo, una de sus intenciones es homologar circunstancias históricas, sociales, económicas, políticas y los intereses personales y grupales de la comunidad escolar y académica adscrita a una institución educativa, la prospectiva curricular del proyecto educativo es lograr un desarrollo social amplio basado en una formación integral y el desarrollo de las capacidades de los alumnos y de la sociedad en los contextos local, regional y nacional y aunque se pretende ese efecto universal en la realidad resulta bastante difícil para la escuela lograrlo en los hechos.

Dentro del discurso oficial, casi siempre se dice o menciona que este documento tiene entre otras muchas más bases un carácter humanista, lo cual le da cierta orientación a la formación de los futuros egresados para que sean capaces de ejercer su profesión con responsabilidad ética, moral, social y ambiental, así como promover en ellos una participación equitativa, activa, crítica y constructiva ante la sociedad, proyectando, sustentando y fortaleciendo la formación académica sobre un tejido académico, científico y tecnológico, para todo eso la sociedad delega y confía esa función y tarea a la institución que se conoce como escuela (espacio físico o virtual) para lograr tal fin (Marín Idarraga, D.A., 2013).

Aunque el discurso institucional y curricular así lo afirma, en los hechos siempre suceden en las escuelas cosas diferentes o contrarias a lo que se pregona oralmente o de lo que está escrito, es decir que se revelan tanto en autoridades como en docentes y alumnos actitudes, conductas y acciones que contradicen al curriculum formal consecuencia de la influencia positiva o negativa que suele tener en ellos lo que se conoce como curriculum oculto o currículo implícito o curriculum no oficial o currículo tácito y que de una manera u otra impacta en el proceso de enseñanza y/o de aprendizaje. Esta situación no es otra cosa más que una lucha de poderes entre ambos curriculum, en este caso, el poder generado y la efectividad dependerá del bagaje cultural de cada uno de los actores que intervienen en el proceso educativo-formativo versus con la propuesta ideología curricular de la institución, que dicho sea de paso y tal como lo establecido Bourdieu es una imposición cultural arbitraria pues como el termino lo denomina, es algo impuesto pues nunca se preguntó a los alumnos o familiares si eso es lo que buscan.

Por un lado, Pierre Bourdieu quien teoriza sobre la estructura de lo que se reproduce a través de las acciones de las autoridades, docentes, alumnos y hechos al

interior de las escuelas y por otro, lo que Basil Bernstein señala referente a como se transmite la cultura hegemónica en base al lenguaje y las relaciones de comunicación, ambos nos otorgan dos asideras teóricas-conceptuales para tratar de explicar y entender como durante el proceso educativo-formativo se forman las identidades y personalidades de docentes y alumnos y su pertenencia a determinados grupos sociales y como beneficia o perjudica lo que se pretende enseñar, escrito o no escrito.

4. CURRÍCULUM OCULTO, ALGUNAS MANIFESTACIONES E IMPACTOS

El currículum oculto, al igual que el formal e institucional, es un instrumento que sirve para la transmisión inconsciente o consciente de un tipo de cultura específica a los ciudadanos y para el caso que nos ocupa, de los docentes y alumnos; esta transmisión cultural puede servir negativamente como medio de control social, político y educativo por medio de la inculcación del conjunto de rasgos distintivos, espirituales, costumbres, conocimientos, creencias, significados, arte, leyes, materiales e intelectuales y valores afectivos que caracterizan y son compartidos por un grupo social, limitando con ello la libertad, autonomía e iniciativa de la planta docente o del alumnado y por consiguiente generando dependencia, pero también puede influir positivamente para estimularlos, motivarlos o condicionarlos para que piensen, sientan y actúen de determinada forma como medio para lograr el fin que persigan acorde a su tiempo histórico-social que viven y esforzarse aún más para lograrlo, independientemente de que a final se puede trancar o alcanzar. En ambos casos, este tipo de currículum nunca se encontrará explícito o implícito en ningún documento oficial de la institución educativa (Briceño Núñez, E., 2024).

Al pensar y hablar de él, nos podemos dar cuenta y entender que es un concepto escurridizo, que se refiere a discursos, conductas y acciones no planeadas, no reconocidas y a veces no intencionales, sumamente muy efectivas y que se presentan, manejan y aprehenden en el contexto e interrelaciones escolares tanto por el docente como por el alumno; la diversidad de su impacto y manifestaciones dependerá del contexto y momento, así como de la significación e interpretación que se le dé. Dentro de la educación de los alumnos de las licenciaturas en odontología, el currículum oculto realiza entre otra cosa, la función de formación de identidades, actitudes y conductas frente a las autoridades educativas, sus docentes, compañeros de clase y principalmente ante el aprendizaje y los pacientes, así como también colabora para la interpretación y desciframiento de la realidad que este viviendo o se quiere construir, reforzando o transformando normas sociales, educativas, académicas y profesionales escritas y no escritas, al mismo tiempo puede influir y alterar sus expectativas e incrementar su confianza en todo sentido.

De manera general el curriculum oculto puede marcar y condicionar la imparcialidad, la igualdad y la inclusión de aspirantes a ingresar a la educación superior o algún posgrado dentro del campo de la odontología, puede lograr reproducir y mantener por mucho tiempo las desigualdades y la discriminación, reforzar los estereotipos y limitar las oportunidades para ciertos alumnos debido a la interpretación e interiorización de ciertas disciplinas, sanciones o castigos bajo el argumento de que son las adecuadas y pertinentes, por ejemplo, la forma como está organizada la institución educativa valorando y promoviendo ciertos valores, actitudes y comportamientos puede determinar la forma como el docente y/o el alumno se ve y ubica su lugar dentro de la institución y en un futuro como profesionistas dentro de la sociedad, si esta es incluyente o no, si promueve la diversidad y la interculturalidad, estas situaciones están predeterminadas dependiendo de la forma como se descifra y se interpretan los mensajes enviados por el docente o el alumno en referencia a lo que no está escrito, esto sucede a pesar de que el curriculum formal e institucional contenga una estructura correcta, una organización adecuada, una impartición de cursos bien planeada, todo ello es opacado y rebasado por la fuerza intrínseca de los mensajes y significaciones subconsciente y subliminales que coincidan con las aspiraciones del docente o alumno en relación a como se visualizan como profesionales de la enseñanza, ante el aprendizaje o como profesional de la odontología (Lugo M.J.A., Menéndez, C.J.A., Medina, V.E., *et al.*, 2023).

5. LA EDUCACIÓN ODONTOLÓGICA BAJO LA SOMBRA DEL CURRÍCULO OCULTO

La evolución histórica del concepto de curriculum oculto ubica a Philip Jackson como el primer teórico que utilizó este concepto en su libro "La vida en las aulas" (Life in Classrooms), publicado en 1968, posteriormente fue Frederic Hafferty quien a finales de los años 90's retomó el concepto y lo fue desarrollando aún más aplicándolo para describir aspectos de la cultura y contexto institucional en que se desenvolvía la formación de los alumnos del área de la salud, entre ellos los que cursaban la carrera de odontología; a partir de entonces se ha podido descifrar y describir el fenómeno oculto de transformación que se manifiesta durante la formación profesional en estas escuelas, este planteamiento teórico-conceptual a dado a entender en muchos sentidos el por qué cuando se realiza una reforma curricular por sí sola es insuficiente para generar los cambios diseñados y planeados en la formación de los alumnos y en las actitudes, conductas y acciones de la planta docente que se deben de manifestar dentro de los salones de clases, laboratorios y en particular dentro de las clínicas.

Precisamente ahí, dentro de las clínicas escolares odontológicas, es donde el currículum formal establece que el ejercicio profesional que realice un alumno frente a un paciente debe considerar y manifestar las características de mostrar preocupación y compromiso con la salud, ser ético, honrado y confiable, actuar con la mayor responsabilidad individual y social posible, así como identificarse con los valores éticos y morales de la profesión, estar al pendiente de la aparición de nuevas tecnologías para realizar diagnósticos más asertivos, claros, firmes y honestos, indicar tratamientos más efectivos y pertinentes al mismo tiempo que le informa y explica al paciente que terapéutica se realizara y por qué, a razón de que es un derecho del paciente estar correctamente informado sobre el proceder clínico y la causa de ello, así como también es una obligación del alumno hacerlo.

Eso debería ser el reflejo del *deber ser*, pero en muchos casos la realidad muestra otra cosa pues a pesar del señalamiento preciso dentro del documento curricular donde se menciona la importancia de esas actitudes, conductas y acciones en muchos alumnos no sucede así y ocurre lo contrario en varios aspectos, (deshonestidad, tardanza, desconsideración, desaire, agresividad, despreocupación, etc.), debido a que ellos consciente o inconscientemente durante los momentos de interacción clínica sienten que no obtendrán un adecuado beneficio atendiendo a determinado tipo de pacientes debido a que esa sensación se les ha creado por los mensajes subliminales que han recibido de manera deliberada o no de su docente clínico u otros, así como también de parte de otros alumnos (principalmente de semestres superiores), sobre normas y valores no escritas que condicionan su ejercicio profesional como alumnos que de una manera u otra quebrantan las indicaciones y recomendaciones formales e institucionales contempladas en los documentos y programas educativos (SCIMAGO INSTITUTIONS RANKINGS., 2014).

Los alumnos adquieren conocimientos y principalmente actitudes y conductas en los proceso de socialización referentes a la cultura organizacional que se presentan y como se deben de desempeñar en los salones, laboratorios y clínicas y fuera de ellos, es decir obtienen a través del currículum oculto de manera no explícita, características y valores profesionales para desenvolverse, sobresalir o sobrevivir dentro de la institución educativa, las características y el perfil que contextualizan al profesional de la odontología es la parte más absorbente de esos mensajes originados por el currículum oculto; los alumnos en las interacciones que se dan en todos esos espacios aprehenden valores, actitudes y conductas sin que necesariamente lo pidan y les sean enseñadas.

6. EL CURRÍCULO OCULTO Y LAS ACTITUDES, CONDUCTAS Y ACCIONES DE LOS ALUMNOS (LA REPRODUCCIÓN)

Resulta interesante y significativo señalar que muchas de las actitudes, conductas y acciones que los alumnos que cursan la licenciatura en odontología y que las presentan y manifiestan al interior de la institución educativa, no tienen totalmente su génesis ahí, sino que es el resultado de un bagaje educativo y cultural que ya traen y que han acumulado a lo largo de su vida y la interacción con otras personas desde la casa, con la familia y con los amigos, solo que este marco referencial se va utilizando de acuerdo al contexto y situación que se les presenta; ese bagaje cultural les ha servido entre otras muchas más cosas para sobresalir, vivir o sobrevivir gracias a la significación que ha realizado de cada experiencia vivida, aprendida y aprehendida, por ejemplo han aprendido a seleccionar la calidad de la información recibida, valorándola o sobrevalorándola dependiendo de los resultados o beneficios obtenidos o que puedan obtener al utilizarla, esa misma información por lo general no la utiliza aisladamente sino que la amalgaman con otras para potencializar el resultado, este proceso se realiza la mayoría de las veces de manera inconsciente y es tan efectivo que siempre que el contexto le presente una situación similar, que puede ser agradable, desagradable o problemática su subconsciente lo utilizará.

En un salón de clases, laboratorio, clínica, oficina o pasillos que forman parte de la institución educativa sucederá la misma situación de reproducción. Al respecto Pierre Bourdieu nos expone como la escuela (prácticamente de todos los niveles con diferencia en el interés que persigue el docente o alumno), continúa fortaleciendo y al mismo tiempo perpetuando los comportamientos, conductas y acciones, alimentándolas con un discurso diferente pues en cada contexto la comunicación específica que surge dentro de él lo sustenta y lo promueve en determinada dirección, hacia lo social, lo educativo, lo profesional, lo laboral, lo económico y hasta lo político.

Como se refirió anteriormente, al interior de la escuela entre ambos currículos (formal y oculto) se da una lucha de poderes, donde por lo general el que es más efectivo es el oculto, el cual a través de lo que Bourdieu llama *violencia simbólica* se sustenta y aplica, esta acción puede ser utilizada por una autoridad educativa, un docente o por otro alumno para imponer sus intereses, decisión u opinión, este tipo de violencia (que para nada es física), consiste en la utilización de símbolos o rituales propios del contexto escolar y su significado para que a través de ellos se reconozca, se valide y se acepte la intención que se persigue, por ejemplo el reconocer al docente como una autoridad pedagógica a la cual no se le debe cuestionar ni dudar de lo que dice y hace durante su trabajo y acción pedagógica, el alumno al manifestar ciertas conductas en

relación a la imposición de esa autoridad puede llevar la intención de obtener ciertos privilegios y beneficios o por otro lado, aceptar sumisamente las imposición sobre la pena de ser acreedor de algún castigo o sanción, el docente a través del trabajo y la acción pedagógica transmite e impone valores y normas de la clase dominante y al mismo tiempo hace dependiente por comodidad o por coerción al alumno, el reconocimiento y aceptación basa su poder y efectividad en la cantidad de capital cultural que posea tanto el docente como el alumno, es decir, mientras menos capital cultural tenga el alumno más fácilmente aceptara la imposición arbitraria de “algo” sin protestar y mientras mayor sea su capital cultural se puede aceptar la imposición, aunque al aceptarlo es posible que se tergiverse conscientemente hacia un fin más preciso y elegido que generalmente será la obtención de un beneficio, bajo ese contexto el curriculum oculto transforma el resultado o impacto en un privilegio, premio o castigo individual o colectivo reproduciendo las diferencias, inequidades y las clases sociales al interior de la escuela sin que eso parezca un acto de fuerza (Ávila Frances, M., 2005).

Partiendo de la idea de que el curriculum formal e institucional supone una elección arbitraria de contenidos culturales se ha dado lugar a que alguna formas de conocimiento y cultura sean considerado valioso, legítimo y necesario de trasmitirse mientras que otros sean excluidos o relegados, en ese sentido, tanto el docente como el alumno están constantemente revalorando su valor e importancia y a partir de su experiencia y del provecho que puedan obtener de ello determinan que es importante enseñar-aprender o no y esa elección la utilizan para su beneficio (curriculum oculto). Rachel Sharp cito que ni el curriculum formal ni el oculto tienen validez esencial, que depende de la interpretación, aceptación e interiorización que las autoridades educativas, los docentes y los alumnos hacen de él para ser legitimado y con ello permitir la diferenciación y estratificación social, la importancia de este mecanismo legitimador es enorme, ya que la naturaleza del conocimiento transmitido da lugar al interior de la escuela de la adquisición de cierto tipo de cultura constituida por determinadas formas de percepción y de pensamiento subjetivo, de creencias específicas acerca de lo que es verdad o no, de lo que es importante, valioso o no, en otras palabras, tanto el conocimiento como el lenguaje y la comunicación que se utiliza para su transmisión tienen un poder estructurante para entender la realidad o reescribirla para obtener un beneficio, justificar un castigo o un mayor estatus y reconocimiento al interior de la institución educativa (Sharp, R., 1982).

Basil Bernstein estableció que las relaciones de poder y de clase que se dan al interior de las instituciones educativas generan, distribuyen, reproducen y legitiman formas características de comunicación que transmiten códigos, esos códigos colocan

de forma diferenciada a las autoridades educativas, docentes o alumnos en el proceso de adquisición de los mismos, esta definición señala cómo la distribución de poder y de control en una sesión de enseñanza-aprendizaje reproduce y legitima los principios que regulan las relaciones dentro y entre los grupos. Con ello señala que durante las relaciones e interacciones sociales que se dan e intervienen en el proceso educativo-formativo del odontólogo se evidencian, fortalecen o debilitan las desigualdades en la distribución del poder y los principios de control que a su vez se traducen en la creación, distribución, reproducción y legitimación de los valores físicos y simbólicos (citado por Ávila Frances, M., 2005).

Valores y acciones como la generosidad, humanidad, respeto, tolerancia, cuidado, integridad y comunicación pueden ser entendidas como habilidades complejas que son tempranamente y rápidamente aprendidas y aprehendidas por los alumnos cuando se enfrentan a experiencias que forman parte del currículo formal, pero es importante aclarar que si bien son parte de este currículum su aprendizaje significativo y real se da en el ámbito del currículo oculto cuando se percibe o se recibe información o resultados más provechosos para su beneficio o perjuicio personal, aprender a hacer lo correcto no siempre le es provechoso al docente o al alumno, sino que a través de distintas experiencias algunas incluidas en actividades tan simples y sencillas como observar como un docente saluda a un paciente, le comunica una noticia y protege su privacidad ante el examen clínico y por ello es considerado un buen docente solamente o escuchar una conversación casual, degradante y ofensiva en el pasillo entre docentes o compañeros acerca de un paciente y ser sancionados por ello por alguna autoridad y por el contrario haciéndolos más populares, muchas veces estas situaciones ocurren sin intención formativa explícita, pero provocan experiencias que dejan huellas positivas o negativas en los alumnos.

Con el paso del tiempo y ante la imperante necesidad de poder explicar los fenómenos negativos o positivos pero contrarios al currículum formal, se ha acudió a las explicaciones conceptuales y teóricas referentes a la acción y efecto del currículum oculto para poder explicar los aprendizajes contrarios al *deber ser*, la motivación e interés de trabajar para mantener la salud de los pacientes y como esto se puede transformar en una actitud profesional o por el contrario actuar con una actitud de insolencia, apatía y hasta de abuso y agresión; a pesar de estar prohibido normativamente so pena de castigo o sanción por difundir información confidencial de los pacientes o hablar mal de las autoridades, docentes u otros alumnos, el currículum oculto enseña o desarrolla la capacidad para sacar provecho de ello y ayuda a encontrar cómo utilizar otros medios

para mantener en secreto la autoría de esos mensajes, obviamente estos mensajes conllevan una intención donde el autor obtiene un beneficio y al mismo tiempo un daño hacia quien va dirigido, los silencios al igual que los mensajes orales o escritos igualmente generan aprendizajes, bajo esta situación dualmente conviven en la misma escuela y en las mismas personas comportamiento explícitos e implícito de buen alumno, profesionista, compañero o profesional o lo contrario a razón y como consecuencia también de mensajes significativos e interiorizados bajo el mismo proceso que sus antagonistas.

7. INEVITABLE SU PRESENCIA EN LA FORMACIÓN ODONTOLÓGICA

Su presencia y efectos (negativos o positivos) en las instituciones educativas del campo de la odontología es inevitable y prácticamente imposible de evitar, pues como ya se mencionó su origen no es ahí, el curriculum oculto empieza a aparecer a la par que se empieza a enseñar e interiorizar en las personas normas, leyes, reglas, pautas, políticas y cualquier otra cosa escrita o no escrita que tengan la intención de regir, normal controlar, premiar, castigar o sancionar las actitudes, conductas o acciones de las personas, lo que sucede es que dependiendo de cada contexto, situación, intención estas se van enriqueciendo y adecuando conforme se va requiriendo, por ello cuando se ingresa a una licenciatura de odontología, durante la enseñanza y formación se ponen en acción distintas facetas profesionales técnicas, científicas, institucionales que tienen que ver con los intereses educativos, sociales profesionales y económico del alumno, que a veces involuntariamente no están incluidas en los currículos formales, siendo la mezcla de estos elementos mencionados el caldo de cultivo que determina el tiempo, la magnitud y la duración de las actitudes, conductas y acciones y de sus efectos (Achoy Murillo, L.Z., Sosa Flores, A.P., Singh Cárdenas, A.J., 2018).

El hecho de reconocer que esto existe y que influye significativamente en la formación de los futuros profesionales de la odontología debe de ser motivo de reflexión en ello para aceptar que hay muchas cosas durante el proceso educativo-formativo que se aprenden y aprehenden por fuera de lo previsto y escrito cuando se quiere descubrir y descifrar las causas del bajo desempeño del docente o el escaso aprendizaje del alumno reportado en los informes ejecutivos finales de los docentes y evaluadores después de los procesos de valoración interna o externa.

8. REFLEXIONES

Pensar y descifrar lo que sucede al interior de los salones de clase, laboratorios y clínicas de las escuelas de odontología, como lo expresa Philip W. Jackson en su libro

La vida en las aulas, es una tarea difícil, compleja, meticulosa y que requiere demasiada paciencia debido al sinfín de situaciones, fenómenos y hechos que se suscitan ahí, predeterminados y contextualizados por la cultura y la idiosincrasia que se manifiesta en los intereses y en las interacciones entre docentes-autoridades, docentes-alumnos, docentes-docentes, alumnos-autoridades, alumnos-alumnos, en donde se cruzan e interrelacionan las directrices de dos currículum que luchan por imponerse, en ambos casos el conocimiento y aprendizaje que hallan acumulado a lo largo de su vida cada uno de los que intervienen en esa interacción determinara cuál se sobrepone a cuál, en esta batalla por lo general el que se impone es el currículum oculto debido a la fuerza de los beneficios que se pueden obtener inmediatamente o a corto plazo, por ello y porque casi siempre es más sencillo y fácil de exteriorizar y seguir resulta más efectivo y eficiente (Jackson, P.W., 2001).

Como ya se ha señalado, el currículum oculto no necesariamente es algo contrario al currículum formal, pero si puede llegar a ser muy diferente y útil el aplicarlo para tener éxito o sobrevivir en el transcurso escolar y académico, en ese sentido, los alumnos consciente o inconscientemente aprenden los significados, impacto e importancia de ciertas actitudes, conductas y acciones y poco a poco aprehenden muy bien cuándo y dónde aplicarlas para salir bien librados y obtener lo que se busca como en los casos de presentación de alguna clase, realización de algún tratamiento clínico bajo la mirada del docente, evaluaciones escritas u orales y también durante otros momentos de interacción escolar, académica o simplemente social al grado de llegar a convertir a quien lo aplica y ejerce en un experto manipulador del proceso educativo.

Por ejemplo, si desean sentir mal e incómodo al docente por alguna razón personal previa, manifiestan actitudes de despreocupación, indiferencia y hasta llegar al grado de ignorarlo por completo y generar distractores entre los demás alumnos para potencializar el efecto deseado. Eso puede estar sucediendo por un lado, pero como ya se mencionó dentro de un salón de clases se dan luchas de poder en donde se entrecruzan finalidades e intenciones escritas y no escritas curricularmente, cuando el alumno intenta imponer su voluntad e intención, el docente al igual que el alumno, puede contar con estrategias para contrarrestar e imponer su autoridad pedagógica y controlar la situación por medio de la utilización del sinfín de herramientas que tenga para ello como puede ser aplicar sanciones, castigos, señalamientos, evaluaciones, etc. todo ello manipulado y utilizado como una violencia simbólica y respaldado por el reconocimiento que se le da de autoridad pedagógica, situación en la cual no tiene necesidad de utilizar fuerza física para controlar el ambiente.

En otras ocasiones se pueden encontrar situaciones donde el docente por alguna razón desea bloquear el avance de algún alumno y utiliza la ventaja de su mayor conocimiento para que no solo no aprenda el alumno, sino para que piense que no puede aprender lo que le están enseñando, utilizado un lenguaje académico demasiado alto, atiborrándolo de preguntas en clase difíciles de contestar, por otro lado y al mismo tiempo puede estar utilizando a otros compañeros o compañeras para evidenciar que ellos si saben y poniéndolos en un estatus más alto y evidenciando que nunca será como ellos.

Aceptar la existencia del curriculum oculto y reconocer que siempre estará presente dentro de las escuelas y actuará durante las interacciones como una paradoja que parece contradecir la lógica o el sentido común del proceso educativo, pero que tras un análisis profundo resulta ser cierta y se revela una verdad oculta que supone una legitimación significativa y relevancia respecto a la complejidad del proceso educativo-formativo y el hecho de que presenta dimensiones que no pueden ser controladas y aprehendidas por los métodos tradicionales, asimismo es el primer paso para estudiar e investigar este fenómeno con teorías y construcciones metodológicas apropiadas.

La realidad al interior de las escuelas de odontología es que algunas cosas se pueden ver y medir y luego existen y es posible explorarlas y analizarlas, otras que por el contrario difícilmente se pueden ver y percibir objetivamente debido que operan por debajo de lo aparente, más allá de lo evidente y que son oscuras y difícil de demostrar como es el caso de la violencia, las coerciones y el juego de fuerzas utilizando los símbolos y rituales escolares, todo lo cual existe en las sombras y en lo profundo de las propias normas, ritos y rutinas, la institución educativa no pueden evitarlo y además lo permite veladamente pues permite su funcionamiento y mantenimiento del orden jerárquico escolar, académico y social.

9. CONCLUSIONES

Reconocer y entender la necesidad institucional de la existencia del curriculum oculto es una tarea difícil y complicada, por un lado, el encontrarse con distintas formas de verlo y por otro lado reflexionar acerca de la forma como se imbrica en la esencia de la tarea educativa y formativa lo complejizan, por ello con el paso del tiempo se ha interpretado y significado de diferentes formas. Para nosotros representa un constructo mental y cognitivo que sintetiza un conjunto de aprendizajes invisibles, tácitos, de los que no se habla fácilmente, pero que pueden ser sentidos holística, subjetivamente y diferenciados de todo lo que la organización curricular formal establece como parte y medio para la enseñanza de la odontología; dichos aprendizajes, que pueden ser

Lugo M.J.A., Menéndez, C.J.A., Medina, V.E., *et al.* (2023). Currículo oculto en educación médica: conceptos y dimensiones. Revisión de alcance. *Revista Medicina Interna de México*, Vol. 39, No. 6. Consultado en: <chrome-extension://efaidnbnmnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.medigraphic.com/pdfs/medintmex/mim-2023/mim236f.pdf>.

Marín Idarraga, D.A. (2013). La estructura del currículo en administración: Un estudio desde el isomorfismo institucional. *Estudios Gerenciales*, Vol. 29, No. 129. Consultado en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0123592314000837>.

SCIMAGO INSTITUTIONS RANKINGS. (2014). Modelos, mercado y poder: elementos del currículo oculto que se revelan en la formación en odontología. Consultado en: <https://www.scielo.br/j/tes/a/VDqbLDmN5kwsRTK8PBVSz7C/?lang=pt>.

Sharp, R. (1982). Etnografía autónoma o una ciencia de las formas fenoménicas y las relaciones internas. Vol. 164, No. 1. Consultado en: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/002205748216400105#tab-contributors>.

Uquillas, M. (2017). Acercamiento al curriculum. *Revista Educación, Arte, Comunicación: Revista Académica E Investigativa*, No. 4. Consultado en: <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/eac/article/view/290>.

CAPÍTULO 3

EFFECTO DEL SOLVENTE EN LA EXTRACCIÓN POR ULTRASONIDO DE FENOLES Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DEL APIO (*Apium graveolens*)

Data de submissão: 22/04/2026

Data de aceite: 06/05/2026

Gisela Palma-Orozco¹

Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología
Departamento de Bioingeniería
Instituto Politécnico Nacional
Ciudad de México, México
<https://orcid.org/0000-0003-2527-4131>

Lorena Marian Calles-Soriano

Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología
Departamento de Bioingeniería
Instituto Politécnico Nacional
Ciudad de México, México

Cybelles Darian García-Mancera

Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología
Departamento de Bioingeniería
Instituto Politécnico Nacional
Ciudad de México, México

Carlos Orozco-Álvarez

Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología
Departamento de Bioingeniería
Instituto Politécnico Nacional
Ciudad de México, México
<https://orcid.org/0000-0002-5145-6791>

¹ Corresponding author

RESUMEN: El apio presenta un aporte de antioxidantes debido al contenido de vitamina C, carotenos, polifenoles y clorofila. Existen diferentes procesos de extracción para los compuestos bioactivos, la extracción por ultrasonido es un método eficaz que se usa como tecnología emergente. El objetivo fue evaluar la capacidad antioxidante y el contenido de fenoles totales por el método convencional (maceración) y el ultrasonido, usando como solvente agua (0%) y etanol a concentraciones de 30, 50 y 80%, (25 °C y 50 °C), a diferentes tiempos. En los resultados se observó que el mejor método de extracción para fenoles totales fue con el ultrasonido a las condiciones de 80% (50 °C, 60 min) y la capacidad antioxidante al 50% (25°C, 60 min), con respecto a la maceración. El ultrasonido permite elevar la tasa de extracción y rendimiento mediante la combinación óptima de variables y disminuye el uso de solventes comparado con otros métodos.

PALABRAS CLAVE: apio; fenoles totales; capacidad antioxidante; maceración; ultrasonido.

EFFECT OF SOLVENT ON THE ULTRASOUND-ASSISTED EXTRACTION OF PHENOLS AND ANTIOXIDANT CAPACITY FROM CELERY (*Apium graveolens*)

ABSTRACT: Celery has a contribution of antioxidants due to the content of vitamin C, carotenoids, polyphenols and chlorophyll.

There are different extraction processes for bioactive compounds, ultrasound extraction is an effective method used as an emerging technology. The objective was to evaluate the antioxidant capacity and the total phenols content by the conventional method (maceration) and ultrasound, using as a solvent water (0%) and ethanol at concentrations of 30, 50 and 80%, (25 °C and 50 °C), at different times. In the results, it was observed that the best extraction method for total phenols was with ultrasound at the conditions of 80% (50 °C, 60 min) and the antioxidant capacity at 50% (25°C, 60 min), with respect to maceration. Ultrasound allows to increase the extraction rate and yield through the optimal combination of variables and reduces the use of solvents compared to other methods.

KEYWORDS: celery; total phenols; antioxidant capacity; maceration; ultrasound.

1. INTRODUCCIÓN

El apio (*Apium graveolens*) es una planta dicotiledónea que pertenece a la familia *Apiaceae*, su lugar de origen es en el Mediterráneo, pero actualmente se cosecha en muchas partes del mundo.¹ A pesar de que el consumo se centra principalmente en el tallo, las hojas son ricas en compuestos bioactivos y tienen usos medicinales, además se utilizan como alimento en la dieta mediterránea por tener capacidad antioxidante (carotenoides, antocianinas, clorofila) y contenido de polifenoles totales (ácidos fenólicos, flavonoides, isoflavonas, taninos), también tienen propiedades nutracéuticas, hipolipidémicas, hipoglucémicas e incluso tiene efectos como antiagregantes plaquetarios.^{2,3} El apio cuenta con vitaminas importantes para el organismo como la A, C, E y las del grupo B, también tiene minerales como el hierro, fósforo, azufre, cobre, potasio y manganeso; las semillas contienen aceites esenciales como el limoneno o el selineno, mientras que en la raíz se encuentra la asparagina, sustancias que ejercen una acción diurética y depurativa. En cuanto al uso del apio como producto industrial son varios los productos que se obtienen mundialmente, tales como el apio deshidratado por aire caliente o por liofilización, que se utilizan en sopas, rellenos, ensaladas, jugos, etc.⁴ Debido al alto contenido de compuestos bioactivos se han aplicado diferentes métodos de extracción para ser cuantificados; algunos de los métodos empleados son los convencionales como la maceración y por Soxhlet; sin embargo, hoy en día se han implementado nuevas metodologías de extracción que cumplen con los principios de la tecnología verde como son la extracción por microondas, por ultrasonido, por pulsos eléctricos y con fluidos supercríticos; por lo que en esta investigación se utilizó la extracción por ultrasonido. La extracción asistida por ultrasonido es una de las técnicas conocida como tecnología emergente para aislar los compuestos bioactivos, la cual logra una extracción completa y, por lo tanto, se obtienen rendimientos de extracción superiores en un tiempo muy corto; se basa en el principio del funcionamiento de la cavitación acústica o ultrasónica, que es cuando se acoplan ondas

de ultrasonido de alta potencia y baja frecuencia en una mezcla de material botánico en un disolvente.⁵ Al ser un método de extracción eficiente se ha utilizado como una alternativa en el procesamiento de alimentos como emulsificación, modificación de propiedades funcionales de diferentes proteínas, inactivación o aceleración de la actividad enzimática, para mejorar la vida de anaquel, la calidad de los alimentos, inactivación microbiana, procesos de congelación, descongelación, secado, y concentración de compuestos bioactivos.^{6,7} El objetivo del trabajo fue evaluar la concentración de fenoles totales del apio y la capacidad antioxidante mediante el método convencional y por ondas ultrasónicas a diferentes tiempos y temperaturas, variando la concentración de etanol, así como obtener las condiciones óptimas de extracción.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. MATERIALES

El apio fresco se adquirió en un mercado local de la Ciudad de México, solo las hojas fueron estudiadas. Todos los reactivos fueron adquiridos de Sigma-Aldrich.

2.2. OBTENCIÓN DE LOS EXTRACTOS POR EL MÉTODO CONVENCIONAL (MACERACIÓN) A 25 Y 50 °C

Las hojas del apio frescas y verdes se seleccionaron, posteriormente en un mortero se colocaron 2 g y se le adicionó 15 mL de disolvente de extracción: agua destilada considerándola como 0%, etanol-agua destilada a diferentes concentraciones 30, 50 y 80%; en seguida se maceró por 10 minutos. Trascorrido ese tiempo las muestras se centrifugaron a 7200 rpm por 10 min, el sobrenadante obtenido se utilizó como el extracto para la cuantificación fenoles totales y capacidad antioxidante.

2.3. OBTENCIÓN DE LOS EXTRACTOS POR SONICACIÓN A 25 °C Y 50 °C

Las hojas del apio se seleccionaron, se colocaron 2 g en un vaso de precipitados donde se les adicionó 15 mL del disolvente de extracción: agua destilada considerándola como 0%, etanol-agua destilada a diferentes concentraciones 30, 50 y 80%. Posteriormente, las muestras se sometieron a un baño sonicador (Scientz SB-120DTN, 40 KHz) a distintos tiempos 0, 15, 30, 45 y 60 minutos, a diferentes temperaturas 25 °C y 50 °C. Trascorrido ese tiempo las muestras se sacaron del sonicador y se centrifugaron a 7200 rpm (centrífuga Kitlab–TC meteor 7.2K) por 10 min, el sobrenadante obtenido se utilizó como el extracto para la cuantificación de fenoles totales y capacidad antioxidante.

2.4. CUANTIFICACIÓN DE FENOLES TOTALES POR LA TÉCNICA DE FOLIN-CIOCALTEU⁸

De los extractos obtenidos se tomaron 200 μL y se les adicionó 1500 μL del reactivo Folin-Ciocalteu seguido de 1500 μL de bicarbonato de sodio al 6%, posteriormente se dejaron reposar en un lugar completamente oscuro por 90 min, transcurrido el tiempo las muestras se leyeron en un espectrofotómetro (UNICO-2800 UV/VIS Spectrophotometer) a una absorbancia de 750 nm. Los resultados obtenidos se expresaron en miligramos equivalentes de ácido gálico (mg EAG)/g de muestra seca (g_{ms}).

2.5. CUANTIFICACIÓN DE LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE POR LA TÉCNICA DEL REACTIVO ABTS⁹

De los extractos obtenidos se tomaron 200 μL y se les adicionó 1800 μL del radical ABTS⁺ (2,2 azinobis-3-etilbenzotiazolin 6-ácido sulfónico) previamente ajustado a una absorbancia de 0.7 ± 0.02 . En seguida, las muestras se leyeron en un espectrofotómetro (UNICO-2800 UV/VIS Spectrophotometer) a una absorbancia de 732 nm. Los resultados obtenidos se expresaron en miligramos equivalentes de Trolox (mg ET)/g de muestra seca (g_{ms}).

Todos los experimentos se realizaron por triplicado.

2.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los resultados se expresaron como la media \pm desviación estándar (DE). Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía para cada parámetro.

2.7. DISEÑO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA

El diseño se realizó con modelos de superficie de respuesta y gráficas de contorno mediante el programa Minitab 19, para obtener las condiciones operativas deseables, es decir, los factores independientes tal como la concentración de etanol y tiempo de ultrasonificación, para establecer los valores de respuesta de la extracción de fenoles totales y de la capacidad antioxidante a 25 °C y 50 °C.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

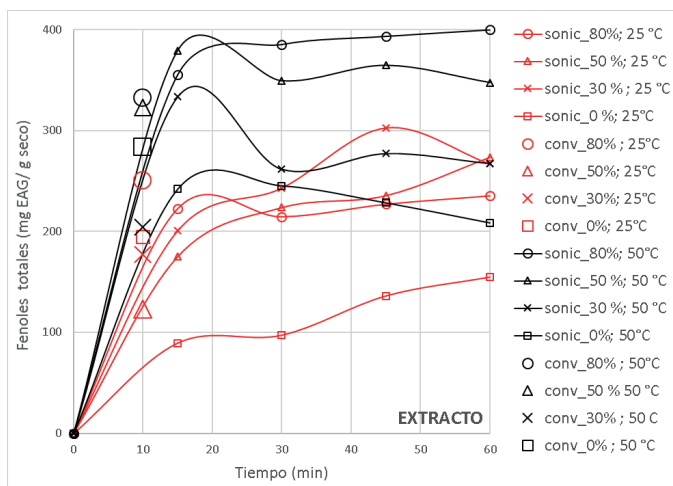
3.1. ANÁLISIS DE LOS FENOLES TOTALES DURANTE LA EXTRACCIÓN POR EL MÉTODO CONVENCIONAL Y POR ULTRASONICACIÓN

Para la extracción de fenoles totales por el método convencional que se realizó únicamente macerando las muestras por 10 min, tanto para las condiciones de temperatura de 25 y 50 °C a las diferentes concentraciones de etanol, los resultados se representaron solamente al tiempo de 10 min; pero por el método de ultrasonido las muestras se tomaron a sus respectivos tiempos como se indicó en la metodología y los resultados se representaron como una cinética, (Figura 1).

Donde se observó que la extracción de fenoles totales mediante ultrasonificación a 25 °C no fue recomendable con agua y con etanol al 80%, ya que presentaron valores bajos en la cuantificación, siendo que por el método convencional se presentó el mayor contenido, con agua fue de 194.73 ± 18 mg EAG/g_{ms} y con etanol al 80% de 250.68 ± 14 mg EAG/g_{ms}; por otro lado, usando etanol al 50% y al 30% la ultrasonificación mostró los mayores valores de concentración desde los primeros 15 min en comparación con su respectivo valor de maceración, ya que con etanol al 50% con maceración se obtuvo una concentración de 122.69 ± 23 mg EAG/g_{ms} y con ultrasonido resultó el valor más alto de 273.62 ± 14 mg EAG/g_{ms} a los 60 min; con etanol al 30 % en maceración fue de 177.30 mg EAG/g_{ms} pero con ultrasonido la mayor cantidad de extracción se presentó a los 45 min con 302.68 ± 27 mg EAG/g_{ms}. Cuando la extracción de fenoles totales se llevó a cabo a 50 °C, la concentración aumentó tanto en maceración como en ultrasonificación comparado con la temperatura de 25 °C, donde se observó que la mayor cantidad de extracción fue con ultrasonido usando etanol al 80% a los 60 min presentando una concentración de 403.30 ± 32 mg EAG/g_{ms}, al igual que en la maceración pero se cuantificó un menor contenido de 332.35 ± 18 mg EAG/g_{ms}; seguido del etanol al 50% donde a los 15 min se extrajo el mayor contenido de fenoles con 379.40 ± 23 mg EAG/g_{ms} y con maceración fue solamente de un 322.72 ± 42 mg EAG/g_{ms}. Por otro lado, la menor cantidad de fenoles totales extraídos se presentó con etanol al 30%, resultando en maceración una concentración de 204.07 ± 39 mg EAG/g_{ms} y en ultrasonido de 333.59 ± 25 mg EAG/g_{ms} a los 15 min, ya que después de este tiempo la concentración empezó a descender. Con respecto a la extracción con agua solamente la maceración fue la que resultó más eficiente obteniéndose un valor 283.58 ± 33 mg EAG/g_{ms}, debido a que con ultrasonificación la cuantificación de fenoles fue menor. En la Figura 1, se observó que la mayor eficiencia en la extracción fue con etanol al 80%, tanto para el método de maceración como por el método de ultrasonido a las dos temperaturas estudiadas, esto puede ser atribuido a

la menor polaridad del mismo en comparación con el agua, favoreciendo la solubilidad y difusión de los fenoles, y al reducir la constante dieléctrica del disolvente. La menor eficiencia de la extracción fue para el tratamiento acuoso tanto en maceración como con ultrasonido a ambas temperaturas, esto puede deberse al posible incremento en la producción de radicales, producto de la disociación del agua bajo el efecto del ultrasonido, llevando a reacciones de oxidación de los compuestos.^{10, 11}

Figura 1. Contenido de fenoles totales en los extractos del apio empleando los métodos de extracción convencional (conv) y ultrasonificación (sonic), a 25 y 50 °C, y usando etanol de 0 a 80 %.



Hay que tomar en cuenta que utilizando los dos métodos de extracción con etanol al 80% a 50 °C fueron los que resultaron con los valores más elevados de concentración, siendo que con ultrasonificación fue a partir de los 30 min; mientras que los valores más bajos fueron con la extracción con agua a 25 °C igual con ultrasonido. Cabe destacar que la extracción con agua a 50 °C utilizando ultrasonido coincide con las concentraciones obtenidas en algunos puntos a 25 °C con etanol al 30, 50 y 80%, en los tiempos de 30, 45 y 60 min, por lo que se puede ver el impacto que puede tener la temperatura del proceso de ultrasonificación que es incluso comparable con la concentración del solvente, además de que podría reducirse el uso del solvente. Sin embargo, el incremento de la temperatura aumentó la difusividad del solvente dentro de las células y potencia la desorción y solubilidad de los componentes fenólicos, aunque la temperatura no debe ser muy alta ya que los compuestos fenólicos podrían degradarse.¹² El aumento de la temperatura en extracciones sólido-líquido usualmente incrementa los componentes bioactivos, donde se ha encontrado un efecto positivo en la extracción de los fenoles mediante la extracción asistida por ultrasonido.¹³ En general, los alcoholes acuosos como el metanol y el etanol se utilizan en

la extracción de compuestos fenólicos de materiales vegetales. También el etanol mejora la solubilidad de un soluto, mientras que el agua acelera su desorción de la muestra.¹⁴ Las altas temperaturas de extracción pueden aumentar el rendimiento de los compuestos fenólicos porque las paredes celulares de las hojas se vuelven más permeables al solvente y a los componentes.¹⁵ La extracción de un material vegetal se puede realizar mediante diversas técnicas de extracción, normalmente se utilizan métodos convencionales y métodos no convencionales. Pero una técnica de extracción adecuada ayuda a aumentar el rendimiento de la extracción y a prevenir la degradación de los compuestos bioactivos extraídos, lo que permite producir compuestos naturales de mayor calidad.¹⁶

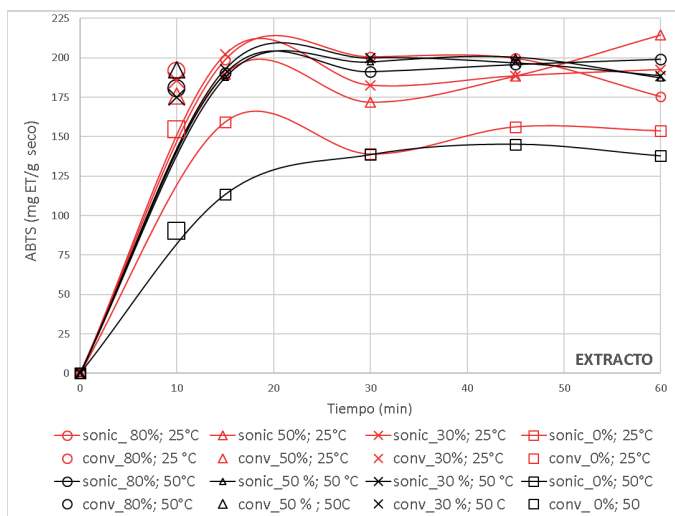
3.2. ANÁLISIS DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE DURANTE LA EXTRACCIÓN POR EL MÉTODO CONVENCIONAL Y POR ULTRASONICACIÓN

De igual forma, para la cuantificación de la actividad antioxidante por el método de ABTS usando la maceración por 10 min, tanto para las condiciones de temperatura de 25 y 50 °C a las diferentes concentraciones de etanol, los resultados se representaron solamente al tiempo de 10 min; y para el método de ultrasonido las muestras se tomaron a sus respectivos tiempos como se indicó en la metodología y los resultados se representaron como una cinética (Figura 2).

En la cuantificación se observó que a la temperatura de 25 °C la extracción por el método de ultrasonificación se obtuvo la actividad más alta con etanol al 50% a los 60 min con 214.46 ± 66 mg ET/g_{ms}, seguido con etanol al 30% a los 15 min presentando 202.15 ± 58 mg ET/g_{ms}, y con etanol al 80% el poder antioxidante resultó de 200.72 ± 45 mg ET/g_{ms} a los 30 min; por otro lado, la menor capacidad antioxidante obtenida fue con agua a los 15 min con 159.23 ± 48 mg ET/g_{ms}, tal como en el contenido de fenoles totales donde la ultrasonificación también mostró los mayores resultados de concentración desde los primeros 15 min en comparación con los respectivos valores obtenidos por maceración; sin embargo, con la maceración se obtuvo el menor poder antioxidante con resultados similares en las concentración de etanol al 30, 50 y 80% de aproximadamente 184.16 ± 62 mg ET/g_{ms}, pero en la extracción con agua se observó usando tanto la maceración como el ultrasonido la cuantificación de la capacidad antioxidante fue similar ya que por maceración se resultó de 154.56 mg ET/g_{ms}, y por ultrasonido en todos los tiempos estudiados se obtuvo aproximadamente una actividad de 152 ± 47 mg ET/g_{ms}. Con respecto a la capacidad antioxidante a las condiciones de 50 °C de maceración y sonicación, fue posible identificar que nuevamente con etanol al 50 % se tuvo la mayor capacidad antioxidante en maceración y con ultrasonido, siendo que en macerado fue de 192.23 ± 44 mg ET/g_{ms} y con ultrasonido

incrementó a 200.45 ± 38 mg ET/g_{ms}, a los 45 min. En seguida, fue con etanol al 30% y después al 80%, donde al 30% en macerado el poder antioxidante resultó de 174.88 ± 36 mg ET/g_{ms} y por ultrasonido aumentó obteniéndose similar contenido en todos los tiempos de aproximadamente 194.50 ± 57 mg ET/g_{ms}, pero con etanol al 80% en maceración resultó de 180.30 ± 66 mg ET/g_{ms} y en la extracción por ultrasonido mostró un similar incremento en todos los tiempos con una capacidad antioxidante de 194.18 ± 54 mg ET/g_{ms}, cercana a la que se obtuvo usando etanol al 30%. El agua fue la más deficiente ya que con la técnica de macerado y con ultrasonificación se obtuvo el menor poder antioxidante, obteniendo en macerado una cantidad de 89.97 ± 52 mg ET/g_{ms}, aunque con ultrasonido aumentó presentando la mayor actividad de 145.16 ± 76 mg ET/g_{ms} a los 45 min.

Figura 2. Capacidad antioxidante en los extractos del apio empleando los métodos de extracción convencional (conv) y ultrasonificación (sonic), a 25 y 50 °C, y usando etanol de 0 a 80 %.



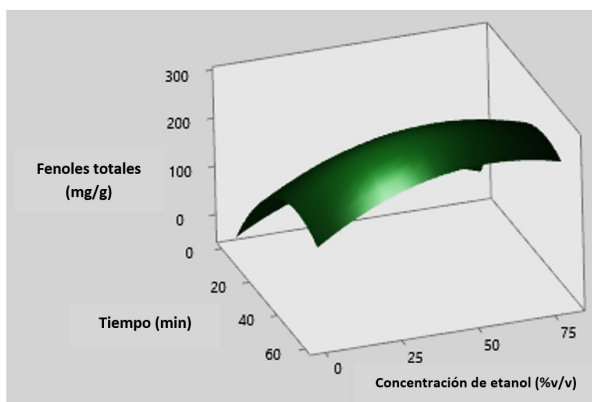
En la Figura 2, se observa más claramente el análisis de la capacidad antioxidante por el método de ABTS, donde se tuvo el resultado más alto con la concentración de etanol 50% a 25 °C en un tiempo de 60 min, y los análisis realizados con agua tanto en maceración como con ultrasonido se mostraron aislados de todas las demás condiciones. El aumento de la temperatura no brindó una ventaja sustancial en la capacidad antioxidante de las muestras. Por ejemplo, en la actividad antioxidante de los extractos de té verde se encontró que fue mayor en los extractos de etanol al 95% que en los extractos de agua caliente.¹⁷ En algunas tendencias como es el caso con etanol al 80% a los 60 min la capacidad antioxidante disminuyó, esto podría deberse a que bajo el tratamiento de ultrasonido ocurre una difusión de los compuestos bioactivos del material al disolvente y el equilibrio para la disolución podría establecerse en poco tiempo. Además, los componentes

antioxidantes pueden degradarse después de una exposición prolongada a las ondas ultrasónicas.¹⁸ Sin embargo, la presencia de diferentes componentes antioxidantes y sus interacciones dentro de las plantas se vuelve relativamente difícil de cuantificar el poder antioxidante de cada componente. Los fenoles tienen actividad antioxidante debido a sus propiedades redox, que los hacen actuar como agentes reductores, donadores de hidrógeno, eliminadores de radicales libres e inhibidores de oxígeno singlete. Aunque la actividad antioxidante de los fenólicos depende principalmente del número y la posición de los grupos hidroxilo donantes de hidrógeno en los anillo aromáticos de las moléculas. Pero la relación entre la actividad antioxidante de un extracto y su concentración de fenoles aún no es clara del todo, porque el contenido de fenoles no abarca a todos los antioxidantes, además de que existe una sinergia entre los antioxidantes de una muestra, entonces la capacidad antioxidante no solo depende de la concentración de fenoles, sino también de las interacciones de los antioxidantes.¹⁹

3.3. MODELOS DE SUPERFICIE DE RESPUESTA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA EXTRACCIÓN DE FENOLES TOTALES

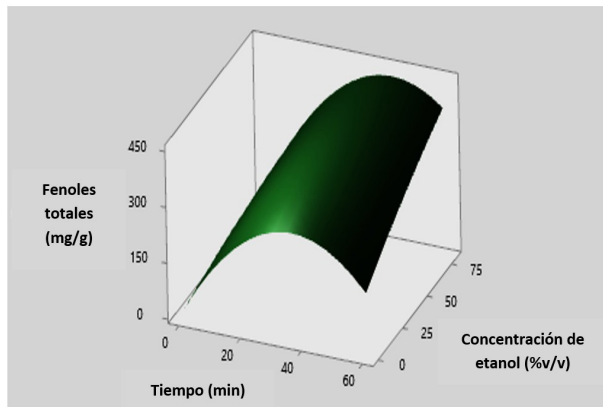
De acuerdo con el modelo de superficie de respuesta de las condiciones probadas (concentración de etanol y tiempo de ultrasonificación), tienen una repercusión o correlación con la concentración de fenoles extraídos, para ambas temperaturas a 25 y 50 °C. El modelo arrojó que las condiciones óptimas para maximizar la extracción de la concentración de fenoles totales con una temperatura de 25 °C, resultó un tiempo de 47.87 min de ultrasonificación, con una concentración de etanol del 54.94 %, para así obtener 279.19 mg EAG/g_{ms}, de acuerdo con el ajuste del modelo de superficie de respuesta (Figura 3).

Figura 3. Modelo de superficie de respuesta para la optimización de fenoles totales (mg EAG/g_{ms}) con el método de ultrasonificación a 25 °C.



En la Figura 4, se muestra el modelo de superficie de respuesta para la temperatura de 50 °C, arrojando una concentración óptima de fenoles totales de 441.38 mg EAG/g_{ms}, con una concentración de etanol del 80% y un tiempo de 43.6 min de proceso.

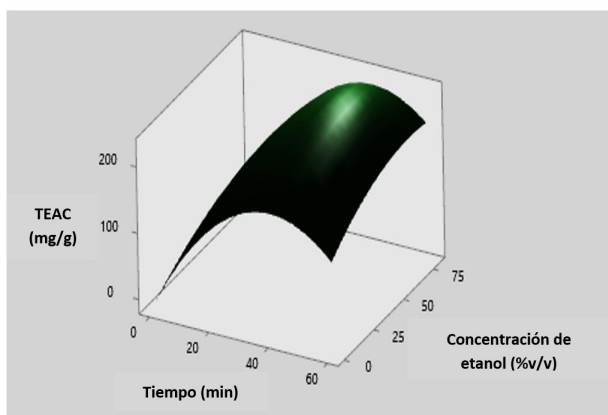
Figura 4. Modelo de superficie de respuesta para la optimización de fenoles totales (mg EAG/g_{ms}) con el método de ultrasonificación a 50 °C.



3.4. MODELOS DE SUPERFICIE DE RESPUESTA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

El valor óptimo para obtener de la actividad antioxidante según el modelo de superficie de respuesta de los extractos tratados a 25 °C (Figura 5), fue de 222.27 mg ET/g_{ms}, con etanol a una concentración del 63% en 41.2 min.

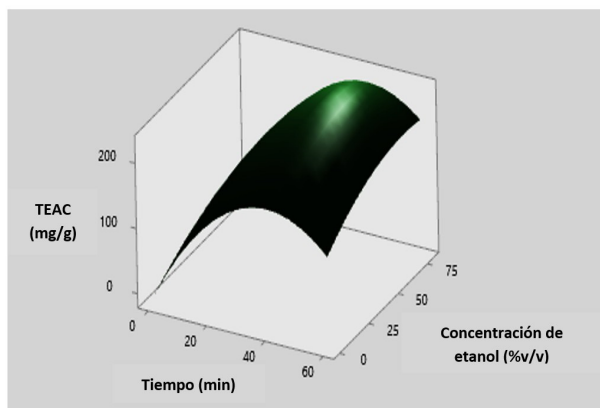
Figura 5. Modelo de superficie de respuesta para la optimización de la capacidad antioxidante (mg ET/g_{ms}) con el método de ultrasonificación a 25 °C.



Para el tratamiento a 50 °C, la concentración máxima posible fue de 228.35 mg ET/g_{ms}, similar al tratamiento de 25 °C, resultando las variables óptimas de concentración

de etanol y tiempo de 60.6% y 41.2 min, respectivamente. Esta similitud coincide con el análisis de los datos experimentales de ambas temperaturas, donde no se observó una ventaja considerable en los valores de la actividad antioxidante con el uso del ultrasonido utilizando una temperatura (Figura 6).

Figura 6. Modelo de superficie de respuesta para la optimización de la capacidad antioxidante (mg ET/g_{ms}) con el método de ultrasonificación a 50 °C.



4. CONCLUSIONES

El método de extracción por ultrasonificación presentó los resultados más altos de concentración de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante en comparación con el método convencional (maceración), por lo que la ultrasonificación es recomendable para la extracción de compuestos bioactivos y/o termosensibles, observando que el etanol fue el mejor solvente para la extracción de los compuestos que el agua. Por otro lado, las condiciones óptimas para maximizar la extracción de fenoles totales a 25 °C y 50 °C de acuerdo con el modelo de superficie de respuesta, fue (47.9 min de ultrasonificación usando etanol al 55%) y (43.6 min de ultrasonificación con etanol al 80%), respectivamente. Para la actividad antioxidante a 25 °C y 50 °C fue el mismo tiempo de ultrasonificación de 41.2 min, pero la concentración de etanol fueron diferentes de 63% y 60.5%, respectivamente. De acuerdo a lo anterior, la actividad antioxidante de las hojas de apio frescas está influenciada por el contenido de compuestos fenólicos.

FINANCIACIÓN Y AGRADECIMIENTOS

Proyecto SIP 20230484. Financiado por el Instituto Politécnico Nacional.

REFERENCIAS

1. Huang W, Ma HY, Huang Y, Li Y, Wang GL, Jiang Q, Xiong AS. 2017. Comparative proteomic analysis provides novel insights into chlorophyll biosynthesis in celery under temperature stress. *Physiologia Plantarum*, 161(4): 468-485. doi: 10.1111/ppl.12609
2. Vicencio BJ. 2016. Evaluación de la capacidad antioxidante, contenido de pigmentos y estudio de cinética de secado de descartes de hoja de apio (*Apium graveolens* L. var. dulce) [Trabajo de pregrado inédita]. Universidad de Chile.
3. Sowbhagya HB. 2014. Chemistry, technology, and nutraceutical functions of celery (*Apium graveolens* L.): an overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54(3): 389-398. doi: 10.1080/10408398.2011.586740
4. Mencherini T, Cau A, Bianco G, Loggia RD, Aquino RP, Autore G. 2007. An extract of *Apium graveolens* var. dulce leaves: Structure of the major constituent, apiin, and its anti-inflammatory properties. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 59(6): 891-897. doi: 10.1211/jpp.59.6.0016
5. Wong-Paz JE, Aguilar-Zárate P, Veana F, Muñiz-Márquez DB. 2020. Impacto de las tecnologías de extracción verdes para la obtención de compuestos bioactivos de los residuos de frutos cítricos. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*. 23:1-11. doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2020.0.255
6. Awad TS, Moharram HA, Shaltout OE, Asker D, Youssef MM. 2012. Applications of ultrasound in analysis processing and quality control of food: A review. *Food Research International*, 48(2): 410-427. doi: 10.1016/j.foodres.2012.05.004
7. Chemat F. 2017. Ultrasound assisted extracion of food and natural products. Mechanims, tecniques, cominations, protocols and aplications. A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34: 540-560. doi: 10.1016/j.ultsonch.2016.06.035
8. Tavarini S, Degl'Innocenti E, Remorini D, Massai R, Guidia L. 2008. Antioxidant capacity, ascorbic acid, total phenols and carotenoids changes during harvest and after storage of Hayward kiwifruit. *Food Chemistry*, 107: 282-288. doi: 10.1016/j.foodchem.2007.08.015
9. Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine*. 26: 9-10. doi:10.1016/s0891-5849(98)00315-3
10. Žlabur JŠ, Voča S, Dobričević N, Plietić S, Galić A, Boričević A, Borić N. 2016. Ultrasound-assisted extraction of bioactive compounds from lemon balm and peppermint leaves. *International Agrophysics*, 30(1): 95-104. doi: 10.1515/intag-2015-0077
11. Nepote V, Grosso NR, y Guzmán CA. 2005. Optimization of extraction of phenolic antioxidants from peanut skins. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(1): 33-38. doi: 10.1002/jsfa.1933
12. Li P, Jia J, Zhang D, Xie J, Xu X, Wei D. 2014. In vitro and in vivo antioxidant activities of a flavonoid isolated from celery (*Apium graveolens* L. var. dulce). *Food & function*, 5(1): 50-56. doi: 10.1039/c3fo60273g
13. Dranca F, Oroian M. 2016. Optimization of ultrasound-assisted extraction of total monomeric anthocyanin (TMA) and total phenolic content (TPC) from eggplant (*Solanum melongena* L.) peel. *Ultrasonics Sonochemistry*, 31: 637-646. doi: 10.1016/j.ultsonch.2015.11.008

14. Safdar MN, Kausar T, Jabbar S, Mumtaz A, Ahad K, Sadozai AA. 2017. Extraction and quantification of polyphenols from kinnow (*Citrus reticulata* L.) peel using ultrasound and maceration techniques. *Journal of Food and Drug Analysis*, 25(3): 488-500. doi: 10.1016/j.jfda.2016.07.010
15. Lee LS, Lee N, Kim YH, Lee CH, Hong SP, Jeon YW, Kim Y. E. 2013. Optimization of ultrasonic extraction of phenolic antioxidants from green tea using response surface methodology. *Molecules*, 18(11),13530-13545. doi.org/10.3390/molecules181113530
16. Ngamwonglumlert L, Devahastin S, Chiewchan N. 2017. Natural colorants: Pigment stability and extraction yield enhancement via utilization of appropriate pretreatment and extraction methods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 57(15), 3243–3259. doi.org/10.1080/10408398.2015.1109498
17. Gramza A, Pawlak-Lemańska K, Korczak J, Wasowicz E, Rudzinska M. 2005. Tea extracts as free radical scavengers. *Polish Journal of Environmental Studies*, 14(6): 861-867. eISSN:2083-5906
18. Xu DP, Zhou Y, Zheng J, Li S, Li AN, Li HB. 2016. Optimization of ultrasound-assisted extraction of natural antioxidants from the flower of *Jatropha integerrima* by response surface methodology. *Molecules*, 21(1),1-12. doi.10.3390/molecules21010018
19. Djeridane A, Yousfi M, Nadjemi B, Boutassouna D, Stocker P, Vidal N. 2006. Antioxidant activity of some algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds. *Food chemistry*, 97(4), 654-660. doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.04.028

CAPÍTULO 4

CAPSAICIN CONTENT AND ANTIOXIDANT CAPACITY IN DIFFERENT MATURITY STATES OF HABANERO PEPPER (*Capsicum chinense* Jacq.)

Data de submissão: 22/04/2026

Data de aceite: 06/05/2026

Gisela Palma-Orozco¹

Unidad Profesional Interdisciplinaria de
Biotecnología
Departamento de Bioingeniería
Instituto Politécnico Nacional
Ciudad de México, México
<https://orcid.org/0000-0003-2527-4131>

América Belém Ugalde-Herrera

Unidad Profesional Interdisciplinaria de
Biotecnología
Departamento de Bioingeniería
Instituto Politécnico Nacional
Ciudad de México, México

Víctor Ouseiri Díaz-Castañón

Unidad Profesional Interdisciplinaria de
Biotecnología
Departamento de Bioingeniería
Instituto Politécnico Nacional
Ciudad de México, México

Carlos Orozco-Álvarez

Unidad Profesional Interdisciplinaria de
Biotecnología
Departamento de Bioingeniería
Instituto Politécnico Nacional
Ciudad de México, México
<https://orcid.org/0000-0002-5145-6791>

ABSTRACT: Habanero pepper (*Capsicum chinense*) has a wide variety of crops. It is grown in Yucatan, Mexico and has many varieties that differ in color, size and capsaicinoid content. The main attribute of habanero pepper is the pungent power that results from the presence of capsaicinoids found mainly in the placenta, it is also considered an excellent source of natural pigments and antioxidant compounds. The main edible pepper part is the pericarp. It contains high amounts of carotenoids and phenolic compounds that are considered strong antioxidants. Therefore, the capsaicin content, antioxidant capacity and total phenolic compounds were evaluated in the whole pepper as well as in the placenta, seed and pericarp in different maturity stages, green (immature) and ripe (orange and red) habanero pepper. The results obtained were that the orange habanero pepper showed the highest capsaicin content in the placenta with 55.20 mg/g dry weight (DW), in total phenolic compounds the placenta of the green habanero presented the highest content with 124.01 mg EAG/g DW. In the determination of the antioxidant capacity it was observed that by DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl) method the pericarp and by ABTS (2,2'-azino-bis(3-ethylbenzothiazoline-6-sulfonic acid)) method the placenta of the green habanero pepper showed a strong antioxidant capacity of 346.13 and 251.11 mg ET/g DW, respectively. The placenta in the three peppers studied showed high levels of capsaicin so it could be responsible for the strong antioxidant activity of habanero pepper.

¹ Corresponding author

KEYWORDS: immature; ripe; phenolic compounds; antioxidant compounds.

CONTENIDO DE CAPSAICINA Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN DIFERENTES ESTADOS DE MADUREZ DEL CHILE HABANERO (*Capsicum chinense* Jacq.)

RESUMEN: El chile habanero (*Capsicum chinense*) tiene una amplia variedad de cultivos. Los chiles cultivados en Yucatán, México incluyen variedades que difieren en color, tamaño y contenido de capsaicinoides. El principal atributo del chile habanero es el poder pungente que resulta de la presencia de los capsaicinoides que se encuentran principalmente en la placenta, también es considerado una excelente fuente de pigmentos naturales y compuestos antioxidantes. La principal parte comestible del chile es el pericarpio, contiene altas cantidades de carotenoides y compuestos fenólicos que se consideran antioxidantes fuertes. En diferentes estados de madurez del chile habanero, verde (inmaduro) y maduro (naranja y rojo) se evaluó el contenido de capsaicina, la capacidad antioxidante y compuestos fenólicos tanto en el chile entero como en la placenta, semilla y pericarpio. Los resultados obtenidos fue que la placenta del chile naranja presentó el mayor contenido de capsaicina con 55.20 mg/g peso seco, para fenoles totales la placenta del chile habanero verde mostró el mayor contenido con 124.01 mg EAG/g peso seco. En la determinación de la capacidad antioxidante se observó que por el método de DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidracilo) el pericarpio y por el método de ABTS (2,2'-azino-bis-3-etilbenzotiazolina- 6-ácido sulfónico) la placenta del chile habanero verde, mostraron una fuerte capacidad antioxidante de 346.13 y 251.11 mg ET/g peso seco, respectivamente. La placenta en los tres chiles estudiados presentó altos niveles de capsaicina por lo que podría ser la responsable de la fuerte actividad antioxidante del chile.

PALABRAS CLAVE: inmaduro; maduro; compuestos fenólicos; compuestos antioxidantes.

1. INTRODUCTION

The habanero pepper (*Capsicum chinense*) is not of Mexican origin. It came from the Amazon Basin and was distributed in the Yucatan Peninsula where today a genetic diversity has developed. It belongs to the *Solanaceae* family and *Capsicum* genus [1]. The habanero pepper fruit is a hollow berry in the form of a spinning top; a little fleshy, it is very spicy and aromatic. Its color before reaching maturity is green; however, when ripe, it can have yellow, orange, red, purple or brown variants [2]. The walls that divide the interior of the fruit are incomplete and at the lower end they join to form membranous structures that are commonly called veins, which are inserted into the placenta, which is yellowish white and spongy in appearance [3]. The placenta is the place where capsaicinoids are synthesized (they are the alkaloids responsible for the spicy taste of all chili peppers), mainly capsaicin and di-hydrocapsaicin [4]. Capsaicinoids in mature fruits are only synthesized in the surface cells of the placenta, which specialize as glands that secrete these compounds, depositing them in the seeds and walls of the innermost layer of the fruit wall called the endocarp. The main attribute of habanero pepper is the pungent power

that results from the presence of capsaicinoids [5]. It is also considered an excellent source of natural pigments and antioxidant compounds. The pericarp, the main edible part of the fruit, contains high amounts of ascorbic acid, vitamins A and E, carotenoids and phenolic compounds, which are considered strong antioxidants [6]. The objective of this research was to determine the capsaicin content and the antioxidant capacity in two different maturity stages of the habanero pepper, immature (green) and ripe (orange and red) in its different parts (placenta, seed and pericarp) and in the whole pepper.

2. MATERIALS AND METHODS

Fresh habanero pepper in two maturity stages, immature (green) and ripe (orange and red) was obtained at a local market in Mexico City. All other reagents were from Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA) or grade reactive.

2.1. EXTRACT PROCEDURE

The extract was prepared with whole pepper and separating its different parts (placenta, seed and pericarp) from the green, orange and red habanero pepper. For this, a 0.2 g of sample was mixed with 10 mL of methanol:water:ethanol (6:2:2), it was macerated and centrifuged at 7200 rpm for 15 min at room temperature. Subsequently, the supernatant was filtered under vacuum to remove color and the colorless extract was used for determinations of capsaicin, total phenols and antioxidant capacity [7].

2.2. DETERMINATION OF CAPSAICIN

The sample extracts were read at 286 nm, and the absorbance obtained was interpolated in a standard curve of capsaicin from 0 to 0.1 mg/mL previously performed, the values were expressed as capsaicin content in mg/g dry weight (DW) [8].

2.3. TOTAL PHENOLIC CONTENT

Total polyphenols in extracts were determined using the Folin-Ciocalteu reagent and gallic acid (0 to 0.3 mg per mL) as a standard. 200 μ L extract and 1500 μ L of the Folin-Ciocalteu's reagent were mixed, followed by 1500 μ L of sodium bicarbonate 6% (w/v). After 1.5 h at room temperature, absorbance was measured at 750 nm in a spectrophotometer model 2800 UV/VIS. Total phenolic content was calculated as mg gallic acid equivalents (GAE)/g DW [9].

2.4. TROLOX EQUIVALENT ANTIOXIDANT CAPACITY (TEAC) BY DPPH METHOD

The antioxidant capacity was analyzed according to the reaction of DPPH with Trolox. 200 μL of extract were mixed with 2800 μL of a DPPH 150 μM methanolic solution that was prepared immediately before use and was allowed to reach a steady state at room temperature. After addition of the DPPH compound at 30 min the decrease absorbance at 515 nm was read in a spectrophotometer model 2800 UV/VIS, used to calculate the TEAC. A standard curve (0 to 2 mM) was prepared using a Trolox methanolic solution. The results were expressed in mg of Trolox Equivalent (TE)/g DW [10].

2.5. TROLOX EQUIVALENT ANTIOXIDANT CAPACITY (TEAC) BY ABTS METHOD

For the determination, first the ABTS^+ radical was formed with a solution of ABTS 7 mM in presence of potassium persulfate (2.5 mM), the mixture was placed in the dark at room temperature for 12 to 16 h to generate the radical. For the analysis of the samples 200 μL of extract and 1800 μL of ABTS^+ solution were used. Previously, the absorbance was adjusted to 0.7 ± 0.02 . Subsequently, the mixture was homogenized, and the readings were made in a spectrophotometer model 2800 UV/VIS at 732 nm. A standard curve was performed (0 to 300 nM) using a Trolox solution. The results were expressed as mg of Trolox Equivalent (ET)/g DW [11].

All the analyses were performed in triplicate and in darkness.

3. RESULTS AND DISCUSSION

3.1. DETERMINATION OF CAPSAICIN

The highest capsaicin content in the different habanero peppers and its parts was presented in the placenta followed by the pericarp; the placenta of orange habanero pepper showed the highest content with 55.20 mg/g DW, followed by the pericarp with 43.30 mg/g DW. This is expected because capsaicin is produced and accumulates in the placenta (Table 1). On the other hand, a decrease in the capsaicin content was observed in the red habanero pepper, that is considered the ripe stage. In the placenta, the decrease was of almost 56% with respect to the orange habanero pepper. As the pepper matures, capsaicin accumulates but it degrades as the maturity advances (Figure 1), as observed in the placenta green (immature) habanero pepper capsaicin content was 32.22 mg/g DW, which is lower than in the orange habanero pepper. However, the placenta in the three peppers studied showed high levels of capsaicin so it could be responsible for the strong antioxidant activity of this pepper [12,13].

Figure 1. Capsaicin content in the whole habanero pepper and its different parts (pericarp, seed, placenta) in an immature (green) and ripe states (orange and red).

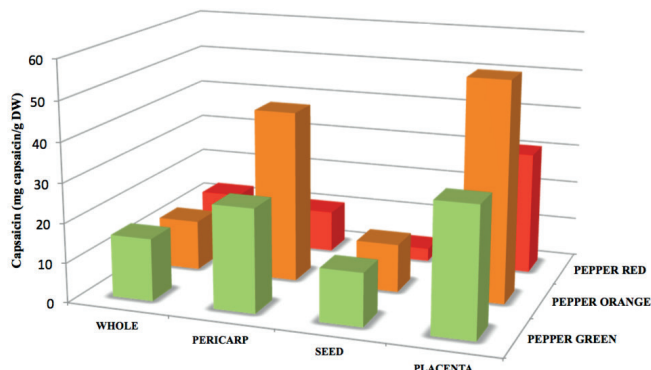


Table 1. Capsaicin, total phenolic content and antioxidant capacity in the whole habanero pepper whole, pericarp, seed and placenta in the different maturity stages (green, orange and red).

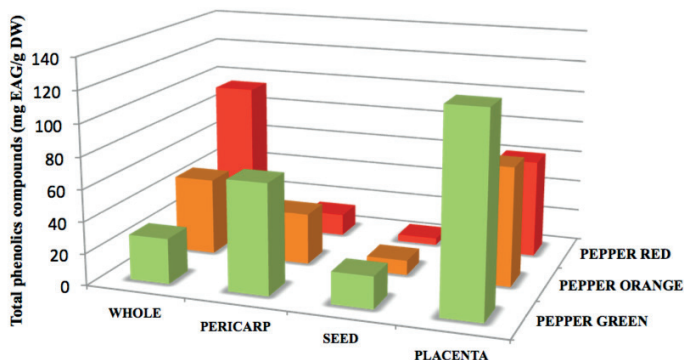
HABANERO PEPPER	GREEN	ORANGE	RED
CAPSAICIN (mg/g DW)			
WHOLE	15.7±4	12.7±3	12.8±6
PERICARP	26.0±24	43.3±29	10.6±5
SEED	13.3±3	12.1±7	3.2±1
PLACENTA	32.2±6	59.5±9	30.9±7
TOTAL PHENOLIC CONTENT (mg EAG /g DW)			
WHOLE	28.5±12.9	64.3±55	94.9±66
PERICARP	69.4±9	32.2±13	13.7±12
SEED	20.1±3	9.2±1	4.3±3
PLACENTA	124.0±27	74.5±52	61.5±64
ANTIOXIDANT CAPACITY by DPPH (mg ET/g DW)			
WHOLE	83.6±33	40.3±13	24.0±9
PERICARP	346.1±1	284.5±40	19.4±3
SEED	84.2±7	1.2	17.9±3
PLACENTA	160.6±32	-	20.0±7
ANTIOXIDANT CAPACITY by ABTS (mg ET/g DW)			
WHOLE	60.7±13	182.9±74	18.6±7
PERICARP	165.6±17	156.5±99	13.9±7
SEED	56.7±14	63.1±69	14.2±14
PLACENTA	251.8±47	248.6±16	23.7±25

(-) Not detected.

3.2. TOTAL PHENOLIC CONTENT

Regarding the phenolic compounds content, the placenta, seed and pericarp of green habanero pepper presented the highest amount in total phenols. The placenta showed a high content with 124.0 mg EAG/g DW (Table 1). Except for the red habanero whole pepper that showed the highest total phenols content with 94.9 mg EAG/g DW, it is necessary to point out that there is a relationship between the phenols content and the pepper maturity state since this value increases as the fruit ripens (whole pepper) (Figure 2) [4]. The high levels of phenolic compounds found in habanero pepper can be associated with capsaicinoids as well as intermediates in their biosynthetic pathway, such as coumaric acid, caffeic acid and ferulic acid [14].

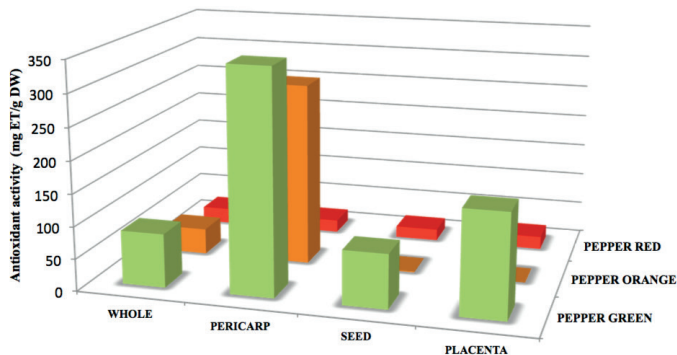
Figure 2. Total phenolic compounds of the habanero pepper whole and its different parts (pericarp, seed, placenta) in an immature (green) and ripe states (orange and red).



3.3. TROLOX EQUIVALENT ANTIOXIDANT CAPACITY (TEAC) BY DPPH

Considerable differences were observed in the antioxidant activity between the different maturity stages and in the different parts of habanero pepper. The highest antioxidant activity (elimination of free radicals) was observed in the immature stage (green habanero pepper) in the whole pepper as well as in the placenta, seed and pericarp. The pericarp showed the highest capacity to scavenge DPPH free radicals with 346.1 mg ET/g DW (Table 1). The orange habanero pepper showed a high antioxidant activity with 284.5 mg ET/g DW, whereas for the pericarp of red habanero pepper the antioxidant activity decreased $\approx 94\%$ with respect to the pericarp of the green pepper (Figure 3). These results of antioxidant capacity indicate that the composition of the pericarp in the different maturity stages decreases in antioxidants with respect to the maturation process. This method determines the ability of molecules to donate hydrogen and does not produce chain oxidative reactions or react with free radical intermediates [15].

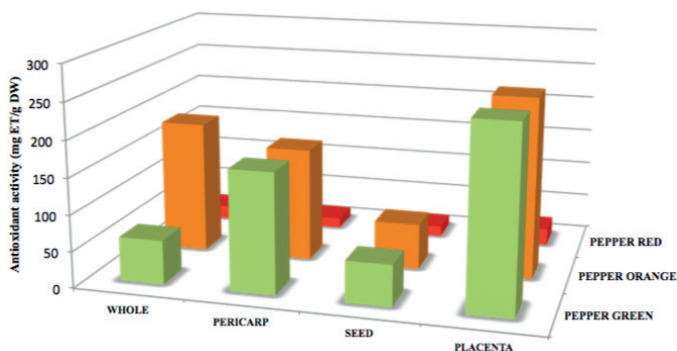
Figure 3. Antioxidant activity by DPPH of the habanero pepper whole and its different parts (pericarp, seed, placenta) in an immature (green) and ripe states (orange and red).



3.4. TROLOX EQUIVALENT ANTIOXIDANT CAPACITY (TEAC) BY ABTS

With respect to the technique of the ABTS⁺ radical, it was observed that green and orange habanero peppers presented the highest antioxidant capacity in the placenta, showing a high capacity to scavenge the ABTS⁺ radicals with 261.8 and 248.6 mg ET/g DW, respectively (Table 1). For the red habanero pepper, the capacity decreased in the placenta ≈ 91% with respect to the less mature samples. It can be observed that for pepper in the mature state, the antioxidant capacity decreases, in agreement with the values reported by the DPPH method (Figure 4). With ABTS, the activity of hydrophilic and lipophilic compounds can be evaluated [14,16].

Figure 4. Antioxidant activity by ABTS of the habanero pepper whole and its different parts (pericarp, seed, placenta) in an immature (green) and ripe states (orange and red).



4. CONCLUSIONS

The green habanero pepper (immature) presented the highest antioxidant capacity as measured by both DPPH and ABTS methods. The green habanero sample also showed

the highest phenolic content, except when taking into account the whole pepper. With respect to the capsaicin content, it increased as the pepper matures and decreased as ripeness is reached (red color).

FUNDING AND ACKNOWLEDGMENTS

This work was partially supported by the Instituto Politécnico Nacional (IPN) through the SIP project 20180546-GPO.

REFERENCES

1. González Estrada, T. A., L. C. Gutiérrez Pacheco and F. A. Contreras Martín (2018). El chile habanero cultivado en la Península de Yucatán. In *Mejoramiento genético del chile habanero de la Península de Yucatán*. T. G. Estrada. Mérida, Yucatán. México., Centro de Investigación Científica de Yucatán, CYCY.: p. 15-23.
2. Segura Campos, M. R., K. Ramírez Gómez, Y. Moguel Ordoñez and D. Betancur Ancona (2013). "Polyphenols, Ascorbic Acid and Carotenoids Contents and Antioxidant Properties of Habanero Pepper (*Capsicum chinense*) Fruit." *Food Nutr Sci.* **(4)**: p. 47-54.
3. Manikharda, M. Takahashi, M. Arakaki, K. Yonamine, F. Hashimoto, K. Takara and K. Wada (2018). "Influence of Fruit Ripening on Color, Organic Acid Contents, Capsaicinoids, Aroma Compounds, and Antioxidant Capacity of Shimatogarashi (*Capsicum frutescens*)." *J. Oleo Sci.* **(67)**: p. 113-123.
4. Meckelmann, S.W., et al., *Compositional characterization of native Peruvian chili peppers (Capsicum spp.)*. *J Agric Food Chem*, 2013. **61**(10): p. 2530-2537.
5. Cisneros-Pineda, O., L. W. Torres-Tapia, L. C. Gutiérrez-Pacheco, F. Contreras-Martín, T. González-Estrada and S. R. Peraza-Sánchez (2007). "Capsaicinoids quantification in chilli peppers cultivated in the state of Yucatan, Mexico." *Food Chem.* **(104)**: p. 1755–1760.
6. Castro-Concha, L. A., J. Tuyub-Che, A. Moo-Mukul, F. A. Vazquez-Flota and M. L. Miranda-Ham (2014). "Antioxidant capacity and total phenolic content in fruit tissues from accessions of *Capsicum chinense* Jacq. (Habanero pepper) at different stages of ripening." *Sci. World J.* **(2014)**: p. 1-5.
7. Rodríguez-Maturino, A., A. Valenzuela-Solorio, R. Troncoso-Rojas, D. González Mendoza, O. Grimaldo-Juarez, M. Aviles-Marin and L. Cervantes-Diaz (2012). "Antioxidant activity and bioactive compounds of Chiltepin (*Capsicum annuum* var. *glabriusculum*) and Habanero (*Capsicum chinense*): A comparative study." *J. Med. Plant Res* **(6)**: p. 1758-1763.
8. Topuz, A., C. Dincer, K. S. Ozdemir, H. Feng and M. Kushad (2011). "Influence of different drying methods on carotenoids and capsaicinoids of paprika (Cv., Jalapeno)." *Food Chem* **(129)**: p. 860-865.
9. Singleton, V .L., R. Orthofer, and R.M. Lamuela-Raventós (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. In *Methods in enzymology*. Academic Press. p. 152-178.
10. Brand-Williams, W., M. E. Cuvelier and B. C. (1995). "Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity." *LWT* **(28)**: p. 25-30.

11. Miller, N. J. and C. A. Rice-Evans (1997). "Factors influencing the antioxidant activity determined by the ABTS^{•+} radical cation assay." *Free Radic Res.* **26**(3): p. 195-199.
12. Salinas Hernández, R. M., E. A. Liévano Liévano, F. Ulín-Montejo, J. N. Mercado and D. Petit Jiménez (2010). "Caracterización morfológica y cambios durante la vida postcosecha de cuatro tipos de chile amashito (*Capsicum annuum* L.) variedad glabriusculum (dunal) Heiser & Pickersgill." *Rev. Iber. Tecnología Postcosecha* (**11**): p. 92-100.
13. Ananthan, R., K. Subhash and T. Longvah (2018). "Capsaicinoids, amino acid and fatty acid profiles in different fruit components of the world hottest Naga king chilli (*Capsicum chinense* Jacq.)." *Food Chem* (**238**): p. 51-57.
14. Kim, J. S., Ahn J., Lee, S. J., Moon, B., Ha, T. Y., and Kim, S (2011). "Phytochemicals and Antioxidant Activity of Fruits and Leaves of Paprika (*Capsicum Annuum* L., var. *Special*) Cultivated in Korea." *J Food Sic.* **76**(2): p. 193-198.
15. Wildman, R. E. C., R. Wildman and T. C. Wallace (2007). Isoflavones: Source and Metabolism. In *Handbook of Nutraceuticals and Functional Foods*. T. F. Group. Boca Raton, FL., CRC Press. p. 23-54.
16. Rochín-Wong, C. S., N. Gámez-Meza, L. C. Montoya-Ballesteros and L. A. Medina-Juárez (2013). "Efecto de los procesos de secado y encurtido sobre la capacidad antioxidante de los fitoquímicos del chiltepín (*Capsicum annuum* L. var. *glabriusculum*)." *Rev Mex Ing Quim* (**12**): p. 227-239.

CAPÍTULO 5

HIDROLATO DE LIMONARIA (*Cymbopogon citratus*) COMO DESINFECTANTE ARTESANAL SOSTENIBLE, UNA ALTERNATIVA ECOLÓGICA PARA LA HIGIENE DOMÉSTICA

Data de submissão: 04/05/2026

Data de aceite: 22/05/2026

Juan Carlos Llanes Carvajal

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA
Tecnacademia Fija - Regional Arauca
Arauca - Arauca - Colombia
<https://orcid.org/0000-0002-5770-5680>

Miller Sánchez Balaguera

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA
Tecnacademia Fija - Regional Arauca
Arauca - Arauca - Colombia
<https://orcid.org/0000-0002-4108-4971>

Andrea Catalina Escalante Rico

Servicio Nacional de Aprendizaje SENA
Tecnacademia Fija - Regional Arauca
Arauca - Arauca - Colombia
<https://orcid.org/0009-0005-3653-3006>

RESUMEN: Este estudio desarrolló y evaluó un desinfectante artesanal sostenible a base de hidrolato de limonaria (*Cymbopogon citratus*) y aceite esencial de mandarina (*Citrus reticulata*) para la higiene doméstica. Mediante hidrodestilación por arrastre de vapor-etanol de 1 kg de hojas frescas de limonaria se obtuvo aproximadamente 1 L de destilado enriquecido, del cual se recuperó un hidrolato estable con rendimiento entre 0,5% y 1% respecto a la

biomasa, valor acorde con reportes previos para hidrolatos de plantas aromáticas; se formuló una solución desinfectante (solución 2) con hidrolato de limonaria, aceite esencial de mandarina, agua destilada y bicarbonato de sodio, manteniendo un pH ligeramente ácido (=5,7), mientras que otra formulación (solución 1, pH = 9,4) careció de bicarbonato. La solución 1 resultó fisicoquímicamente estable durante 4 semanas, pero sin actividad antimicrobiana frente a enterobacterias (zona de inhibición = 0mm), mientras que la solución 2 mostró halos de inhibición cercanos a 10mm de forma constante, sin evidencia de pérdida de eficacia ni de inestabilidad visual u organoléptica; Ambas soluciones fueron biodegradables y no tóxicas, pero solo la solución 2, formulada en medio ligeramente ácido, constituyó una alternativa viable, segura y sostenible para la desinfección de superficies domésticas no críticas, con potencial de optimización y escalado.

PALABRAS CLAVE: hidrolato; *Cymbopogon citratus*; actividad antimicrobiana; biodegradable.

LEMONGRASS (*Cymbopogon citratus*)
HYDROSOLAS SUSTAINABLE ARTISANAL
DISINFECTANT, AN ECOLOGICAL
ALTERNATIVE FOR DOMESTIC HYGIENE

ABSTRACT: This study developed and evaluated a sustainable, artisanal disinfectant based on lemongrass (*Cymbopogon citratus*) hydrosol and mandarin (*Citrus reticulata*)

essential oil for domestic hygiene. Approximately 1 L of enriched distillate was obtained by steam distillation of 1 kg of fresh lemongrass leaves using ethanol. A stable hydrosol was recovered from this distillate with a yield between 0.5% and 1% relative to the biomass, a value consistent with previous reports for hydrosols of aromatic plants. A disinfectant solution (solution 2) was formulated with lemongrass hydrosol, mandarin essential oil, distilled water, and sodium bicarbonate, maintaining a slightly acidic pH (=5.7), while another formulation (solution 1, pH = 9.4) lacked bicarbonate. Solution 1 proved to be physicochemically stable for 4 weeks, but without antimicrobial activity against enterobacteria (inhibition zone = 0mm), while solution 2 showed inhibition zones close to 10mm consistently, with no evidence of loss of efficacy or visual or organoleptic instability; Both solutions were biodegradable and non-toxic, but only solution 2, formulated in a slightly acidic medium, constituted a viable, safe and sustainable alternative for the disinfection of non-critical domestic surfaces, with potential for optimization and scaling up.

KEYWORDS: hydrosol; *Cymbopogon citratus*; antimicrobial activity; biodegradable.

1. INTRODUCCION

La creciente preocupación por los procesos de higienización doméstica ha generado la búsqueda de alternativas sostenibles y asequibles para la desinfección de superficies que eviten la proliferación de bacterias patógenas que causan infecciones y enfermedades; el uso de productos químicos es generalizado tanto en actividades cotidianas como en diversos sectores industriales, con efectos positivos en la salud y el nivel de vida. No obstante, sus efectos adversos sobre la salud y el medio ambiente, especialmente por exposiciones prolongadas, siguen siendo un tema de creciente preocupación (Iriarte et al., 2025); Aunque existen numerosos desinfectantes comerciales, muchos contienen compuestos químicos que pueden ser tóxicos y poco amigables con el medio ambiente según los datos recopilados por (Musee et al., 2023) sugieren que las sustancias químicas incorporadas en los desinfectantes y sanitizantes están presentes en el medio ambiente, y una gran parte son tóxicas para peces, algas entre otras especies, en este contexto, la elaboración de desinfectantes artesanales a base de extractos naturales como la planta popularmente conocida como limonaria (*Cymbopogon citratus*), representa una opción innovadora y amigable con el medio ambiente.

El *Cymbopogon Citratus* es un arbusto tropical perenne originario del sudeste asiático, pertenece a la familia de las poáceas, presenta hojas largas y delgadas de color verde, conocida comúnmente como hierba limón, se utiliza ampliamente en todo el mundo con diversos usos herbolarios como infusión, en los países africanos y latinoamericanos, esta hierba se consume mucho como bebida herbal aromática y de sabor agradable, los extractos acuosos de hojas secas se utilizan en la medicina popular

para el tratamiento de varias patologías basadas en la inflamación (Abud González et al., 2023), su aroma cítrico se debe a la presencia de un monoterpeno **cíclico** (citrál), que contiene una cantidad considerable de flavonoides, aceites esenciales, compuestos fenólicos con propiedades antibacterianas, antifúngicas y antiinflamatorias; debido a su volatilidad y aroma cítrico (Oladeji et al., 2019), lo que la convierte en un ingrediente ideal para la formulación de productos de limpieza doméstica.

Los aceites esenciales concentran los metabolitos secundarios de las plantas, los cuales pueden ser alcoholes, ácidos, ésteres, fenoles y terpenos, entre otros, y son los que les permiten a las plantas responder ante situaciones de estrés como ataques de insectos, depredadores, microorganismos (Durán et al., 2021), la extracción de estos se obtiene generalmente por arrastre de vapor debido a que esos no se disuelven en el agua son insolubles en ella, este método clásico de extracción por destilación (en corriente de vapor a presión reducida), permite la extracción de aceite esencial y del hidrolato el cual contiene las propiedades frescas y cítricas de la hierba limón, proporcionando un toque revitalizante y refrescante a los productos cosméticos y de cuidado personal que se elaboran a base de este, sus componentes lipídicos juegan un rol fundamental en las formulaciones cosméticas ya sea como activos emulsionantes y protectores, o como vehículo de otros compuestos Lipófilos (Arévalo et al., 2021).

Este proyecto se origina en la necesidad de promover el aprovechamiento de recursos naturales para la elaboración de productos de limpieza doméstica, impulsando la tecnificación de procesos artesanales; se propone la obtención de un hidrolato de (*Cymbopogon citratus*) como desinfectante artesanal sostenible, sustentado en una revisión sistemática de sus propiedades antimicrobianas (Kiełtyka-Dadasiewicz et al., 2024) y la evaluación de sus propiedades fisicoquímicas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El desarrollo del desinfectante artesanal a base de limonaria y la evaluación de su eficacia antibacteriana, se llevó a cabo en las instalaciones de la Tecnoacademia Fija Arauca- Colombia, donde se promueve la apropiación y aplicación de conocimientos científico-tecnológicos en contextos reales fortaleciendo capacidades de innovación y emprendimiento sostenible en aprendices, mediante la formulación, evaluación y validación de productos innovadores amigables con el medio ambiente.

2.1. RECOLECCIÓN Y PREPARACIÓN DE MATERIA PRIMA

2.1.1. Obtener limonaria fresca (*Cymbopogon citratus*)

Se recolectaron hojas frescas de *Cymbopogon citratus* en bolsas de plástico estériles de la huerta de la Tecnoacademia (7°04'17"N 70°46'25"W), se transportaron al laboratorio de biotecnología, donde se enjuagaron ligeramente con agua fría y se dejaron secar unas horas para eliminar exceso de humedad, se picaron en trozos pequeños para facilitar el cargue al destilador, se pesaron aproximadamente 1 kg de biomasa.

2.1.2. Destilación hidrolato por arrastre de vapor

Se empleó el destilador de aceites esenciales TECNAL; TE-2765, diseñado específicamente para extracción por hidrodestilación (arrastre de vapor) de compuestos volátiles en plantas aromáticas con capacidad de 5L en balón, control de temperatura analógico hasta 300°C, entrada de vacío para reducir punto de ebullición y columna central para desconexión rápida del condensador (Fustaino, 2024).

Preparación del equipo: se inspeccionó el destilador, se llenó el balón de 5000 ml con alcohol al 70% hasta 2/3 de su capacidad (aprox. 3L) y se colocó el material vegetal fresco 1 kg de hojas frescas de *Cymbopogon citratus* picadas suspendidas en la solución en el balón, permitiendo que el alcohol actuara como solvente volátil para arrastre de metabolitos hidrosolubles y lipofílicos.

Montaje y arrastre de vapor: se montó la cúpula, columna central y serpentina refrigerada con agua fría (5-10°C en flujo continuo), se ajustó el calentador a 78-100°C (punto de ebullición del etanol 70%), iniciando el vapor de alcohol que arrastró los compuestos esenciales durante 1.5-2 horas hasta recolectar aproximadamente 1L de destilado alcohólico enriquecido con hidrolato, teniendo como referente a (Armijo et al., 2012).

Control y finalización: Se controló temperatura (78-95°C), volumen recolectado y pH (3.5-5), deteniendo al observar vapor claro; el hidrolato se almacenó en frascos tapa azul a 4°C, rindiendo 0.5-1% de aceite y hidrolato estable para formulación desinfectante.

2.1.3. Formulación desinfectante artesanal.

Se formularon dos soluciones desinfectantes artesanales a partir del hidrolato de limonaria (*Cymbopogon citratus*) obtenido previamente teniendo como referente a (PEZO & REYES, 2017); este se mezcló con ingredientes naturales, incluyendo extracto de aceite esencial de mandarina (*Citrus reticulata*) obtenido mediante técnica de extracción

con solventes orgánicos (maceración casera) según (Márquez, 2003), agua destilada y bicarbonato de sodio (NaHCO_3). Cada solución se preparó en proporciones específicas, se agitó vigorosamente para homogeneizar y se envasó en frascos de vidrio de 500 ml con tapa azul. Las soluciones se almacenaron a temperatura ambiente (25 °C) durante 30 días para evaluar su estabilidad y conservación de propiedades.

Solución 1

Composición: 150 ml de hidrolato de limonaria (*Cymbopogon citratus*), 75 ml de extracto de aceite esencial de mandarina (*Citrus reticulata*) y 25 ml de agua destilada (proporción 60:30:10; volumen total: 250 ml). Tras la agitación y homogeneización, se conservó a temperatura ambiente.

Solución 2

Composición: 150 ml de hidrolato de limonaria (*Cymbopogon citratus*), 75 ml de extracto de aceite esencial de mandarina (*Citrus reticulata*), 23,75 ml de agua destilada y 1,25 g de bicarbonato de sodio (proporción 60:30:9,5:0,5; volumen total: 250 ml). Tras la agitación y homogeneización, se conservó a temperatura ambiente.

2.1.4. Evaluación de la eficacia antibacteriana

Se aislaron colonias típicas de bacterias en agar MacConkey, medio selectivo y diferencial para enterobacterias, mediante técnica de siembra masiva según prácticas de microbiología descrito por (Sanz, 1997).

Método de difusión en disco de agar (Kirby-Bauer), se prepararon placas de agar Mueller-Hinton inoculadas uniformemente con siembra masiva de las enterobacterias previamente aisladas en agar MacConkey; sobre estas placas se depositaron discos de filtro impregnados con las soluciones 1 y 2, por duplicado, siguiendo el método de susceptibilidad antimicrobiana descrito por (Sandoval et al., 2016). Las placas se incubaron durante 18-24 h a 35 ± 2 °C, y posteriormente se midieron los diámetros de las zonas de inhibición.

2.1.5. Análisis físico-químico y estabilidad

Se midió el pH de las soluciones desinfectante con medidor digital TECNAL de mesa, R-TEC-7-MP calibrado, se evaluaron parámetros sensoriales como color (incoloro/traslúcido), aroma (fresco/cítrico) y estabilidad a lo largo del tiempo mediante observaciones periódicas. Las soluciones se almacenaron en botellas de vidrio tapa azul a temperatura ambiente y se monitorearon cambios en pH, color y olor en intervalos de 4 semanas para confirmar estabilidad.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La hidrodestilación por arrastre de vapor- etanol de 1kg de hojas frescas de *Cymbopogon citratus* permitió obtener aproximadamente 1L de destilado enriquecido, del cual se recuperó un hidrolato estable con un rendimiento estimado entre 0,5% y 1% en volumen respecto a la biomasa fresca. Este rango de rendimiento se encuentra alineado con los valores reportados para hidrolatos de plantas aromáticas mediante destilación por arrastre de vapor simple (Kiełtyka-Dadasiewicz et al., 2024).

Las características fisicoquímicas y la estabilidad de las soluciones se evaluaron mediante cuatro mediciones de pH semanales para cada formulación (Solución 1 y Solución 2), empleando un pHmetro de mesa calibrado con precisión $\pm 0,1$, bajo condiciones de temperatura controlada. Simultáneamente, se monitoreó la estabilidad visual (color y transparencia) y organoléptica (olor) durante cuatro semanas de almacenamiento a temperatura ambiente (25 °C) como se observa a continuación en la Tabla 1.

Tabla 1. Variación del pH de las soluciones durante 4 semanas.

Solución	Semana	pH 1	pH 2	pH 3	pH 4	Promedio (pH)
1	1	9,4	9,3	9,5	9,4	9,40
2	1	5,7	5,6	5,8	5,7	5,70

Ambas soluciones mostraron pH estable durante el periodo de observación, con variaciones máximas de $\pm 0,1-0,2$ unidades respecto al valor inicial; la solución 1 se mantuvo ligeramente básica (media 9,40), mientras que la solución 2 se situó en el rango ligeramente ácido (media 5,70). No se detectó precipitación, turbidez ni cambios intensos en el olor, lo que evidencia una buena estabilidad física y química de los hidrolatos durante cuatro semanas bajo las condiciones de almacenamiento evaluadas (Berrocal, 2025).

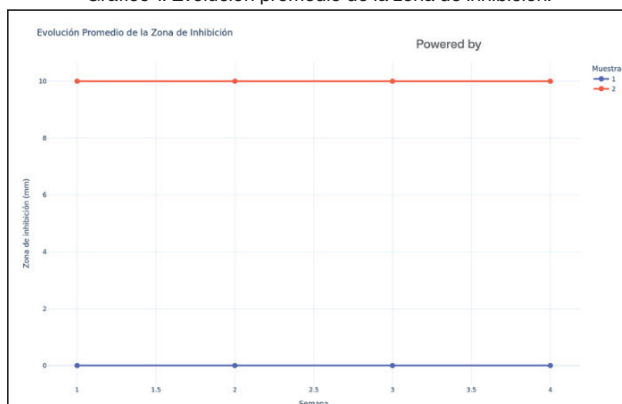
La actividad antimicrobiana se evaluó mediante el método de difusión en disco (Kirby-Bauer) descrito por (Sandoval et al., 2016), sobre agar Mueller-Hinton inoculado con enterobacterias previamente aisladas en agar MacConkey; por cada solución se realizaron 2 placas por semana durante 4 semanas, para un total de 8 ensayos por solución; en cada placa se impregnaron discos de papel filtro con cada formulación, se incubaron 18–24 h a 35 ± 2 °C y se midió el diámetro de las zonas de inhibición en milímetros, como se observa en la Tabla 2.

Tabla 2. Resultados de actividad antimicrobiana de las soluciones durante 4 semanas.

Solución	Semana	Placa	Zona de inhibición (mm)	Observación	pH
1	1	1A	0	Sin halo	9,4
1	1	1B	0	Sin halo	9,3
1	2	2A	0	Sin halo	9,5
1	2	2B	0	Sin halo	9,4
1	3	3A	0	Sin halo	9,4
1	3	3B	0	Sin halo	9,3
1	4	4A	0	Sin halo	9,5
1	4	4B	0	Sin halo	9,4
2	1	1A	10	Halo claro	5,7
2	1	1B	10	Halo claro	5,6
2	2	2A	10	Halo claro	5,8
2	2	2B	10	Halo claro	5,7
2	3	3A	9,5	Halo ligeramente menor	5,7
2	3	3B	10,5	Halo ligeramente mayor	5,6
2	4	4A	10	Halo claro	5,8
2	4	4B	10	Halo claro	5,7

Los resultados evidenciaron una diferencia clara entre las dos soluciones: la solución 1 no generó halos de inhibición (0 mm) en ninguna de las 8 pruebas, lo que indica ausencia de actividad antimicrobiana frente a las enterobacterias evaluadas; la solución 2, en cambio, exhibió halos de aproximadamente 1 cm (=10 mm) en todas las semanas, con variabilidad mínima (9,5–10,5 mm); esta estabilidad temporal y la reproducibilidad entre réplicas (A y B) sugieren que la formulación mantuvo su eficacia antimicrobiana sin pérdida significativa por degradación o almacenamiento.

Gráfico 1. Evolución promedio de la zona de inhibición.



El gráfico 1. Ilustra la evolución temporal del promedio de la zona de inhibición para ambas soluciones, se observa que la solución 2 presenta una estabilidad notable en su efecto inhibitorio, manteniendo valores cercanos a 10 mm de forma consistente desde la semana 1 hasta la semana 4, con variaciones mínimas entre las réplicas (placas A y B).

4. DISCUSIÓN

La constancia del pH registrado durante 4 semanas en ambas soluciones, con desviaciones mínimas entre las mediciones semanales, indica que no se produjeron reacciones químicas significativas de degradación ni de interacción entre los componentes durante el periodo de observación según criterios de (Berrocal, 2025). La solución 1, con pH promedio de 9,40, se mantuvo en condiciones ligeramente básicas, mientras que la solución 2, con pH promedio de 5,70, se estabilizó en condiciones ligeramente ácidas, lo cual condiciona directamente la actividad antimicrobiana de los compuestos presentes.

Estudios con hidrolatos y aceites esenciales de *Cymbopogon citratus* y *Citrus reticulata* señalan que la actividad antimicrobiana es mayor en medios ácidos, donde compuestos como el citral y otros terpenos se disuelven y difunden de forma más eficiente, alterando la integridad de la membrana bacteriana (Abud González et al., 2023; Kiełtyka-Dadasiewicz et al., 2024); el pH ligeramente ácido de la solución 2 favorece este perfil, mientras que el pH ligeramente básico de la solución 1 podría estar induciendo cierta desestabilización o menor solubilidad de los metabolitos activos, lo que explicaría la ausencia de halos de inhibición.

En cuanto a la actividad antimicrobiana a lo largo del tiempo la solución 1 no generó halos de inhibición en ninguna de las 8 pruebas realizadas, lo que indica ausencia de actividad antimicrobiana frente a las enterobacterias evaluadas bajo las condiciones de ensayo empleadas; Esta respuesta se mantiene constante a lo largo del tiempo, lo cual sugiere que la composición de esta formulación, aunque basada en recursos naturales, no alcanza la concentración, el pH o la combinación de compuestos necesarios para ejercer efecto inhibitorio.

En contraste, la solución 2 mostró halos de inhibición de 1 cm (\approx 10 mm) en todas las semanas evaluadas, con una variabilidad mínima entre semanas (9,5–10,5 mm). Este patrón indica que la formulación mantuvo su eficacia antimicrobiana estable durante 4 semanas, sin evidencia de pérdida de actividad por almacenamiento o degradación rápida de los principios activos. La presencia de halos de inhibición similares en las ocho placas empleadas (4 semanas \times 2 replicaciones) respalda la reproducibilidad del efecto antimicrobiano de esta solución; ambas soluciones se comportaron como

productos biodegradables y no tóxicos, elaborados con ingredientes naturales, lo que las posiciona como alternativas más sostenibles frente a muchos desinfectantes comerciales que contienen compuestos sintéticos catalogados como tóxicos para organismos acuáticos (Musee et al., 2023). La solución 1, a pesar de su ausencia de actividad antimicrobiana, puede ser útil como limpiador de superficies no críticas, donde el objetivo principal es reducir el uso de agentes químicos agresivos y minimizar el riesgo de resistencias microbianas.

En cambio, la solución 2 se presenta como candidata prioritaria para ser desarrollada como desinfectante artesanal sostenible, ya que combina estabilidad de 4 semanas, pH favorable y actividad antimicrobiana moderada y constante frente a las enterobacterias. Este perfil la hace adecuada para su prueba en superficies domésticas (mesas, encimeras, utensilios no críticos) en contextos educativos y comunitarios, como la Tecnoacademia Fija Arauca.

5. CONCLUSION

El desarrollo de este proyecto permitió establecer la viabilidad técnica de un desinfectante artesanal sostenible a base de hidrolato de limonaria (*Cymbopogon citratus*) y aceite esencial de mandarina (*Citrus reticulata*) para la higiene doméstica. La solución 2, formulada en condiciones ligeramente ácidas (pH=5,7), mostró actividad antimicrobiana moderada y consistente frente a enterobacterias durante 4 semanas de evaluación, con halos de inhibición cercanos a 10 mm, sin evidencia de pérdida de efectividad a lo largo del tiempo. En contraste, la solución 1 (pH= 9,4), aunque estable y biodegradable, careció de actividad antimicrobiana, lo que resalta la dependencia entre el pH de la formulación y la expresión de las propiedades inhibitorias de los metabolitos vegetales.

Ambas soluciones se caracterizaron por ser biodegradables, no tóxicas, elaboradas con recursos naturales y cinéticamente estables por al menos 4 semanas, lo que las posiciona como alternativas sostenibles frente a desinfectantes comerciales con potencial impacto ambiental. En conjunto, los resultados sustentan que el desinfectante artesanal basado en hidrolato de limonaria, formulado en medio ligeramente ácido, constituye una propuesta viable, segura y sostenible para la desinfección de superficies domésticas no críticas, con potencial de optimización y escalado mediante estudios de concentración mínima inhibitoria, ampliación del rango de microorganismos diana y validación en condiciones de uso real.

BIBLIOGRAFIA

Abud González, M., Escutia Gutiérrez, R., Macias Lamas, A. M., & Guevara Martínez, S. J. (2023). Coadyuvante con propiedades repelentes y relajantes de origen natural a partir de hojas de *Cymbopogon Citratus*. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(3), 7057–7073. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i3.6702

Arébalo, L., Sánchez, L., Villagómez, A., Xiomara, L., Luna, S., & Mikaela, E. (2021). *Implementación de un destilador prototipo por arrastre de vapor para la obtención de aceites esenciales de “Eucalipto” (Eucalyptus globulus)*.

Armijo, J., Vicuña, E., Romero Y Otiniano, P., Condorhuamán, C., & Hilario, B. (2012). MODELAMIENTO Y SIMULACIÓN DEL PROCESO DE EXTRACCIÓN DE ACEITES ESENCIALES MEDIANTE LA DESTILACIÓN POR ARRASTRE CON VAPOR. In *Rev. Per. Quím. Ing. Quím* (Vol. 15, Number 2).

Berrocal, G. (2025). *GUIA PARA LA REALIZACIÓN Y PRESENTACIÓN DE ESTUDIOS DE ESTABILIDAD DE PRODUCTOS DESINFECTANTES DE USO SANITARIO Y DOMÉSTICO*.

Durán, Z., Quintero, O., & Durán, D. (2021). *CHARACTERISTICS OF ESSENTIAL OIL OF LEMONGRASS (CYMBOPOGON CITRATUS) PRODUCED IN YOPAL, COLOMBIA*.

Fustaino, J. L. (2024). *DESTILADOR DE ACEITES ESENCIALES*.

Iriarte, J. J., Álvarez, A. L., & Rodríguez, Y. (2025). Impacto de los productos de limpieza domésticos en la calidad del aire interior y la salud respiratoria. *Revista Gregoriana de Ciencias de La Salud*, 2(1), 123–137. <https://doi.org/10.36097/rqcs.v2i1.3144>

Kiełtyka-Dadasiewicz, A., Esteban, J., & Jabłońska-Trypuć, A. (2024). Antiviral, Antibacterial, Antifungal, and Anticancer Activity of Plant Materials Derived from *Cymbopogon citratus* (DC.) Stapf Species. In *Pharmaceuticals* (Vol. 17, Number 6). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/ph17060705>

Márquez, L. de los A. (2003). *EXTRACCIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE MANDARINA (Citrus Reticulata) UTILIZANDO DIÓXIDO DE CARBONO EN CONDICIÓN SUPERCRÍTICA COMO SOLVENTE*.

Musee, N., Ngwenya, P., Motaung, L. K., Moshuhla, K., & Nomngongo, P. (2023). Occurrence, effects, and ecological risks of chemicals in sanitizers and disinfectants: A review. In *Environmental Chemistry and Ecotoxicology* (Vol. 5, pp. 62–78). KeAi Communications Co. <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2023.01.003>

Oladeji, O. S., Adelowo, F. E., Ayodele, D. T., & Odelade, K. A. (2019). Phytochemistry and pharmacological activities of *Cymbopogon citratus*: A review. In *Scientific African* (Vol. 6). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00137>

PEZO, I. L., & REYES, J. Z. (2017). *PLAN DE NEGOCIO PARA LA ELABORACIÓN DE DESINFECTANTE A BASE DE ACEITE DE PALO SANTO PARA PRODUCTORES DE LA COMUNIDAD QUIMÍS DEL CANTÓN JIPIJAPA PARA LA CIUDAD DE GUAYAQUIL EN EL AÑO 2017*.

Sandoval, P., Edward, J., Reyna, I., & Cárdenas De Reátegui, G. (2016). *UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONIA PERUANA FACULTAD DE FARMACIA Y BIOQUÍMICA AUTORES: GÓMEZ SEOPA, SILVIA MARGARITA*.

Sanz, S. A. (1997). *Prácticas De Microbiología-100835- Segunda edición; Universidad de la Rioja; Departamento de Agricultura y Alimentación; Logroño- España*.

CAPÍTULO 6

“PUERTO RICO BRILLA NATURALMENTE” REDUCE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA: IMPACTOS SOCIOECOLÓGICOS, MARCO REGULATORIO Y ESTRATEGIAS DE GESTIÓN COMUNITARIA

Data de submissão: 19/05/2026

Data de aceite: 05/06/2026

Elizabeth Padilla-Rodríguez, PhD

Para la Naturaleza
Unidad de Cultura Ecológica
Puerto Rico

RESUMEN: La contaminación lumínica constituye una forma creciente de degradación ambiental con implicaciones directas sobre la biodiversidad, la salud humana y la eficiencia energética. Este estudio analiza el caso de Puerto Rico integrando evidencia científica, normativa y educativa derivada de la iniciativa Puerto Rico Brilla Naturalmente. Se examinan los impactos ecológicos, incluyendo la alteración de ciclos biológicos y la afectación de ecosistemas sensibles como las bahías bioluminiscentes, así como efectos en la salud humana asociados a la disrupción del ciclo circadiano. Asimismo, se evalúa el marco legal vigente, particularmente la Ley 218-2008, y se describen estrategias de manejo basadas en educación, monitoreo y participación comunitaria. Los resultados evidencian la necesidad de un enfoque sistémico que articule ciencia, política pública y acción ciudadana.

PALABRAS CLAVE: contaminación lumínica; Puerto Rico; Caribe; sostenibilidad; biodiversidad; política pública; gobernanza ambiental.

“PUERTO RICO SHINES NATURALLY”:
REDUCES LIGHT POLLUTION:
SOCIOECOLOGICAL IMPACTS,
REGULATORY FRAMEWORK, AND
COMMUNITY-BASED MANAGEMENT
STRATEGIES

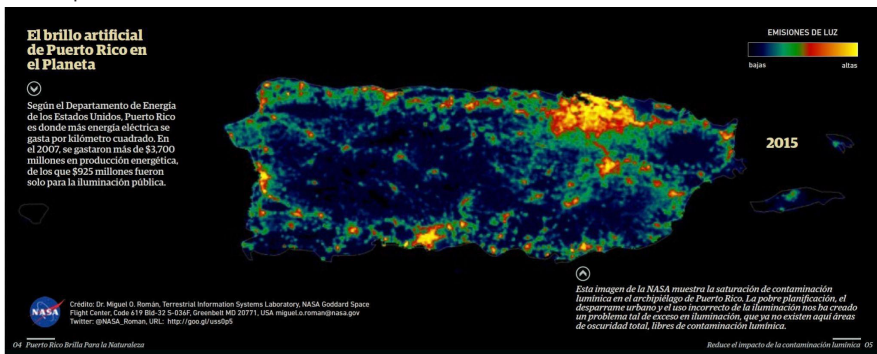
ABSTRACT: Light pollution is an increasingly recognized environmental issue with significant ecological, health, and economic impacts. This paper analyzes the case of Puerto Rico by integrating scientific, regulatory, and educational perspectives derived from the Puerto Rico Shines Naturally initiative. Ecological impacts on nocturnal species and sensitive ecosystems, particularly bioluminescent bays, are examined, alongside human health effects related to circadian disruption. The study also reviews the legal framework, including Law 218-2008, and presents management strategies based on education, monitoring, and community engagement. Findings highlight the need for a systemic and multi-sectoral approach to mitigate light pollution.

KEYWORDS: light pollution; Puerto Rico; Caribbean; sustainability; biodiversity; public policy; environmental governance.

1. INTRODUCCIÓN

La contaminación lumínica se define como el efecto adverso de la luz artificial que altera la oscuridad natural del cielo nocturno (Gobierno de Puerto Rico, 2008). En Puerto Rico, este fenómeno ha emergido como un problema ambiental relevante debido a procesos de urbanización, turismo y uso ineficiente de la iluminación. Imágenes satelitales, como se aprecia en la figura 1, han evidenciado niveles elevados de brillo artificial, posicionando al archipiélago de Puerto Rico entre las regiones con mayor intensidad lumínica en el Caribe (Román, 2015). Este escenario no solo limita la observación astronómica, sino que también impacta sistemas ecológicos y sociales.

Figura 1. Distribución del brillo nocturno en Puerto Rico. Tomado de la página 3 del panfleto Puerto Rico Brilla Naturalmente por Para la Naturaleza.



Ante esta situación, desde el año 2005, Para la Naturaleza (PLN) impulsó una iniciativa orientada a reducir los efectos de la contaminación lumínica sobre la biodiversidad en la Reserva Natural Cabezas de San Juan (CSJ), en Fajardo, Puerto Rico, así como en las áreas naturales circundantes, incluyendo la protección de su laguna bioluminiscente. A la vez, la iniciativa buscó diseñar un modelo replicable que pudiera implementarse en otras comunidades, áreas protegidas y organizaciones con intereses afines.

Como primer paso, se estableció un comité asesor integrado por personas expertas provenientes de sectores gubernamentales, académicos, comunitarios y profesionales especializados, incluyendo arquitectura sostenible. Posteriormente, se estructuró el abordaje del problema en cuatro áreas clave: efectos ecológicos, efectos astronómicos, efectos en la salud humana y efectos en el consumo energético. Esta clasificación permitió orientar de manera más eficiente las estrategias educativas y de intervención, tanto a corto como a largo plazo.

Una vez definido el marco de trabajo, se delimitó un perímetro de aproximadamente 630 acres alrededor de CSJ para realizar un inventario de luminarias, organizadas por

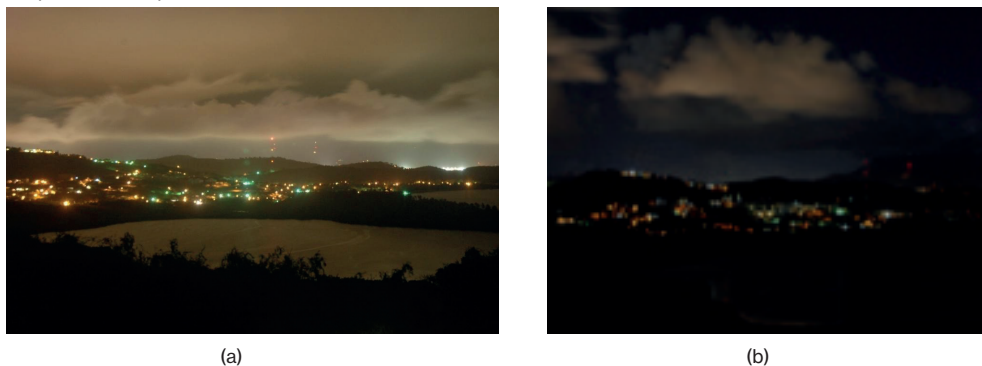
zonas de análisis. Como resultado, se identificaron más de 400 luminarias como fuentes potenciales de contaminación lumínica, distribuidas en siete zonas que incluían espacios de uso público (como balnearios y alumbrado vial), así como áreas privadas (residencias, hoteles y espacios recreativos).

A partir de este diagnóstico, se establecieron criterios de evaluación para determinar las acciones correctivas más adecuadas. Entre las preguntas guía se incluyeron: ¿son necesarias todas las luminarias existentes? ¿Hacia dónde se dirige la luz emitida (cielo, laterales o el suelo)? ¿Es eficiente el consumo energético y apropiado el espectro (color) de luz utilizado?

Asimismo, se evaluó el potencial de participación de las comunidades aledañas y su rol en la implementación de soluciones.

Como resultado de este esfuerzo, se desarrolló el programa *Puerto Rico Brilla Naturalmente: reduce la contaminación lumínica*, el cual, en un periodo de seis años, logró reducir significativamente la contaminación lumínica en los alrededores de CSJ. Este esfuerzo integró a la comunidad circundante mediante procesos educativos que facilitaron la comprensión del valor de los cielos oscuros y promovieron prácticas para reducir la contaminación lumínica.

Figura 2. Área inicial del programa *Puerto Rico Brilla Naturalmente*. (a) Contaminación lumínica en el área de Las Croabas, sector circundante a CSJ, al inicio del programa en 2006. (b) Reducción observada en 2012, seis años después de su implementación. Fuente: Para la Naturaleza.



A partir de esta experiencia, se diseñó e implementó un plan de manejo orientado a reducir la luz artificial en áreas protegidas, conservadas y otras zonas de interés. Este plan se estructuró en torno a los siguientes objetivos: (1) educar a las comunidades vecinas sobre los efectos de la contaminación lumínica y orientar sobre prácticas de iluminación adecuadas; (2) promover cambios en los sistemas de iluminación en sectores residenciales, comerciales, turísticos y en la infraestructura vial; (3) contribuir al establecimiento de un marco regulatorio; y (4) desarrollar protocolos de medición de la

brillantez atmosférica nocturna que permitan generar datos empíricos para sustentar la toma de decisiones y las acciones regulatorias.

2. METODOLOGÍA

El programa adopta un enfoque cualitativo de tipo estudio de caso, orientado a comprender la contaminación lumínica en las islas de Puerto Rico como un fenómeno socioecológico complejo. Este enfoque, dentro de un marco de sistemas socioecológicos (SES), permite integrar múltiples fuentes de información y analizar la interacción entre dimensiones ecológicas, sociales, tecnológicas y normativas. Para ello, se empleó una combinación de análisis documental, revisión normativa y sistematización de experiencias programáticas. Este enfoque busca fortalecer la validez del programa mediante la convergencia de distintas fuentes y perspectivas.

Para el análisis documental se realizó una revisión de materiales educativos, técnicos y científicos relacionados con la contaminación lumínica, incluyendo guías educativas y materiales de sensibilización comunitaria, informes técnicos y documentos institucionales y literatura científica relevante sobre impactos ecológicos, de salud y energéticos de la luz artificial nocturna (ALAN).

El tema de la contaminación lumínica no es emergente. Ha sido estudiado y discutido por años y existe vasta literatura sobre este tema. Nuestro análisis se centró en identificar categorías clave como: impactos ecológicos, efectos en la salud humana, eficiencia energética, protocolos de medición y soluciones prácticas de iluminación. A pesar de la extensa documentación a nivel mundial, para las islas de Puerto Rico ha sido limitada dada la ausencia de datos primarios cuantitativos que puedan sostener las estrategias a nivel local, por lo que se depende de fuentes secundarias no locales. No obstante, estos análisis de documentos ofrecen, aun con sus limitaciones, una comprensión integral del fenómeno.

De otra parte, en la revisión normativa vigente en Puerto Rico se destaca la Ley Núm. 218-2008, que establece el Programa para el Control y la Prevención de la Contaminación Lumínica. Dicha ley establece el *Programa para el Control y la Prevención de la Contaminación Lumínica*, con el propósito de regular el uso de la iluminación artificial exterior para proteger la calidad del cielo nocturno, conservar energía y salvaguardar los ecosistemas. La ley define la contaminación lumínica como el efecto adverso de la luz artificial sobre los cielos nocturnos y establece normas para el diseño, instalación y operación de luminarias, promoviendo el uso eficiente de la luz y la reducción de emisiones hacia el cielo. Además, dispone la creación de reglamentos, la clasificación de áreas de

protección especial (como zonas ecológicamente sensibles) y la implementación de medidas educativas y correctivas para reducir sus impactos ambientales y sociales.

3. RESULTADOS

Durante el programa, los impactos ecológicos, de salud y energéticos derivados del uso ineficiente de iluminación artificial, han sido evidenciados en tres áreas temáticas:

3.1. IMPACTOS ECOLÓGICOS

La contaminación lumínica altera los ciclos naturales de la flora y fauna, afectando procesos como la reproducción, migración y alimentación (Falchi et al., 2016). Al modificar la oscuridad natural, la luz artificial introduce estímulos que pueden desorganizar comportamientos ecológicos que han evolucionado en sincronía con los ciclos de luz y oscuridad (ciclo circadiano).

En Puerto Rico, uno de los impactos más documentados es la desorientación de tortugas marinas, cuyas neonatas son atraídas por fuentes de luz artificial provenientes de carreteras, hospederías, residencias o comercios cercanos a la costa en lugar del horizonte marino. Esta alteración aumenta su vulnerabilidad, ya que puede alejarlas del mar y exponerlas a depredadores, a la deshidratación o a ser atropelladas (Para la Naturaleza, 2020).

Asimismo, la iluminación artificial afecta la visibilidad de la bioluminiscencia en cuerpos de agua, reduciendo su valor ecológico y turístico (Detrés et al., 2021). El exceso de luz reduce el contraste necesario para observar este fenómeno natural y puede alterar las condiciones del hábitat de los organismos responsables de producirlo. En este sentido, la contaminación lumínica no solo representa una amenaza para especies específicas, sino también para ecosistemas únicos cuyo valor ecológico, educativo, cultural y turístico depende de la conservación de la oscuridad natural.

Estos impactos evidencian la necesidad de manejar la iluminación exterior de manera responsable, especialmente en zonas costeras, áreas naturales protegidas y comunidades cercanas a ecosistemas nocturnos sensibles. Reducir la intensidad, dirección y duración de la luz artificial contribuye a proteger la biodiversidad, mantener los procesos ecológicos nocturnos y conservar la calidad ambiental del paisaje nocturno.

3.2. IMPACTOS EN LA SALUD HUMANA

La exposición prolongada a luz artificial nocturna interfiere con la producción de melatonina, hormona clave en la regulación del ciclo circadiano y en procesos fisiológicos

como el sueño, la recuperación celular y la función inmunológica (Cajochen et al., 2011). Esta alteración ocurre cuando se suprime esta hormona, particularmente cuando existe exposición a luz de espectro azul, común en luminarias LED, pantallas y alumbrado urbano, durante horas en las que el organismo está biológicamente preparado para la oscuridad.

La disrupción del ritmo circadiano puede derivar en trastornos del sueño, incluyendo insomnio, sueño fragmentado y reducción en la calidad del descanso. Estas alteraciones afectan funciones cognitivas como la memoria, la atención y el rendimiento, y se asocian con un incremento en los niveles de estrés, ansiedad y síntomas depresivos (Cajochen et al., 2011).

Asimismo, la evidencia científica sugiere que la exposición crónica a la luz artificial nocturna puede tener efectos sistémicos, incluyendo alteraciones metabólicas y endocrinas, como desregulación del apetito, aumento de peso y cambios hormonales. Algunos estudios también han identificado asociaciones entre la alteración del ciclo circadiano y un mayor riesgo de enfermedades cardiovasculares y ciertos tipos de cáncer, particularmente cáncer de mama, aunque estos vínculos continúan en evaluación (Stevens et al., 2014; World Health Organization, 2020).

A pesar de que para Puerto Rico no hay estudios clínicos en este tema, sí puede inferirse a partir de la revisión de literatura que en contextos urbanos de Puerto Rico, donde la iluminación artificial permanece activa durante toda la noche, estos efectos adquieren relevancia desde una perspectiva de salud pública. La planificación inadecuada del alumbrado no solo impacta los ecosistemas, sino que también influye directamente en el bienestar humano.

Promover prácticas de iluminación responsables, como el uso de luz cálida, la reducción de la intensidad innecesaria, la limitación de la exposición a pantallas antes de dormir y el diseño de iluminación exterior dirigida y eficiente, constituyen una estrategia preventiva clave para proteger la salud y restablecer ritmos biológicos en armonía con los ciclos naturales de luz y oscuridad.

3.3. IMPACTOS ENERGÉTICOS Y ECONÓMICOS

El uso ineficiente de la iluminación artificial representa un costo significativo tanto en términos económicos como ambientales. A nivel global, se estima que una proporción considerable de la iluminación exterior, particularmente aquella mal dirigida, sobreiluminada o innecesaria, se desperdicia, iluminando áreas donde no se requiere (como el cielo nocturno) en lugar de cumplir su función específica. Este fenómeno no solo implica un uso ineficiente de la energía, sino también una pérdida directa de recursos económicos (International Dark-Sky Association, 2020).

Desde la perspectiva energética, la iluminación constituye un componente relevante del consumo eléctrico en entornos urbanos. Cuando los sistemas de alumbrado no están diseñados bajo criterios de eficiencia, como el uso de luminarias apantalladas, sensores de movimiento o temporizadores, se incrementa la demanda energética, lo que a su vez contribuye a mayores emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente en contextos donde la generación eléctrica depende de combustibles fósiles (Kyba et al., 2017). De igual forma, la sobreiluminación en sectores comerciales y turísticos no necesariamente mejora la seguridad ni la experiencia del usuario, pero sí incrementa los costos operacionales y la demanda por energía y por tanto su impacto climático.

En el contexto de Puerto Rico, donde los costos de energía son relativamente altos y el sistema eléctrico enfrenta desafíos estructurales, la optimización del uso de la iluminación adquiere una relevancia estratégica. El costo de energía en Puerto Rico es uno de los más altos de Estados Unidos., rondando los 23-27 centavos por kWh para clientes residenciales en 2025. Un hogar promedio consume entre 500 y 1,000 kWh mensuales, lo que resulta en facturas típicas de entre \$150 y \$300 mensuales, variando según el uso de equipos electrónicos (Hybrid Energy PR, 2025). Por tanto, reducir el desperdicio lumínico no solo contribuye a la sostenibilidad ambiental, sino que también representa una oportunidad concreta para mejorar la eficiencia económica y la resiliencia energética del archipiélago.

Para ello, es necesario continuar adoptando prácticas de iluminación responsable, como el diseño adecuado de luminarias, el uso de tecnologías LED cálidas y eficientes, la regulación de horarios de encendido y el monitoreo del consumo, para disminuir tanto el gasto energético como las emisiones asociadas. Estas medidas, además de ser rentables, contribuyen a la protección del cielo nocturno y al bienestar de los ecosistemas y su biodiversidad, a las comunidades humanas y no humanas, así como a disminuir la crisis climática.

3.4. INVESTIGACIÓN

En 2018, NASA estableció un acuerdo cooperativo con Para la Naturaleza para fortalecer la investigación y el monitoreo de la contaminación lumínica en Puerto Rico. Este acuerdo permitió: establecer estaciones de monitoreo del brillo del cielo nocturno; desarrollar protocolos científicos de medición, entrenar voluntarios y personal técnico, realizar inventarios de luminarias, y desarrollar campañas educativas y herramientas digitales de mapeo.

El proyecto se enfocó especialmente en las bahías bioluminiscentes de La Parguera (Lajas) y Bahía Mosquito (Vieques). Entre los objetivos destacados se encuentran:

recopilar datos científicos para apoyar políticas públicas; desarrollar protocolos para medir brillo atmosférico; crear materiales educativos; inventariar luminarias públicas y privadas; identificar luces que deben ser modificadas o reemplazadas y promover campañas de concienciación ciudadana.

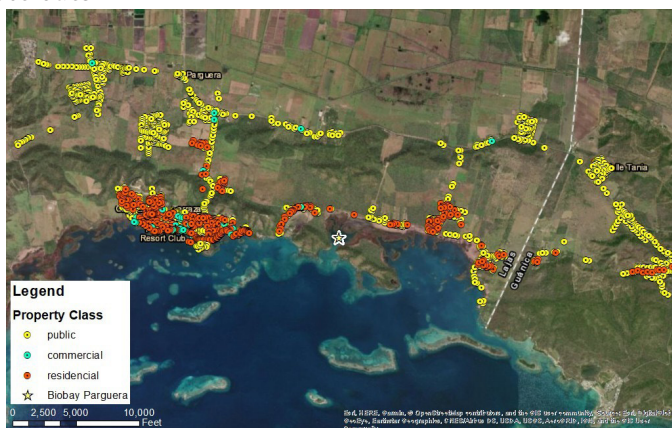
Adicionalmente, como parte de este acuerdo, entre 2018 y 2020 se realizaron numerosas actividades de divulgación y capacitación, incluyendo: talleres y entrenamientos para voluntarios; conferencias públicas; charlas en la Legislatura de Puerto Rico; recorridos educativos sobre bioluminiscencia y contaminación lumínica; y distribución de folletos educativos como “*Apaga la luz, Enciende la Naturaleza*” (ver figura número 3). Estas actividades ayudaron a aumentar el conocimiento público sobre los efectos negativos del exceso de iluminación artificial.

En cuanto a los protocolos y monitoreo científico realizado durante este periodo, el proyecto desarrolló dos protocolos principales: (1) medición del brillo del cielo nocturno; (2) inventarios de luminarias mediante ArcGIS Survey123.

Además, se establecieron estaciones de monitoreo en diferentes reservas naturales de Puerto Rico utilizando equipos Sky Quality Meter (SQM) para medir el brillo atmosférico y evaluar la calidad del cielo oscuro. Las estaciones se ubicaron en lugares como: Cabezas de San Juan (Fajardo), La Parguera (Lajas), Hacienda La Esperanza (Manatí), Cañón San Cristóbal (Barranquitas) y Hacienda Buena Vista (Ponce).

En los inventarios realizados, en La Parguera se registraron aproximadamente 2,477 luminarias, mientras que en Vieques se identificaron 426 luminarias. La mayoría correspondían a alumbrado público.

Figura 3: Inventario de luminarias para la Parguera, Lajas. Se registró un total de 2,477 luminarias en el área de La Parguera. Según la clasificación por tipo de propiedad donde se encuentran ubicadas las luminarias, 1,825 (78.87%) corresponden a alumbrado público, 435 (18.8%) son de tipo residencial, 58 (2.51%) corresponden a propiedades comerciales, y 3 (0.13%) fueron clasificadas como otras, representando una combinación entre usos públicos, comerciales y residenciales.



Los inventarios permitieron: identificar luminarias mal orientadas; evaluar niveles de cobertura lumínica; generar mapas de visibilidad y desarrollar recomendaciones para reducir impactos sobre las bahías bioluminiscentes. El proyecto integró herramientas GIS, imágenes nocturnas satelitales y sistemas de monitoreo atmosférico. También comenzó el desarrollo de cámaras CCD de bajo costo para complementar las estaciones de monitoreo.

La información recopilada alimenta iniciativas como Mapa de Vida, plataforma de ciencia ciudadana utilizada por Para la Naturaleza para apoyar estrategias de conservación. El proyecto demostró cómo los datos de iluminación nocturna pueden utilizarse para la conservación ambiental, planificación y monitoreo territorial.

4. MARCO NORMATIVO

Puerto Rico cuenta con un marco legal para atender la contaminación lumínica. La Ley 218-2008 establece el Programa para el Control y Prevención de la Contaminación Lumínica, cuyo propósito es proteger la calidad del cielo nocturno, conservar energía y salvaguardar ecosistemas sensibles (Gobierno de Puerto Rico, 2008).

El Reglamento 8786 complementa esta ley mediante criterios técnicos que incluyen: control de emisión lumínica hacia el cielo, uso de luminarias eficientes, y regulación de horarios de iluminación exterior. Este reglamento surge de la colaboración de los miembros del consejo asesor de Puerto Rico Brilla Naturalmente, quienes durante el periodo de 2014-2016 nos dimos a la tarea, mediante reuniones y grupos focales, de redactar el contenido de este reglamento, siendo aprobado por la Legislatura en 2016.

Además de establecer principios generales para el control de la contaminación lumínica, el Reglamento 8786 incorpora parámetros técnicos relacionados con los niveles de iluminación permitidos y la clasificación de los sistemas de alumbrado según el tipo de actividad y sensibilidad del entorno. Estas disposiciones buscan garantizar un balance entre seguridad, funcionalidad, eficiencia energética y protección ambiental.

El reglamento adopta criterios de iluminación basados en estándares internacionales de ingeniería y diseño lumínico, estableciendo límites máximos de iluminancia y controlando la dispersión de luz fuera de las áreas que requieren iluminación. Entre los aspectos técnicos más relevantes se incluyen: límites de intensidad lumínica permitida en áreas residenciales, comerciales e industriales; control del deslumbramiento y de la luz intrusa en propiedades adyacentes; restricciones sobre la emisión directa de luz hacia el hemisferio superior; y requisitos para el uso de luminarias de corte total (*full cutoff*) o apantalladas.

Asimismo, el reglamento clasifica las áreas de iluminación según su nivel de sensibilidad ambiental y actividad urbana. Estas categorías permiten aplicar requisitos diferenciados de iluminación conforme al contexto de cada zona. Generalmente, las clasificaciones consideran:

- Zona 1 o de protección especial: áreas ecológicas sensibles, observatorios astronómicos, reservas naturales y sectores rurales con mínima iluminación permitida.
- Zona 2 o residenciales de baja densidad: comunidades suburbanas y rurales donde se requiere iluminación moderada y control estricto de intrusión lumínica.
- Zona 3 o comerciales/residenciales mixtas: áreas urbanas con actividad comercial moderada donde se permiten niveles mayores de iluminación controlada.
- Zona 4 o de alta actividad urbana: sectores comerciales intensivos, industriales o turísticos donde los niveles de iluminación pueden ser más altos por razones de seguridad y operación.
- Zona 5 o área especial para la zona de Vieques: todo el área territorial de la Isla Municipio de Vieques, a fin de proteger la Bahía Mosquito en Vieques.
- Zona 6 o área especial para la zona de La Parguera: zona especial que será delimitada con la colaboración de la Junta de Planificación y el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales alrededor de la Bahía Bioluminiscente de la Parguera para su protección.
- Zona 7 o área especial para la zona de las Cabezas de San Juan: zona especial que será delimitada con la colaboración de la Junta de Planificación y el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales alrededor de la Laguna Grande.
- Zona 8 o área especial para las playas utilizadas por tortugas marinas: zona especial que será delimitada con la colaboración de la Junta de Planificación y el Departamento de Recursos Naturales y Ambientales que comprenderán todo el litoral costero que sirva como lugar de anidaje y desove para las tortugas marinas en su visita anual por las costas de Puerto Rico.

El reglamento también establece recomendaciones sobre temperatura de color y eficiencia energética, favoreciendo tecnologías de menor impacto ambiental y menor emisión de luz azul, debido a sus efectos sobre la fauna nocturna y los ciclos circadianos humanos.

En cuanto a los niveles de iluminación, se promueve que toda instalación mantenga únicamente la cantidad de luz necesaria para la actividad específica, evitando el sobrealumbrado. Esto incluye controles automáticos, temporizadores y reducción de intensidad durante horarios nocturnos de baja actividad.

Estas disposiciones técnicas convierten al Reglamento 8786 en una herramienta integral que no solo atiende la eficiencia energética, sino también la salud pública, la conservación ambiental y la protección del patrimonio astronómico de Puerto Rico.

5. DISCUSIÓN

Los hallazgos evidencian que la contaminación lumínica es un problema socioecológico complejo que requiere intervenciones integradas. A pesar de contar con legislación avanzada, persisten retos en su implementación y en la adopción de prácticas de iluminación responsables por parte de la ciudadanía.

El caso de Puerto Rico demuestra que la combinación de educación, regulación y participación comunitaria puede generar cambios significativos en la gestión de la contaminación lumínica. Desde el año 2006, la iniciativa Puerto Rico Brilla Naturalmente ha impulsado un enfoque integral orientado a reducir los efectos ambientales, energéticos y sociales asociados al uso inadecuado de la iluminación artificial (Para la Naturaleza, 2021).

Esta iniciativa surgió como un esfuerzo colaborativo entre organizaciones ambientales, científicos, educadores, municipios y ciudadanos comprometidos con la protección del cielo nocturno y la promoción de prácticas sostenibles de iluminación. A través de los años, el programa ha contribuido al desarrollo de conciencia pública sobre cómo el exceso de luz artificial afecta la biodiversidad, la salud humana, el consumo energético y la capacidad de observación astronómica en la isla.

Los componentes principales de este enfoque incluyen:

- *Educación comunitaria*: desarrollo de talleres, campañas educativas, charlas escolares y actividades de divulgación dirigidas a orientar a la ciudadanía sobre el uso responsable de la iluminación exterior. Estas iniciativas fomentan prácticas como el uso de luminarias apantalladas, la reducción de iluminación innecesaria y el ahorro energético.
- *Monitoreo científico del cielo nocturno*: recopilación de datos sobre el brillo del cielo mediante instrumentos especializados y observaciones ciudadanas. Este monitoreo permite identificar áreas críticas de contaminación lumínica y evaluar la efectividad de las medidas implementadas.
- *Inventarios de luminarias*: evaluación y documentación de sistemas de alumbrado público y privado para identificar luminarias ineficientes, mal

dirigidas o con altos niveles de emisión hacia el cielo. Estos inventarios sirven como herramienta de planificación para modernizar la infraestructura lumínica.

- *Colaboración interinstitucional:* integración de agencias gubernamentales, municipios, universidades, organizaciones ambientales y comunidades locales en la formulación de políticas y proyectos relacionados con iluminación sostenible. Este modelo colaborativo ha fortalecido la implementación del marco regulatorio y la adopción de mejores prácticas.

Además, Puerto Rico Brilla Naturalmente ha promovido el concepto de que la iluminación adecuada no significa necesariamente mayor cantidad de luz, sino una iluminación más eficiente, mejor dirigida y adaptada a las necesidades reales de cada espacio. Esta visión ha ayudado a incorporar la contaminación lumínica dentro de las discusiones sobre sostenibilidad, resiliencia energética y conservación ambiental en Puerto Rico.

Otro aspecto importante de esta iniciativa ha sido su contribución al fortalecimiento de la investigación científica y la participación ciudadana. La integración de comunidades en procesos de medición y observación del cielo nocturno ha permitido crear una mayor conexión entre la población y la protección de los recursos naturales y culturales asociados al paisaje nocturno.

La experiencia de Puerto Rico evidencia que la atención efectiva a la contaminación lumínica requiere no solo marcos legales y reglamentarios, sino también procesos continuos de educación pública, innovación tecnológica y compromiso comunitario.

Figura 4. Buenas y malas prácticas de iluminación. Guía educativa diseñada por voluntarios del programa Puerto Rico Brilla Naturalmente de Para la Naturaleza como parte de su campaña educativa 2021.

The image shows a four-quadrant educational guide for light pollution. The top-left quadrant, titled 'La contaminación lumínica representa', lists three types of light pollution: glare (causing eye strain and headaches), light trespass (illuminating areas where it's not needed), and skyglow (causing light to scatter in the atmosphere and obscure stars). It also notes that light pollution is a growing problem in Puerto Rico. The top-right quadrant, titled 'APAGA LA LUZ Enciende la naturaleza', is a campaign logo with the text 'Puerto Rico está contaminado por el resplandor de los edificios nocturnos, la contaminación lumínica. Está en control por función de los edificios que impactan negativamente la escena natural de nuestra noche.' and logos for NASA and Para la Naturaleza. The bottom-left quadrant, titled 'GUÍA SIMPLE PARA LA EVALUACIÓN DE LUMINARIAS DE EXTERIOR', shows a color scale from warm (red) to cool (blue) and icons for different light fixture types: 'Buenas' (shielded, downward-facing) and 'Malas' (unshielded, upward-facing). The bottom-right quadrant, titled 'GUÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA TEMPERATURA DE COLOR DE LAS LUMINARIAS', shows a color scale from warm (red) to cool (blue) and icons for different light fixture types: 'Buenas' (shielded, downward-facing) and 'Malas' (unshielded, upward-facing).

6. CONCLUSIONES

La contaminación lumínica representa uno de los retos ambientales menos visibles, pero con profundas consecuencias sobre la biodiversidad, la salud humana, el consumo energético y la calidad de vida. En Puerto Rico, sus efectos son especialmente significativos debido a la riqueza ecológica del archipiélago y la presencia de ecosistemas nocturnos únicos, como las bahías bioluminiscentes y las áreas naturales protegidas. Sin embargo, la experiencia desarrollada durante las últimas décadas demuestra que este problema puede atenderse de manera efectiva mediante la integración de ciencia, educación, política pública y participación ciudadana.

La iniciativa Puerto Rico Brilla Naturalmente evidencia que pequeñas acciones individuales y colectivas pueden generar grandes cambios. Apagar luces innecesarias, utilizar luminarias eficientes y correctamente dirigidas, reducir el exceso de iluminación y promover tecnologías responsables no solo protege el cielo nocturno, sino que también contribuye a conservar la biodiversidad, disminuir el desperdicio energético y fortalecer nuestra relación con la naturaleza.

Proteger la oscuridad natural es también proteger un patrimonio ecológico, cultural y científico que pertenece a todas las generaciones. Recuperar la posibilidad de observar un cielo estrellado, conservar la bioluminiscencia y permitir que los ecosistemas nocturnos mantengan sus procesos naturales constituye una responsabilidad compartida entre gobiernos, comunidades, empresas y ciudadanía.

Por ello, se hace un llamado a continuar fortaleciendo programas educativos, iniciativas de monitoreo y esfuerzos colaborativos como Puerto Rico Brilla Naturalmente, mediante la participación de voluntarios, educadores, investigadores o ciudadanos comprometidos con prácticas responsables de iluminación. Cada acción cuenta y cada luz bien utilizada representa una oportunidad para construir comunidades más sostenibles, resilientes y en armonía con la naturaleza.

REFERENCIAS

Cajochen, C., Frey, S., Anders, D., Späti, J., Bues, M., Pross, A., Mager, R., Wirz-Justice, A., & Stefani, O. (2011). Evening exposure to a light-emitting diodes (LED)-backlit computer screen affects circadian physiology and cognitive performance. *Journal of Applied Physiology*, 110(5), 1432-1438. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00165.2011>

Detrés, Y., Hernández, W., & Padilla, E. (2021). *Strategies for management and prevention of light pollution in Puerto Rico*. Para la Naturaleza.

Falchi, F., Cinzano, P., Duriscoe, D., Kyba, C. C. M., Elvidge, C. D., Baugh, K., Portnov, B. A., Rybnikova, N. A., & Furgoni, R. (2016). The new world atlas of artificial night sky brightness. *Science Advances*, 2(6), e1600377. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1600377>

Gobierno de Puerto Rico. (2008). *Ley Núm. 218 de 2008: Ley para el control y la prevención de la contaminación lumínica*.

Hybrid Energy PR (2025, October 13). *¿Cuánto estás pagando por la luz?* <https://www.hybridenergypr.com/cuantos-paneles-solares-necesitas-en-puerto-rico/>

International Dark-Sky Association. (2020). *Light pollution and its effects*. <https://www.darksky.org>

Kyba, C. C. M., Kuester, T., Sánchez de Miguel, A., Baugh, K., Jechow, A., Hölker, F., Bennett, M.M., Elvidge, C. D., Gaston, K. J., & Guanter, L. (2017). *Artificially lit surface of Earth at night increasing in radiance and extent*. *Science Advances*, 3(11), e1701528. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1701528>

Para la Naturaleza. (2020). *Apaga la luz, enciende la naturaleza: Guía educativa sobre contaminación lumínica*.

Román, M. O. (2015). *Nighttime lights and urbanization patterns in Puerto Rico*. NASA Goddard Space Flight Center.

Stevens, R. G., Brainard, G. C., Blask, D. E., Lockley, S. W., & Motta, M. E. (2014). Adverse health effects of nighttime lighting: Comments on American Medical Association policy statement. *American Journal of Preventive Medicine*, 45(3), 343–346. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2013.04.011>

World Health Organization. (2020). *WHO guidelines on physical activity and sedentary behaviour*. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240015128>

[1] Para la Naturaleza: Es una organización dedicada a la conservación y protección de los ecosistemas en Puerto Rico, promoviendo una cultura ecológica de colaboración, aprendizaje mutuo y participación activa de las comunidades en el cuidado de la naturaleza. <https://www.paralanaturaleza.org>

CAPÍTULO 7

HIDRONOMÍA: DIAGNÓSTICO DE LA CRISIS AGRÍCOLA POR SEQUÍA EN TAMAULIPAS (2023-2025) Y FUNDAMENTOS DE UN SISTEMA HIDROPÓNICO CON PERTINENCIA CULTURAL EN ESCUELAS DE EDUCACIÓN BÁSICA COMO SOLUCIÓN PROPUESTA¹

Data de submissão: 05/05/2026

Data de aceite: 22/05/2026

Lucio Alberto San Pedro Acevedo

Tecnológico Nacional de México
Campus Ciudad Madero
Departamento de Ingeniería
Química y Bioquímica
Programa de Ingeniería Ambiental
Ciudad Madero, Tamaulipas, México
<https://orcid.org/0009-0000-4059-7380>

Hilario Rafael Martínez Flores

Tecnológico Nacional de México
Campus Ciudad Madero
Departamento de Ingeniería
Química y Bioquímica
Presidente de Academia de
Ingeniería Ambiental
Ciudad Madero, Tamaulipas, México
<https://orcid.org/0009-0004-5965-3521>

Nora Armenia Torres Mariño

Tecnológico Nacional de México
Campus Ciudad Madero
Departamento de Ingeniería
Química y Bioquímica
Jefe de Laboratorio de
Ingeniería Ambiental
Ciudad Madero, Tamaulipas, México
<https://orcid.org/0009-0007-8845-5956>

Valeria Isabel Vargas Olvera

Tecnológico Nacional de México
Campus Ciudad Madero
Departamento de Ciencias
Económico-Administrativas
Programa de Ingeniería en
Gestión Empresarial
Ciudad Madero, Tamaulipas, México
<https://orcid.org/0009-0006-9637-4868>

Emanuel León Estrada

Tecnológico Nacional de México
Campus Ciudad Madero
Departamento de Ingeniería
Química y Bioquímica
Programa de Ingeniería Ambiental
Ciudad Madero, Tamaulipas, México
<https://orcid.org/0009-0006-2173-1146>

¹ Este capítulo es producto del proyecto 'Hidronomía', desarrollado en el marco de la incubadora de proyectos 'Maestros que dejan Huella' de iLab (2024-2025). Una versión preliminar de este trabajo fue presentada en el Encuentro de Jóvenes Investigadores de Tamaulipas 2024 (COTACYT), donde obtuvo reconocimiento como trabajo más destacado en el Área de Economía del Bienestar, así como en el XIV Taller Estudiantil Internacional sobre Medio Ambiente (TEIMA 2024), celebrado en Costa Rica, donde mereció mención especial.

RESUMEN: El estado de Tamaulipas enfrenta una crisis agrícola estructural exacerbada por sequías recurrentes. La presente investigación diagnóstica semicuantitativa describe la evolución de la sequía y su impacto en la

producción agrícola entre 2023 y 2025, tomando como referencia la población de la zona conurbada del sur de Tamaulipas. Se analizaron datos del Monitor de Sequía en México (MSM) e indicadores macroeconómicos que describen la tendencia de la producción del sector primario. Los resultados del Índice de Volumen Físico (IVF) del Indicador Trimestral de la Actividad Económica Estatal (ITAEE) muestra una contracción del 58.4% entre el primer y tercer trimestre del 2025, y el MSM una intensificación de la sequía a niveles extremos durante el periodo 2023-2024. A pesar de una recuperación parcial en el cuarto trimestre del año pasado y la reducción aparente de sequía en la región, la producción anual se mantuvo un 15.5% por debajo del nivel base (2018 = 100). En respuesta, se propone “Hidronomía”, un sistema hidropónico de bajo costo que aprovecha agua de condensación de aires acondicionados y captación pluvial, integrando un componente de educación integral que vincula la sustentabilidad, la nutrición y la culturalización huasteca para contrarrestar la inseguridad alimentaria que amenaza la integridad de las familias en la zona conurbada. Se concluye que la vulnerabilidad del sector primario exige soluciones descentralizadas y resilientes que aprovechen recursos hídricos no considerado para la creación de nodos de producción agrícola que fomenten la participación integral de las comunidades escolares, sentando las bases para futuras investigaciones que validen el impacto de Hidronomía mediante un proyecto piloto en escuelas de educación básica.

PALABRAS CLAVE: hidroponía; sequía; inseguridad alimentaria; Tamaulipas; innovación social solidaria.

HIDRONOMÍA: DIAGNOSIS OF THE AGRICULTURAL CRISIS DUE TO DROUGHT IN TAMAULIPAS (2023-2025) AND FUNDAMENTALS OF A CULTURALLY RELEVANT HYDROPONIC SYSTEM IN ELEMENTARY EDUCATION SCHOOLS AS A PROPOSED SOLUTION

ABSTRACT: The state of Tamaulipas faces a structural and agricultural crisis exacerbated by recurring droughts. This semi-quantitative diagnostic research describes the evolution of droughts and its impact on agricultural production between 2023 and 2025, focusing on the population living in the southernmost region of Tamaulipas as a reference. Data obtained from Mexico’s Drought Monitor and macroeconomic indicators describing production trends in the primary sector were analyzed. Results from the Physical Volume Index of the Quarterly Indicator of State Economic Activity (ITAEE for its Spanish acronym) show a contraction of 58.4% between the first and third quarters of 2025, while the Monitor reveals an intensification of drought to extreme levels during 2023 and 2024. Despite a partial recovery in last year’s fourth quarter and an apparent reduction in drought conditions in the region, annual production remained 15.5% below the baseline (2018 = 100). In response to this, the present study proposes “Hidronomía”, a low-cost hydroponic system that harnesses rain and condensation water from air conditioning units, integrating a comprehensive educational component that links sustainability, nutrition and Huastec civilization culture to create awareness and counter food scarcity that threaten the well-being of families within the region. It’s concluded that the vulnerability shown by the ITAEE concerning the primary sector calls for decentralized and resilient solutions that leverage overlooked water resources to create agricultural production nodes; fostering active participation of school communities and laying the groundwork for future

research that could validate possible positive impacts of hydroponic systems arranged within elementary schools throughout Tamaulipas.

KEYWORDS: hydroponics; drought; food insecurity; Tamaulipas; social solidarity innovation.

1. INTRODUCCIÓN

El cambio climático y su relación con la inseguridad alimentaria constituye uno de los desafíos más persistentes del siglo XXI. Se han intensificado en las últimas décadas diversos fenómenos hidrometeorológicos, como las sequías, que afectan la disponibilidad de agua para consumo humano y producción de bienes del sector primario. Afectan directamente la agricultura, limitando la calidad del suelo y ocasionando estrés hídrico en países y regiones donde ésta sigue siendo la base de la producción de alimentos.

Bajo este contexto, seguridad alimentaria se entiende por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura como el acceso regular a alimentos suficientes, inocuos y nutritivos para llevar una vida activa y saludable (FAO, 2011); y se han documentado incrementos sostenidos en los niveles de inseguridad alimentaria globalmente con énfasis en América Latina y el Caribe, donde se contribuye con 6% de las pérdidas de alimentos en el mundo (Pérez Vazquez et al., 2018).

Esta dinámica global es contextualizable a contornos críticos en México. Según el Monitor de Sequía de México (MSM) de la Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), en los últimos años se han experimentado en grandes extensiones del país condiciones de sequía que van de moderadas a excepcionales (Lobato-Sánchez, 2016). El sector agrícola mexicano ha sufrido pérdidas recurrentes en su producción por esto, afectando la disponibilidad y el precio de alimentos básicos como el maíz, frijol, tomate y chile (SADER, 2025).

El estado de Tamaulipas, ubicado al noreste de México, paradójicamente cuenta con infraestructura estratégica para el comercio exterior, y un notable desarrollo industrial –particularmente en el sector maquilador (INEGI, 2023)–; pero su población enfrenta escasez de agua. El MSM, al 31 de mayo de 2024, describe que 42 de sus 43 municipios presentaban algún grado de sequía con temperaturas que superaban los 45°C. En diversas colonias de la zona conurbada del sur de Tamaulipas –integrada por Altamira, Tampico y Cd. Madero– hubo desabasto de agua por semanas, ocasionando una de las peores crisis hídricas de los últimos 80 años (Rangole, 2025).

Aunque esta región favorece el uso de aires acondicionados durante casi todo el año por la constante sensación térmica elevada y la alta humedad, existe concurrencia de crisis hídricas que amedrentan el bienestar poblacional. La precipitación media anual

es de 1,137.1 mm, con temporadas de lluvias concentradas entre junio y octubre (Servicio Meteorológico Nacional, 2016), e históricamente, tiene una de las humedades relativas más altas de México frecuentemente superando el 70-80% debido a su ubicación costera y vasto sistema lagunario que le rodea (Capel Molina, s.f.).

No obstante, en los últimos años, la conducta pluvial está marcada por lluvias torrenciales atípicas (tormenta “Alberto”) ocasionando incapacidad de absorber eficientemente el recurso, exacerbando ciclos de sequía severa, y provocando inundaciones repentinas que saturan el suelo y desperdician el agua, en lugar de generar una recarga hídrica estable (Acosta, 2025).

Si bien la magnitud e impacto en el sector productivo pueden cuantificarse mediante análisis de fuentes oficiales, paradójicamente la economía de Tamaulipas mostró una relativa estabilidad durante los años 2023 al 2025 a pesar de las contingencias hídricas. El Índice de Volumen Físico (IVF) –el cual es un indicador económico que mide la evolución real de la producción (agropecuaria o manufacturera) a precios constantes y eliminando el efecto de la inflación (SADER, 2025)– se mantuvo en torno a 107 puntos (base 2018=100).

Sin embargo, el sector primario, particularmente la agricultura, sufrió un colapso sin precedentes los primeros tres trimestres del 2025. Según datos del INEGI (s.f.), el Indicador Trimestral de la Actividad Económica Estatal (ITAE) mostró una contracción en la producción del sector primario en Tamaulipas. La agricultura sufrió una caída aún más severa en el mismo periodo, y aunque para el cuarto trimestre se mostró una recuperación parcial, los promedios anuales del sector primario y de la agricultura se mantuvieron por debajo del nivel base.

La producción anual no logró recuperar los niveles previos a la crisis, mostrando un comportamiento similar al del 2024 pero con una volatilidad extrema interanual. Esta crisis productiva puede asociarse directamente con la sequía extrema que ha sufrido Tamaulipas en los últimos 6 años, ya que el MSM muestra una intensificación progresiva de sequía desde el 2020 alcanzando su punto crítico (D3 en la escala de intensidad del MSM) entre febrero y junio de 2024.

Ante este diagnóstico, emerge la necesidad de soluciones descentralizadas, resilientes y culturalmente pertinentes. Independientemente de cómo se produzcan los alimentos, se tendrá que producir más por unidad de tierra, agua, energía, y agroquímicos, buscando reducir el impacto ambiental durante la producción. En respuesta, se propone la implementación de sistemas hidropónicos de bajo costo, diseñados específicamente para escuelas de educación básica que incorporen un modelo educativo integral que vincule la culturalización huasteca, la sustentabilidad y la nutrición.

El sistema busca aprovechar dos fuentes gratuitas de agua: la condensación generada por aires acondicionados y la captación pluvial (como fuente secundaria), con el fin de crear nodos de producción agrícola para las comunidades escolares en la zona conurbada. El capítulo tiene entonces por objeto exponer la correlación entre la intensificación de la sequía y el desplome de la producción del sector primario en Tamaulipas. Asimismo, busca dejar explícitamente planteada la necesidad de futuras investigaciones para validar empíricamente el impacto que un proyecto piloto (HIDRONOMÍA) tendría al implementarse en escuelas de educación básica, midiendo indicadores de producción de alimentos, ahorro de agua, mejora en conocimientos de alumnos y apropiación comunitaria.

2. METODOLOGÍA

La presente investigación adopta un enfoque semi-cuantitativo de tipo diagnóstico-propositivo. El componente cuantitativo busca medir y describir la evolución de la sequía y su impacto en la producción agrícola en Tamaulipas mediante análisis de fuente oficiales (INEGI, CONAGUA). El componente cualitativo, por su parte, complementa el análisis al recabar información sobre la percepción de inseguridad alimentaria por medio de una encuesta digital y una entrevista semiestructurada, presencial, grabada con consentimiento y transcrita textualmente para fundamentar el diseño pedagógico-cultural de la solución.

El universo de estudio se circunscribe a la zona conurbada del sur de Tamaulipas –municipios de Altamira, Tampico y Ciudad Madero–, pero se realiza el análisis de datos macroeconómicos a nivel estatal por la disponibilidad de la información. El estudio se clasifica como exploratorio- aplicado en su fase cualitativa al explorar percepción, usos y costumbres para derivar en soluciones tecnológicas con pertinencia cultural, mientras que en su fase cuantitativa puede clasificarse como descriptivo-correlacional al describir tendencias y asociarlas temporalmente a dos fenómenos: la sequía y la caída productiva.

2.1. DIAGNÓSTICO CUANTITATIVO DE LA CRISIS AGRÍCOLA

El MSM proporciona quincenalmente información sobre las condiciones de sequía en cada municipio del país. De este monitor se extrajeron los niveles de intensidad de sequía para los municipios de la zona conurbada durante el periodo 2023-2026, utilizando la escala oficial que clasifica la sequía en categorías que van desde D0 (anormalmente seco) hasta D4 (sequía excepcional). Se obtuvo el *Excel*® del MSM que contiene los municipios afectados por alguna condición de sequía, se aislaron las

celdas que representan al estado de Tamaulipas y se asignaron valores numéricos estandarizados a cada celda para una mejor gestión de datos.

El MSM (CONAGUA, 2026) permitió observar el panorama completo de los 43 municipios del estado de Tamaulipas y se diseñaron las Gráficas 1 y 2 presentadas en la sección de resultados de esta investigación. La escala oficial de clasificación de sequía que maneja CONAGUA se estandarizó de la siguiente manera: 0 = sin sequedad, 1 = D0 (anormalmente seco), 2 = D1 (moderado), 3 = D2 (severo), 4 = D3 (extremo), 5 = D4 (excepcional); permitiendo construir los gráficos y mostrando la tendencia de sequía a nivel estatal.

Por otra parte, del ITAEE se extrajeron los IVF (base 2018=100) y las Variaciones Porcentuales Anuales (VPA) de las Actividades Primarias Totales y del subsector “Agricultura, cría y explotación de animales” en el estado de Tamaulipas correspondientes a los trimestres de los años 2023, 2024 y 2025. Se realizó una desagregación de los indicadores del subsector para diferenciar entre actividades agrícolas y pecuarias. Se definió la participación porcentual de la agricultura en el subsector en 67.5%, mientras que la ganadería representa el 32.5% restante, proporciones derivadas de la composición del Valor Agregado Bruto (VAB) estatal reportado en las Cuentas Nacionales (INEGI, 2016).

Se estableció un supuesto empírico fundamental a partir de análisis históricos del INEGI para periodos de sequía previos (2011-2012, 2017-2018) que describen menor volatilidad de la ganadería en comparación con la agricultura frente a eventos de sequía (INEGI, 2023). Se estimó el IVF como el 85% del IVF del subsector en periodos de crisis, y su VPA se aproximó aplicando factores de corrección de +4.0 puntos porcentuales cuando la VPA del subsector era negativa (la ganadería cae menos que la agricultura) y de -5.0 puntos cuando era positiva (la ganadería se recupera con menor intensidad).

La participación de la agricultura en el valor agregado del sector primario de Tamaulipas se ha estimado en aproximadamente dos tercios del total, consistente con las estructuras de producción regional reportadas en la literatura especializada (Langle-Flores, 2024) y una vez estimadas las series de ganadería, se despejaron los valores correspondientes a la agricultura (Ecuación 2) mediante la ecuación de promedio ponderado (Ecuación 1). Se es consciente que esta aproximación introduce un margen de error mínimo, pero no afecta las conclusiones principales del estudio dadas las magnitudes de las caídas documentadas (superiores al 60% en el IVF agrícola).

Ecuación 1. Ecuación de promedio ponderado.

$$IVF_Subsector = (0.675 \times IVF_Agricultura) + (0.325 \times IVF_Ganadería)$$

Ecuación 2. Ecuación de promedio ponderado para IVF de Agricultura.

$$IVF_{Agricultura} = (IVF_{Subsector} - 0.325 \times IVF_{Ganadería}) / 0.675$$

2.2. PERCEPCIÓN DE INSEGURIDAD ALIMENTARIA E INSERCIÓN CULTURAL

La encuesta se elaboró en *Google Forms*[®] y se distribuyó durante septiembre de 2024 cuando más vulnerable se encontraba la zona conurbada por la contingencia hídrica a adultos padres de familia con hijos entre 6 y 15 años. El tamaño de la muestra se calculó con base en la población total de estudiantes de nivel primaria y secundaria en los municipios de Altamira, Tampico y Madero, que ascendía a 105,044 individuos según el Anuario de Estadística Educativa del Estado de Tamaulipas correspondiente al ciclo escolar 2022-2023. Se estableció un nivel de confianza del 95% y un margen de error del 5%, arrojando un tamaño muestral mínimo de 384 encuestas.

Se estructuró en dos bloques. El primero recabó datos demográficos, incluyendo municipio y colonia de residencia, y el segundo abordó dimensiones de la inseguridad alimentaria con base en la Escala de Experiencia de Inseguridad Alimentaria (FIES) de la FAO (2014). Las preguntas incluyeron: frecuencia de sensación de hambre (escala 1 al 5), incertidumbre sobre capacidad de obtener alimentos (cualitativa), omisión de comidas por falta de recursos (sí/no), frecuencia de omisión de comidas (escala del 1 al 5), y factores percibidos como limitantes (opción múltiple más respuesta abierta).

La dimensión cultural del proyecto se fundamentó con la entrevista realizada el 6 de octubre de 2024 a Jorge de la Peña (alias “el Cuentacuentos”) quien fue seleccionado por su trayectoria en la promoción de usos y costumbres de la región huasteca, así como por su conocimiento directo de las tradiciones agrícolas vinculadas a la milpa, el maíz y las celebraciones de siembra y cosecha. La entrevista tuvo duración de aproximadamente 45 minutos, se condujo en las instalaciones del Vivero Didáctico Municipal de Tampico, donde trabaja, y se documentaron las especies cultivadas exitosamente en sistemas sin suelo.

El análisis de la entrevista permitió identificar las categorías recurrentes que posteriormente alimentaron el diseño pedagógico-cultural de la solución, y las observaciones documentadas presentes en el vivero permitieron validar la viabilidad técnica de la hidroponía en el contexto local.

3. RESULTADOS

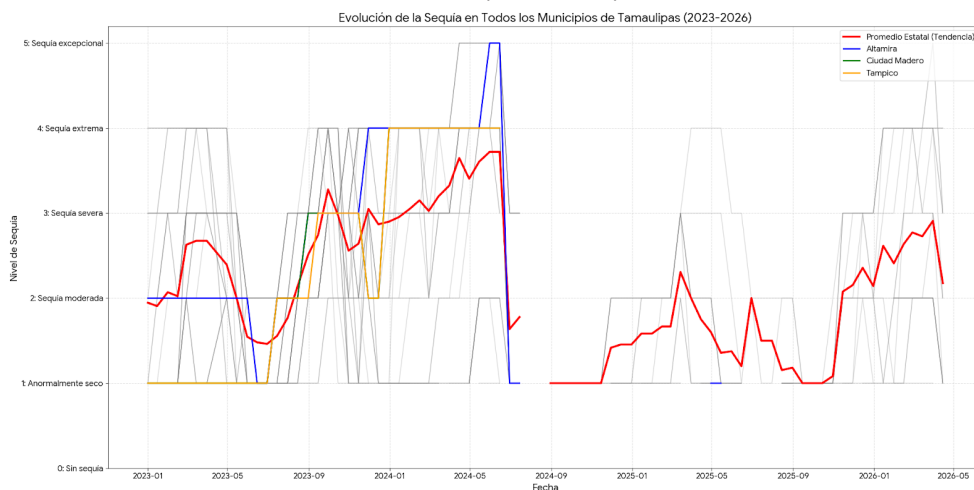
Los resultados se presentan a continuación en tres bloques complementarios. El primero describe la evolución de la sequía en la zona de estudio según el MSM. El segundo

presenta las tendencias del IVF y la VPA del sector primario en perspectiva con el sector agrícola en Tamaulipas. El tercero expone los hallazgos de la encuesta de percepción de inseguridad alimentaria aplicada a la población objetivo y justifica la implementación de sistemas hidropónicos a partir de las especies documentadas por la entrevista.

3.1. EVOLUCIÓN DE LA SEQUÍA EN LA ZONA SUR DE TAMAULIPAS (2023-2026)

Se generó la siguiente gráfica de líneas para resaltar la tendencia promedio estatal junto con los tres municipios de la zona conurbada que son objeto de estudio.

Gráfica 1. Evolución de la sequía en Tamaulipas 2023-2026.

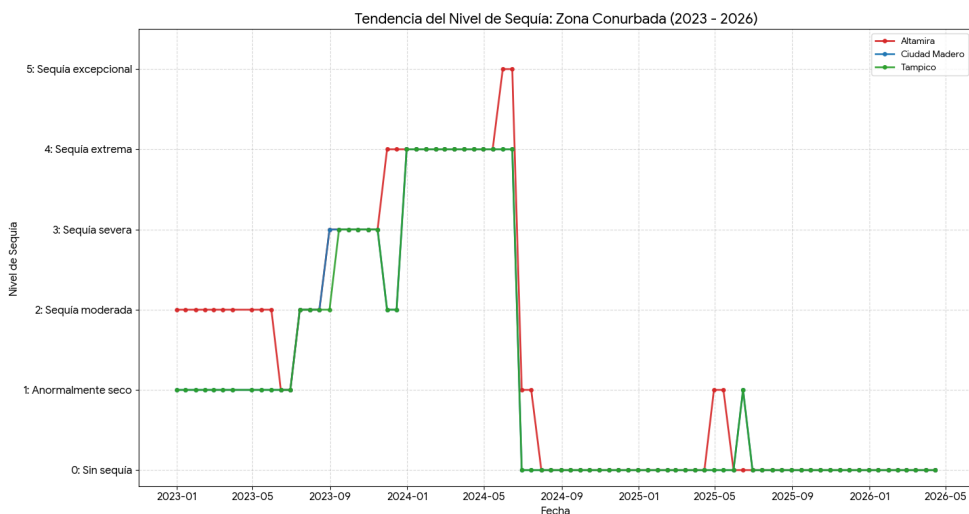


Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA.

Se puede observar que la mayoría de los municipios (líneas grises) siguen una trayectoria similar a la zona conurbada (líneas azul, verde y amarillo), con un punto crítico de sequía severa y extrema durante la primera mitad de 2024. La línea de tendencia (línea roja) muestra que, a nivel estatal, la crisis alcanzó su punto máximo entre abril y junio de 2024, superando el nivel D3 (sequía extrema) de manera generalizada antes de la recuperación masiva en julio del mismo año.

A diferencia de la zona conurbada (Altamira, Madero, Tampico), que se ha mantenido mayormente estable en niveles bajos después de la crisis, el promedio estatal muestra un repunte gradual hacia 2026, lo que indica que otras regiones del estado podrían estar experimentando nuevos ciclos de escasez. No obstante, hay algunas líneas grises que muestran municipios alcanzando la sequía excepcional (D4) incluso antes que Altamira, reflejando una vulnerabilidad geográfica distinta dentro del mismo estado (Gráfica 2).

Gráfica 2. Nivel de sequía en la zona conurbada 2023-2026.



Fuente: Elaboración propia con datos de CONAGUA.

Los registros indican que los tres municipios alcanzaron niveles altos de sequía en varios periodos del 2023, y que la crisis hídrica se desarrolló progresivamente. Su evolución es prácticamente idéntica y sincrónica en los tres municipios de la zona sur, y un patrón de afectación compartida, en perspectiva con la tendencia que se visualiza en la Gráfica 1. Ambas gráficas demuestran que es un problema regional, no localizado, y con necesidad de soluciones resilientes e independientes de las redes de suministro.

3.2. TENDENCIAS DEL IVF Y VPA DEL SECTOR AGRÍCOLA

El análisis del ITAEE del INEGI permitió cuantificar el impacto de la sequía en la producción agrícola. La Tabla 1 presenta los valores del IVF y la VPA para el subsector objetivo en Tamaulipas, así como la estimación desagregada para la actividad agrícola (siembra y cosecha).

Tabla 1. IVF y VPA del sector agrícola en Tamaulipas 2023-2025.

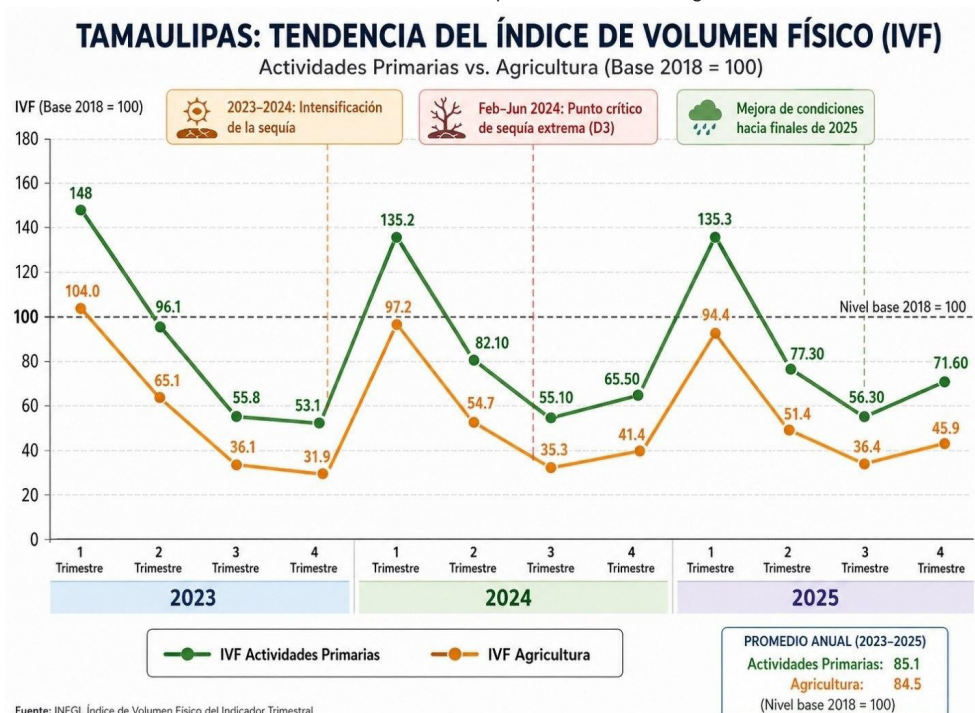
Período	IVF Subsector (Dato Real)	IVF Agricultura (Estimado 67.5%)	VPA Subsector (Dato Real)	VPA Agricultura (Estimada)
2023 T1	154.0	104.0	-6.0	-7.9
2023 T2	96.4	65.1	-4.7	-6.6
2023 T3	53.5	36.1	-28.0	-29.9
2023 T4	47.3	31.9	-23.9	-25.8
2024 T1	144.0	97.2	-9.1	-11.0
2024 T2	81.1	54.7	-15.9	-17.8
2024 T3	52.3	35.3	-2.3	-4.2
2024 T4	61.4	41.4	29.8	32.2
2025 T1	139.9	94.4	-0.1	-2.0
2025 T2	76.2	51.4	-6.1	-8.0
2025 T3	53.9	36.4	3.0	1.1
2025 T4	68.0	45.9	10.7	13.1
Promedio 2023	87.8	59.3	-15.7	-17.6
Promedio 2024	84.7	57.2	0.6	-0.2
Promedio 2025	84.5	57.0	1.9	1.1

Fuente: Elaboración propia con datos del ITAEE (INEGI).

Los resultados muestran un patrón estacional consistente en los tres años analizados tal como se muestra en la Gráfica 3: un pico de producción en el primer trimestre (asociado a cultivos de ciclo primavera-verano), seguido de un desplome en el segundo trimestre, una caída adicional en el tercero, y una recuperación parcial en el cuarto. Entre el primer y tercer trimestre de 2025, el IVF del subsector se contrajo un 58.4%, pasando de 139.9 a 53.9 puntos; la agricultura estimada sufrió una caída aún más severa del 61.5%, de 94.4 a 36.4 puntos.

A pesar de la recuperación observada en el cuarto trimestre de 2025 (IVF agricultura de 45.9, un 26.1% superior al tercer trimestre), los promedios anuales se mantuvieron significativamente por debajo del nivel base. El promedio anual de IVF agricultura fue de 59.3 en 2023, 57.2 en 2024 y 57.0 en 2025, lo que representa una producción agregada entre un 40% y un 43% inferior al año base. La Gráfica 3 muestra visualmente estas tendencias comparado de las actividades primarias totales vs. el sector agrícola.

Gráfica 3. Tendencia IVF en Tamps: Act. Primarias vs. Agricultura.



Fuente: Elaboración propia con datos del ITAEE (INEGI).

La VPA, por otro lado, muestra la tendencia interanual. La agricultura registró caídas extremas en el tercer trimestre de 2023 (-29.9%) y en el segundo trimestre de 2024 (-17.8%). El cuarto trimestre de 2024 mostró una recuperación excepcional (+32.2%), mientras que el cuarto trimestre de 2025 también fue positivo (+13.1%). Sin embargo, los promedios anuales de VPA para la agricultura fueron negativos en 2023 (-17.6%), prácticamente nulos en 2024 (-0.2%), y ligeramente positivos en 2025 (+1.1%), lo que indica que, en términos agregados, la producción agrícola no ha logrado recuperar los niveles previos a la crisis. En la Gráfica 4 se visualiza este comportamiento.

Gráfica 4. Tendencia VPA en Tamps: Act. Primarias vs. Agricultura.

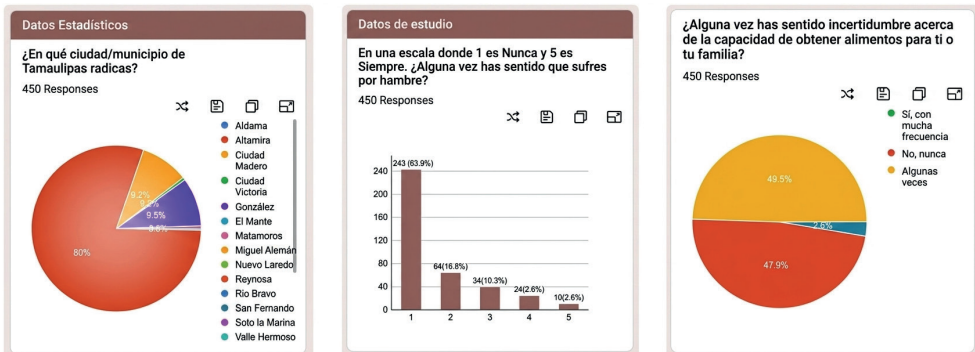


Fuente: Elaboración propia con datos del ITAEE (INEGI).

3.3. PERCEPCIÓN DE INSEGURIDAD ALIMENTARIA Y PÉRDIDA DE CULTURALIDAD

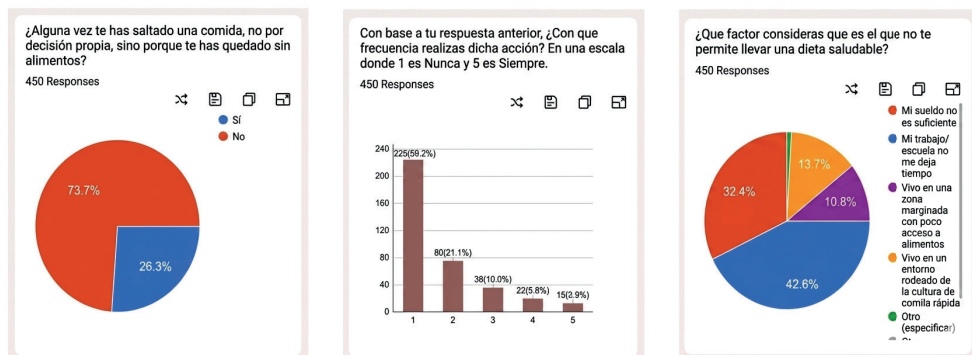
Se buscó realizar la encuesta a 384 personas de la zona conurbada y se obtuvieron 450 respuestas validadas, superando el mínimo requerido. La figura 1 y 2 exponen los principales hallazgos.

Figura 1. Resultados de la encuesta de percepción de inseguridad alimentaria.



Fuente: Encuesta propia, 2024. n=450.

Figura 2. Resultados de la encuesta de percepción de inseguridad alimentaria.



Fuente: Encuesta propia, 2024. n=450.

Los resultados muestran que la mayoría de los encuestados (63.9%) nunca ha sentido hambre; un porcentaje, no obstante, no despreciable (8.9%) reportó hacerlo con frecuencia (valores 4 y 5). Más relevante aún, el 52.1% de los encuestados manifestó haber sentido incertidumbre sobre su capacidad para obtener alimentos (49.5% “algunas veces” y 2.6% “con mucha frecuencia”), y el 26.3% afirmó haberse saltado alguna comida por falta de los mismos. De estos, el 21.1% reportó que esta omisión ocurre con alguna frecuencia (valores 2 a 5 en la escala), y en cuanto a factores limitantes para dieta saludable, el 42.6% señaló que su sueldo no es suficiente, seguido por la falta de tiempo (32.4%) y el entorno de comida rápida (13.7%).

Con base en la Escala FIES de la FAO que se muestra en la Figura 3, la combinación de incertidumbre sobre el acceso a alimentos (52.1%) y omisión de comidas por falta de recursos (26.3%) ubica a una proporción significativa de la población encuestada en un nivel de inseguridad alimentaria moderada, caracterizado por incertidumbre sobre la capacidad para obtener alimentos y compromisos en la calidad o cantidad de la dieta.

Figura 3. Escala de Experiencia de Inseguridad Alimentaria (FIES).



Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO).

Asimismo, la entrevista con Jorge de la Peña permitió identificar tres categorías centrales en torno a la relación entre cultura alimentaria y sistemas de cultivo. En primer lugar, el informante describió prácticas tradicionales heredadas de sus abuelas y madre, como la siembra de tomatillo de monte, el aprovechamiento de semillas de frutos maduros y la elaboración de condimentos caseros a partir de cultivos de traspatio. Estas prácticas garantizaban, según relató, alimentos nutritivos y de bajo costo, y fortalecían la autonomía familiar frente a productos industrializados.

En segundo lugar, De la Peña señaló la pérdida progresiva de estas tradiciones, atribuyéndola a la industrialización, vergüenza de los orígenes, y la comercialización estilizada de elementos culturales (como ocurre con la película *Coco* de Disney®). Destacó que celebraciones como el Día del Maíz (29 de septiembre) y el Xantolo se han debilitado, y con ellas, las danzas de siembra y cosecha que acompañaban el ciclo agrícola. Finalmente, en tercer lugar, el entrevistado vislumbró en la hidroponía una oportunidad para recuperar estos saberes en contextos urbanos donde la tierra es limitada, al permitir que las familias cultiven sus propios alimentos y, con ello, tengan motivos para recrear cantos, danzas y rituales.

4. CONCLUSIONES

El presente capítulo tuvo como objetivo presentar un diagnóstico de la actividad agrícola en Tamaulipas, la influencia que ha tenido la sequía en los pasados tres años, y el fundamento técnico-pedagógico de instalar sistemas hidropónicos que capten agua de fuentes alternas para solucionar problemas presentes en la zona conurbada y en Tamaulipas.

Los hallazgos obtenidos muestran que la sequía no fue un evento aislado en el 2024, sino una condición de estrés hídrico crónico y recurrente que se extendió a lo largo de todo el periodo 2023-2025. El análisis histórico del MSM reveló la presencia de niveles de sequía excepcional (D4) ya en 2023, así como la persistencia de condiciones severas y extremas. Contrario a la narrativa de una “mejora significativa” hacia 2026, los datos muestran que los períodos sin sequía o con condiciones anormalmente secas (D0) son breves y excepcionales dentro de un ciclo de afectación recurrente.

Por otra parte, el sector agrícola de Tamaulipas mostró una vulnerabilidad estructural extrema ante la variabilidad climática. La estabilidad de los promedios anuales, a pesar de la volatilidad trimestral, indica que el sector agrícola ha encontrado un nuevo equilibrio a un nivel de producción significativamente reducido, lo que se traduce en una menor disponibilidad de alimentos de origen local.

Finalmente, la percepción de inseguridad alimentaria es consistente con los datos macroeconómicos. Estos resultados ubican a una porción significativa de la población de la zona conurbada del sur de Tamaulipas en un nivel de inseguridad alimentaria moderada, caracterizada por la incertidumbre sobre el acceso a alimentos y compromisos en la calidad o cantidad de la dieta.

La pérdida de tradiciones alimentarias es paralela a la crisis productiva. Aunque el informante señaló que la industrialización juega un papel relevante en la forma en cómo nos alimentamos en la actualidad, dejó entrever que la hidroponía sería una oportunidad ante las limitaciones del contexto urbano. Con estas bases diagnósticas, la implementación de “Hidronomía” requiere futuras investigaciones que validen empíricamente su impacto al construir un prototipo piloto en al menos una escuela y monitorear indicadores clave como producción de alimentos, ahorro de agua, calidad del agua, mejora en conocimientos de alumnos, y nivel de apropiación por parte de la comunidad.

La convergencia de sequías recurrentes, colapso de la producción agrícola y percepción generalizada de inseguridad alimentaria en la zona sur de Tamaulipas evidencia la urgente necesidad de repensar los sistemas de producción de alimentos. Hidronomía no es una panacea, pero constituye una respuesta plausible, fundamentada y culturalmente situada que merece ser probada, validada, demostrada, y escalada como política pública. El presente capítulo ha cumplido con su objetivo de diagnosticar la crisis y presentar la solución; el siguiente paso – la implementación del piloto – será el verdadero campo de prueba de su viabilidad y su impacto.

REFERENCIAS

Acosta, P. (2025, octubre 11). Zona sur de Tamaulipas al borde del desborde en caso de más lluvias. Expreso de Tamaulipas. <https://expreso.press/2025/10/11/zona-sur-de-tamaulipas-al-borde-del-desborde-en-caso-de-mas-lluvias/>

Capel Molina, J. J. (s.f.). *La humedad relativa en los Estados Unidos Mexicanos*. (pp.175–190).<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/1381146.pdf>

CONAGUA. (2024). Monitor de Sequía de México al 31 de mayo de 2024.<https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Climatolog%C3%ADa/Sequ%C3%ADa/Monitor%20de%20sequ%C3%ADa%20en%20M%C3%A9xico/Seguimiento%20de%20Sequ%C3%ADa/MSM20240531.pdf>

CONAGUA. (2026). Monitor de Sequía de México al 15 de abril de 2026. <https://smn.conagua.gob.mx/tools/DATA/Climatolog%C3%ADa/Sequ%C3%ADa/Monitor%20de%20sequ%C3%ADa%20en%20M%C3%A9xico/Seguimiento%20de%20Sequ%C3%ADa/MSM20260415.pdf>

FAO. (2011). Una introducción a los conceptos básicos de la seguridad alimentaria. <https://www.fao.org/4/al936s/al936s00.pdf>

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola (FIDA) y Programa Mundial de Alimentos (PMA) 2014. El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo 2014: fortalecimiento de un entorno favorable para la seguridad alimentaria y la nutrición. Roma, FAO . 62 p. <http://www.fao.org/3/a-i4030s.pdf>.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2016). Actividades económicas. Tamaulipas. Cuéntame de México. Recuperado de <https://cuentame.inegi.org.mx/monografias/informacion/tam/economia/>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2023). Indicador Trimestral de la Actividad Económica Estatal (ITAEE). Año base 2018. Recuperado de <https://www.inegi.org.mx/programas/itaee/2018/>

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2023). Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte, México SIAN 2023. https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/889463909675.pdf

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (s. f.). Indicador trimestral de la actividad económica estatal (ITAEE). <https://www.inegi.org.mx/temas/itaee/>

Langle-Flores, M. A. (2024). La economía tamaulipeca mediante un modelo regional de contabilidad social 2018. Estudios Sociales. Revista de Alimentación Contemporánea y Desarrollo Regional, 34(63). <https://doi.org/10.24836/es.v34i63.1442>

Lobato-Sánchez, R. (2016). El monitor de la sequía en México. Tecnología y ciencias del agua, 7(5), 197-211. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222016000500197

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (s. f.). Acerca de la escala de experiencia de inseguridad alimentaria (FIES). [https://www.fao.org/measuring-hunger/access-to-food/about-the-food-insecurity-experience-scale-\(fies\)/es](https://www.fao.org/measuring-hunger/access-to-food/about-the-food-insecurity-experience-scale-(fies)/es)

Pérez Vázquez, A., Leyva Trinidad, D. A., & Gómez Merino, F. C. (2018). Desafíos y propuestas para lograr la seguridad alimentaria hacia el año 2050. Revista mexicana de ciencias agrícolas, 9(1), 175-189. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i1.857>

Rangole, I. (2025, mayo 9). Crisis hídrica en Tamaulipas 2024: una historia de sequía extrema y tormenta tropical. El Sol de Tampico | Noticias Locales, Policiacas, sobre México, Tamaulipas y el Mundo. <https://oem.com.mx/elsoldetampico/ciencia-y-salud/crisis-hidrica-en-tamaulipas-2024-una-historia-de-sequia-extrema-y-tormenta-tropical-23198158>

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2025). Índice de volumen físico agropecuario: agosto 2025. <https://nube.agricultura.gob.mx/IVF/agosto2025.php>

Secretaría de Educación de Tamaulipas. (2023). Anuario estadístico de la educación 2023. https://www.tamaulipas.gob.mx/educacion/wp-content/uploads/sites/3/2023/06/anuario-estadistica-educativa_2023.pdf

Servicio Meteorológico Nacional. (2016). *Normales Climatológicas 1951-2010: Estación 00028111 (Tampico, Tamaulipas)*. Recuperado el 4 de mayo de 2026, de <https://web.archive.org/web/20160303212344/http://smn.cna.gob.mx/climatologia/Normales5110/NORMAL28111.TXT>

CAPÍTULO 8

ABUNDÂNCIA DE PEIXES TELEÓSTEOS EM UM MANGUEZAL DA RAPOSA, ILHA DE SÃO LUÍS, MARANHÃO, BRASIL

Data de submissão: 11/05/2026

Data de aceite: 26/06/2026

Maria do Socorro Saraiva Pinheiro

Universidade Federal do Maranhão (UFMA)
Brasil

<http://lattes.cnpq.br/1100319102837718>

<https://orcid.org/0000-0003-4931-9023>

RESUMO: O principal objetivo deste estudo foi analisar a estrutura da associação de peixes teleósteos em um manguezal através da abundância e distribuição de frequência por classe de comprimento. A amostragem foi mensal, durante o período de agosto de 1999 a novembro de 2000. Foram coletados 10824 exemplares de peixes, representando 63 espécies pertencentes a 27 famílias. *Mugil curema* foi a espécie mais abundante em número e peso. Mugilidae foi a família mais abundante em número e peso, e Sciaenidae teve o maior número de espécies. A distribuição de frequência de comprimento dos exemplares capturados variou entre 42 a 955 mm. Todavia a maioria dos exemplares coletados foi constituída por indivíduos de pequeno porte, cerca de 98,50% mediram menos de 300 mm de comprimento total.

PALAVRAS-CHAVE: abundância; ictiofauna subequatorial; Mugilidae.

ABUNDANCE OF TELEOST FISH IN A MANGROVE IN RAPOSA, SÃO LUÍS ISLAND, MARANHÃO, BRAZIL

ABSTRACT: The main objective of this study was to analyze the assemblage structure of teleost fish in a mangrove forest through abundance and frequency distribution by length class. Sampling was conducted monthly from August 1999 to November 2000. A total of 10,824 fish specimens were collected, representing 63 species belonging to 27 families. *Mugil curema* was the most abundant species in terms of both number and weight. Mugilidae was the most abundant family in terms of both number and weight, and Sciaenidae had the largest number of species. The frequency distribution of length of the captured specimens ranged from 42 to 955 mm. However, the majority of the collected specimens were small individuals, with approximately 98.50% measuring less than 300 mm in total length.

KEYWORDS: abundance; subequatorial ichthyofauna; Mugilidae.

1. INTRODUÇÃO

Apesar da destruição dos manguezais desde a época colonial, o Brasil ainda

apresenta a maior faixa contínua desse habitat no mundo, totalizando 6.516 km² (Makowski; Finkl, 2018), o que reforça a necessidade de sua conservação. Embora atualmente no Brasil os manguezais são protegidos pelo Código Florestal, reconhecidos como Áreas de Preservação Permanente (APP) (Brasil, 2012).

Para Vannucci (2001) mangues são ecossistemas marginais bem definidos no espaço, com fronteiras marcadas pelos níveis de marés, porque as espécies de animais e plantas que os integram são todos sobreviventes de limites de tolerância a condições ambientais extremas e diferentemente de outros ecossistemas marginais, ele é um ecossistema altamente dinâmico e muito produtivo. Segundo Lowe-McConnell (1999) a cadeia alimentar no mangue está baseada principalmente em detritos de matérias orgânicas trazidos através dos rios.

Lowe-McConnell (1999) considera que somente espécies muito eurialinas podem viver nos pântanos de mangue, entre elas incluiu: ciprinodontiformes, poecilídeos, *Oryzias*, algumas tilápias. Os residentes verdadeiros incluiriam peixes tipicamente intertidais, basicamente detritívoros ou predadores de presas aéreas, além de peixes de lagunas abertas que completam seu ciclo de vida nas lagunas ou próximas a elas. Deveriam ser incluídos bagres ariídeos, uma associação de centropomídeo-gerreídeo na América Tropical, *Centropomus* e espécies de *Diapterus*, baiacus, além de outras espécies de tainhas e cienídeos predadores.

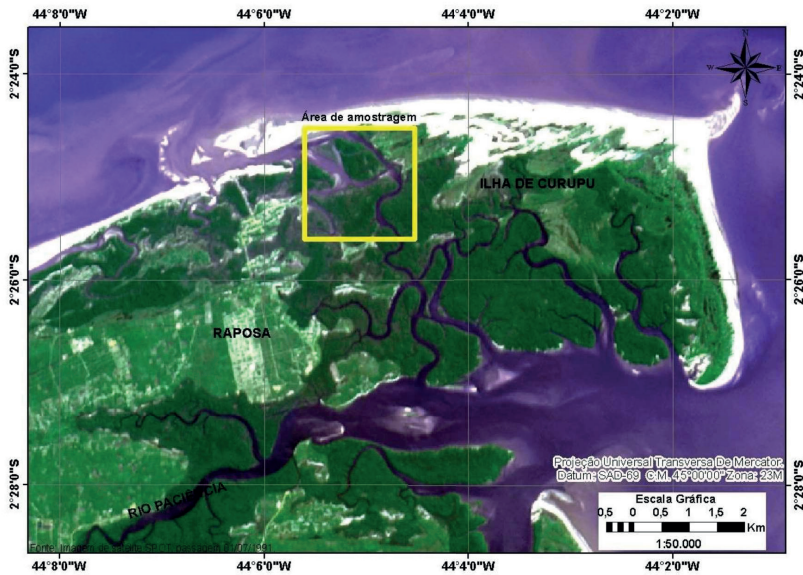
O principal objetivo deste estudo foi analisar a estrutura da associação de peixes teleósteos em um manguezal através da abundância e a distribuição de frequência por classe de comprimento.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo localiza-se na parte nordeste da ilha de São Luís, município da Raposa (02° 25' 22"S e 44° 05' 21"W), compreendendo um conjunto de canais de marés, inundados durante a preamar (Figura 1). É caracterizada por relevo baixo e uma flora dominante de mangue. O principal aporte de águas fluviais provém da bacia do Rio Paciência, na zona leste da ilha.

Figura 1. Imagem SPOT/LANDSAT 99 com a delimitação da área de coleta no Município da Raposa.



2.2. AMOSTRAGEM

A amostragem da ictiofauna para a realização deste estudo compreendeu coletas mensais realizadas entre agosto de 1999 e novembro de 2000. E o apetrecho de pesca utilizado foi rede de igarapé, também denominada “rede de tapagem”, conforme ilustram as figuras 2 e 3. São aparelhos fixos, dispostos na entrada do igarapé, sustentados por varas de mangue, fixados durante a baixa-mar, a despesca é realizada na baixa-mar seguinte, totalizando um esforço de 12 horas.

Figura 2. Rede de tapagem “camboa” na maré vazante. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/cepene/o-que-fazemos.html>. Acesso: maio 2021.



Figura 3. Figura de rede de tapagem “camboa” na maré cheia. Disponível em: <https://www.icmbio.gov.br/cepene/o-que-fazemos.html>. Acesso: maio 2021.



Os peixes capturados para este estudo foram acondicionados no campo em sacos plásticos etiquetados, colocados em caixas de isopor com gelo e transportados ao laboratório, onde foi efetuada a identificação com base em Figueiredo e Menezes (1980), Menezes e Figueiredo (1980), Menezes & Figueiredo (1985), Figueiredo e Menezes (2000) e Fischer (1978).

De cada exemplar foram computados os seguintes dados: comprimento total (mm; Ct) e peso total (g; Pt). O comprimento total dos peixes foi obtido colocando-se cada peixe com seu flanco direito voltado para o ictiômetro e o focinho encostado ao suporte perpendicular da régua, conforme ilustra a figura 4. Essa medida foi tomada da ponta do focinho à extremidade mais longa da nadadeira caudal. Em seguida cada exemplar foi pesado em balança com precisão de 0,01g.

Figura 4. Foto do uso de um ictiômetro. Disponível em: <https://ictiologiaufpr.wordpress.com/projetos/>. Acesso em: maio 2025.



2.3. ANÁLISE DA ESTRUTURA DA ASSOCIAÇÃO DE PEIXES

A análise de estrutura de associações de peixes envolve principalmente a avaliação da abundância em número e peso. Neste estudo, a abundância numérica corresponde ao número de indivíduos coletados por captura, e a abundância em peso corresponde ao peso total dos indivíduos capturados na mesma oportunidade.

2.4. DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA POR CLASSE DE COMPRIMENTO

Para cada espécie foram tabulados os dados de comprimento total agrupados por classes de comprimento total, considerando todo o período de coleta.

3. RESULTADOS

A tabela 1 mostra a frequência absoluta e relativa em número, e em peso (g) das espécies coletadas no Mangue da Raposa.

Mugil curema foi a espécie mais capturada em número durante todo o período de coleta, representando cerca de 23% do total capturado, seguida por *Mugil gaimardianus*, com menos de 10% da captura total. Enquanto as espécies *Arius* sp., *Cathorops spixii*, *Oligoplites saurus*, *Micropogonias furnieri* e *Mugil gaimardianus* representaram entre 5 a 10% da captura total.

Quatorze espécies (*Cetengraulis edentulus*, *Sciades herzbergii*, *Cathorops* sp., *Pseudauchenipterus nodosus*, *Diapterus auratus*, *Eucinostomus argenteus*, *Genyatremus luteus*, *Cynoscion acoupa*, *Cynoscion leiarchus*, *Stellifer naso*, *Mugil incilis*, *Trinectes* sp., *Colomesus psittacus* e *Sphoeroides testudineus*) representaram entre 1 a 5% da captura total.

Mugil curema foi também a espécie mais abundante em peso durante o período de coleta, cerca de 23%, seguida novamente por *Mugil gaimardianus*, mas com menos de 10% em peso da captura total.

Vinte espécies (*Cetengraulis edentulus*, *Gymnothorax funebris*, *Sciades herzbergii*, *Arius* sp., *Cathorops spixii*, *Cathorops* sp., *Pseudauchenipterus nodosus*, *Batrachoides surinamensis*, *Anableps anableps*, *Oligoplites saurus*, *Diapterus auratus*, *Eucinostomus argenteus*, *Genyatremus luteus*, *Cynoscion acoupa*, *Cynoscion leiarchus*, *Micropogonias furnieri*, *Stellifer naso*, *Mugil incilis*, *Trinectes* sp., e *Sphoeroides testudineus*) representaram de 1 a 5% do peso da captura total, cada uma das espécies. As demais espécies representaram menos que 1% da captura total.

Tabela 1. Frequência absoluta e relativa em número, e em peso (g) das espécies coletadas no Mangue da Raposa.

	N	%	N	%
<i>Odontognathus</i> sp.	4	0,04	26,53	0,01
<i>Anchoa</i> sp.	48	0,44	850,01	0,22
<i>C. edentulus</i>	387	3,57	5707,47	1,45
<i>P. atherinoides</i>	3	0,03	46,07	0,01
<i>E. saurus</i>	7	0,07	652,25	0,17
<i>G. funebris</i>	12	0,11	10934,27	2,78
<i>O. parilis</i>	1	0,01	375,54	0,10
<i>S. herzbergii</i>	316	2,92	12919,88	3,28
<i>Arius</i> sp.	651	6,01	17943,91	4,56
<i>Cathorops spixii</i>	680	6,28	10032,81	2,55
<i>Cathorops</i> sp.	211	1,95	6225,98	1,58
<i>P. nodosus</i>	203	1,88	4292,51	1,09
<i>B. surinamensis</i>	39	0,36	14094,52	3,58
<i>T. nattereri</i>	1	0,01	141,09	0,04
<i>S. marina</i>	11	1,10	1642,13	0,42
<i>A. brasiliensis</i>	12	0,11	78,11	0,02
<i>A. anableps</i>	67	0,60	4354,85	1,11
<i>C. parallelus</i>	35	0,32	2019,28	0,51
<i>C. undecimalis</i>	20	0,19	1049,56	0,27
<i>E. itajara</i>	4	0,04	1010,36	0,26
<i>R. randalli</i>	77	0,71	2175,97	0,55
<i>C. latus</i>	6	0,06	72,89	0,02
<i>C. sp.</i>	1	0,01	10,42	0,003
<i>O. palometa</i>	45	0,42	665,64	0,17
<i>O. saurus</i>	612	5,65	17324,96	4,40
<i>S. vomer</i>	13	0,12	238,33	0,06
<i>T. carolinus</i>	2	0,02	29,76	0,01
<i>L. buccanella</i>	3	0,03	78,16	0,02
<i>L. jocu</i>	7	0,07	340,71	0,09
<i>L. synagris</i>	35	0,32	1812,59	0,46
<i>L. surinamensis</i>	2	0,02	93,00	0,02
<i>D. auratus</i>	350	3,23	4026,91	1,02
<i>D. rhombeus</i>	44	0,41	418,56	0,11
<i>E. argenteus</i>	517	4,78	8139,07	2,07
<i>Eugerres</i> sp.	16	0,15	227,87	0,06
<i>C. nobilis</i>	6	0,06	256,10	0,07
<i>G. luteus</i>	322	2,97	8636,93	2,20
<i>O. ruber</i>	1	0,01	14,34	0,004
<i>P. corvinaeformis</i>	60	0,55	1410,01	0,36
<i>C. acoupa</i>	206	1,90	11156,25	2,84
<i>C. leiarchus</i>	115	1,06	6289,20	1,60
<i>Cynoscion</i> sp.	12	0,11	409,19	0,10
<i>I. parvipinnis</i>	5	0,05	420,23	0,11

	N	%	N	%
<i>M. ancylodon</i>	15	0,14	655,83	0,17
<i>M. furnieri</i>	559	5,16	14309,85	3,64
<i>B. ronchus</i>	14	0,13	434,84	0,11
<i>s. naso</i>	277	2,56	6702,66	1,70
<i>Stellifer sp.</i>	83	0,77	2134,91	0,54
<i>N. micros</i>	1	0,01	90,93	0,02
<i>C. faber</i>	10	0,09	341,32	0,09
<i>M. curema</i>	2442	22,56	87517,16	22,24
<i>M. gaimardianus</i>	1009	9,32	32696,10	8,31
<i>M. incilis</i>	306	2,83	8877,29	2,26
<i>P. oligodon</i>	4	0,04	287,42	0,07
<i>T. lepturus</i>	98	0,91	24568,05	6,24
<i>Paralichthys sp.</i>	6	0,06	851,00	0,22
<i>Citharichthys sp.</i>	2	0,02	28,74	0,01
<i>Achirus sp.</i>	21	0,19	2003,34	0,51
<i>Trinectes sp.</i>	155	1,43	10574,24	2,69
<i>S. diomedeanus</i>	4	0,04	177,82	0,05
<i>C. psittacus</i>	374	3,46	27581,97	7,01
<i>Lagocephalus sp.</i>	1	0,01	39,30	0,01
<i>S. testudineus</i>	278	2,57	14924,57	3,79

A tabela 2 mostra o número de espécies, número de indivíduo, peso total (g) e respectivos valores percentuais por família para todo o período de estudo.

Mugilidae foi a família mais abundante em número durante o período de coleta, representando cerca de 35% do total de indivíduos capturados.

A família Ariidae foi a segunda mais abundante em número de indivíduos, representando cerca de 17%, seguida pela família Sciaenidae que representou cerca de 15%, enquanto Carangidae, Gerreidae e Tetraodontidae representaram entre 5 a 10% do número de indivíduos da captura total.

Quatro famílias (Engraulidae, Auchenipteridae, Haernulidae e Achiridae) contribuíram com 1 a 5% do número de indivíduos da captura total, enquanto as demais famílias representaram menos que 1% do número de indivíduos.

Mugilidae também foi a família mais abundante em peso, com cerca de 33% da captura total, seguida pelas famílias Ariidae com 12%; Sciaenidae e Tetraodontidae com 11% e Trichiuridae com 6%.

Nove famílias (Engraulidae, Muraenidae, Auchenipieridae, Batrachoididae, Anablepidae, Carangidae, Gerreidae, Haemulidae e Achiridae) tiveram representantes com 1 a 5%, cada uma delas, da captura total em peso. Nas demais famílias, seus representantes contribuíram com menos de 1% da captura total.

Tabela 2. Número de espécies, número de indivíduos peso total (g) e respectivos valores percentuais por família para todo período de estudo.

Famílias	Espécies		Indivíduos		Peso	
	N	%	N	%	N	%
Clupeidae	1	1,59	4	0,04	26,53	0,01
Engraulidae	3	4,76	438	4,05	6603,55	1,68
Elopidae	1	1,59	7	0,07	652,25	0,17
Muraenidae	1	1,59	12	0,11	10934,27	2,78
Ophichthidae	1	1,59	1	0,01	375,54	0,10
Ariidae	4	6,35	1858	17,16	47122,58	11,98
Auchenipteridae	1	1,59	203	1,88	4292,51	1,09
Batrochoididae	2	3,18	40	0,37	14235,61	3,62
Belonidae	1	1,59	11	0,10	1642,13	0,42
Atherinopsidae	1	1,59	12	0,11	78,11	0,02
Anablepidae	1	1,59	65	0,60	4354,85	1,11
Centropomidae	2	3,18	55	0,51	3068,84	0,78
Serranidae	2	3,18	81	0,75	3186,33	0,81
Carangidae	6	9,52	679	6,27	18342,00	4,66
Lutjanidae	3	4,76	45	0,42	2231,46	0,57
Lobotidae	1	1,59	2	0,02	93,00	0,02
Gerreidae	4	6,35	927	8,56	12812,41	3,26
Haemulidae	4	6,35	389	3,59	10317,38	2,62
Sciaenidae	10	15,87	1287	11,89	42603,89	10,83
Ephippidae	1	1,59	10	0,09	341,32	0,09
Mugilidae	3	4,76	3757	34,70	129090,55	32,81
Polynemidae	1	1,59	4	0,04	287,42	0,07
Trichiuridae	1	1,59	98	0,91	24568,05	6,24
Paralichthyidae	2	3,18	8	0,07	879,74	0,22
Achiridae	2	3,18	176	1,63	12577,58	3,20
Cynoglossidae	1	1,59	4	0,04	177,82	0,05
Tetraodontidae	3	4,76	653	6,03	42545,84	10,81

3.2. DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA POR COMPRIMENTO DAS POPULAÇÕES.

A tabela 3 mostra o número de indivíduos, amplitude de comprimento, o comprimento médio e o desvio padrão por espécie capturadas no manguezal da Raposa durante o período de estudo.

Tabela 3 Caracterização dos dados de distribuição de comprimento das espécies capturadas no Mangue da Raposa.

Espécie	Número de Indivíduos	Amplitude de Comprimento (mm)	Comprimento médio (mm)	Desvio Padrão
<i>Odontognathus sp.</i>	4	94 - 112	104,75	7,72
<i>Anchoa sp.</i>	48	99 - 178	130,88	23,77
<i>C. edentulus</i>	387	100 - 153	126,45	7,95
<i>P. atherinoides</i>	3	102 - 157	126,67	27,93
<i>E. saurus</i>	7	230 - 319	265,71	35,81
<i>G. funebris</i>	12	170 - 840	681,08	169,15
<i>O. parilis</i>	1	657		
<i>S. herzbergii</i>	316	100 - 406	167,32	44,41
<i>Arius sp.</i>	651	63 - 419	150,52	34,11
<i>C. spixii</i>	680	94 - 192	121,09	12,18
<i>Cathorops sp.</i>	211	113 - 202	153,28	19,01
<i>P. nodosus</i>	203	89 - 188	131,09	16,84
<i>B. surinamensis</i>	39	151 - 434	299,77	58,23
<i>T. nattereri</i>	1	180		
<i>S. marina</i>	11	411 - 591	486,18	52,09
<i>A. brasiliensis</i>	12	90 - 109	102,00	4,59
<i>A. anableps</i>	65	144 - 285	202,83	33,88
<i>C. parallelus</i>	35	117 - 324	192,14	45,92
<i>C. undecimalis</i>	20	125 - 242	190,45	30,22
<i>E. itajara</i>	4	220 - 272	253,25	24,38
<i>R. randalli</i>	77	106 - 172	132,75	12,95
<i>C. latus</i>	6	76 - 127	99,67	20,02
<i>Caranx sp.</i>	1	97		
<i>O. palometa</i>	45	82 - 184	127,27	24,58
<i>O. saurus</i>	612	84 - 240	153,02	23,48
<i>S. vomer</i>	13	42 - 341	119,38	74,01
<i>T. carolinus</i>	2	83 - 115	99,00	22,63
<i>L. buccanella</i>	3	114 - 134	124,00	10
<i>L. jocu</i>	7	84 - 204	138,43	39,08
<i>L. synagris</i>	35	106 - 187	146,80	20,19
<i>L. surinamensis</i>	2	77 - 194	135,50	82,73
<i>D. auratus</i>	350	70 - 178	100,69	13,70
<i>D. rhombeus</i>	44	60 - 143	86,89	169,70
<i>E. argenteus</i>	517	79 - 134	109,90	9,51
<i>Eugerres sp.</i>	16	85 - 123	105,73	10,32
<i>C. nobilis</i>	6	110 - 160	144,33	17,63

Continuação da Tabela 3.

Espécie	Número de Indivíduos	Amplitude de Comprimento (mm)	Comprimento médio (mm)	Desvio Padrão
<i>G. luteus</i>	322	56 - 206	117,08	19,85
<i>O. ruber</i>	1	109		
<i>P. corvinaeformis</i>	60	87 - 171	126,32	17,81
<i>C. acoupa</i>	206	103 - 346	189,04	36,26
<i>C. leiarchus</i>	115	111 - 379	166,33	47,96
<i>Cynoscion</i> sp.	12	122 - 202	156,25	21,62
<i>I. parvipinnis</i>	5	150 - 252	185,40	40,81
<i>M. ancylodon</i>	15	138 - 204	163,54	20,21
<i>M. furnieri</i>	559	94 - 23	136,09	24,06
<i>B. ronchus</i>	14	109 - 168	136,09	19,07
<i>S. naso</i>	277	101 - 196	132,35	12,79
<i>Stellifer</i> sp.	83	110 - 170	133,99	11,86
<i>N. microps</i>	1	214		
<i>C. faber</i>	10	50 - 114	92,70	19,35
<i>M. curema</i>	2442	87 - 271	154,47	23,83
<i>M. gaimardianus</i>	1009	91 - 243	153,49	24,19
<i>M. incilis</i>	306	101 - 294	146,92	20,52
<i>P. oligodon</i>	4	120 - 243	192,25	51,92
<i>T. lepturus</i>	98	405 - 955	691,77	107,52
<i>Paralichthys</i> sp.	6	191 - 294	231,83	38,10
<i>Citharichthys</i> sp.	2	111 - 129	120,00	12,73
<i>Achirus</i> sp.	21	83 - 264	170,33	49,19
<i>Trinectes</i> sp.	155	69 - 310	136,90	50,00
<i>S. diomedeanus</i>	4	88 - 248	145,00	70,89
<i>C. psittacus</i>	374	74 - 276	141,51	38,01
<i>Lagocephalus</i> sp.	1	136		
<i>S. testudineus</i>	278	77 - 201	21,41	21,41

4. DISCUSSÃO

Uieda e Uieda (2000) estudaram a composição e distribuição espacial de uma comunidade de peixes em 3 trechos de um rio da costa leste do Brasil. Entre eles um trecho de mangue e através de métodos convencionais de captura e observações subaquáticas concluíram que a eficiência destes dois métodos depende das características do ambiente e da biologia das espécies.

Acosta (1997) em áreas de mangues e recifes de coral em La Parguera, na costa sudoeste de Porto Rico, estudou dois tipos de aparelhos gillnets e trammel

nets, controlados por observação visual, com redes de pesca manuais e concluiu que são equivalentes no estudo de estrutura de comunidades em diferentes habitats, com exceção lógica de espécies pelágicas.

Mugil curema foi a espécie mais abundante em número e em peso no sistema manguezal neste estudo e esteve também entre as espécies mais abundantes nos estudos de Silva (1982); Chao et al. (1982); Martins-Juras (1989) e Castro (1997; 2001).

Segundo Menezes e Figueiredo (1985) *Mugil curema* é a espécie mais comum do litoral brasileiro e de acordo com Moore (1974) ela substitui em direção ao equador *Mugil cephalus*, que ocorre em águas subtropicais.

A segunda espécie mais abundante foi também um mugilídeo, *Mugil gaimardianus*. A terceira espécie de mugilídeo identificada neste estudo, *Mugil incilis*, representou apenas 2,80% números total de indivíduos capturados. As três espécies de mugilídeos constituíram 34,70%, praticamente um terço da captura total.

A expressiva abundância dos mugilídeos num sistema manguezal pode ser atribuída ao fato do hábito alimentar ser preferencialmente detritívoro (Yanez-Arancibia, 1976). Segundo Lowe-McConnell (1999) a cadeia alimentar no mangue está baseada principalmente em detritos de matérias orgânicas trazidos através dos rios.

Em outros estudos realizados em estuários pertencentes ao sistema Golfão Maranhense, os mugilídeos estiveram sempre entre as espécies mais abundantes. No estuário do rio Tibiri, sul da ilha de São Luís, *Mugil curema* representou 3,20%, *Mugil incilis* 1,50% do número total de indivíduos capturados e *Mugil gaimardianus* não esteve presente (Batista; Rego, 1996). *Mugil curema* foi a segunda espécie mais capturada, representando 11,6 %, ao longo do estuário do rio Paciência (Castro, 2001), e esteve entre as espécies com maior participação numérica no estuário do rio Anil (Pinheiro Jr et al. 2005).

Mugil curema foi a terceira espécie mais capturada, representando 10,50% do número de indivíduos capturados no levantamento da ictiofauna estuarina da ilha de São Luís, realizado por Martins-Juras (1989). Quanto aos outros mugilídeos presentes, a autora observou 3,60 e 1,0% para *Mugil incilis* e *Mugil gaimardianus* respectivamente.

Outras espécies presentes neste estudo, mas não tão abundantes, mas foram consideradas abundantes em outros estudos realizados em sistema de mangue no país: *Xenomelaniris brasiliensis* (sinônimo: *Atherinella brasiliensis*) em São Paulo (Paiva Filho; Toscano, 1987); *Pomadasys corvinaeformis* no Ceará (Costa et al.,1995); *Bardiella ronchus* e *Eucinostomus argenteus* no Paraná (Chaves; Corrêa, 1998); *Spherooides testudineus* na gamboa do Sucuriú, Paraná (Santos et al., 2002); *Spherooides testudineus* também na gamboa do Sucuriú (Spach et al., 2003); *Bardiella ronchus* em riachos de maré de mangue

também no Paraná (Spach et al., 2004); *Arius herzbergii* (sinônimo: *Sciades herzbergii*), *Arius* sp. e *Pseudauchenipterus nodosus* no estuário do rio Anil, Maranhão (Pinheiro Jr. et al., 2005); e *Cetengraulis edentulus* e *Sphoeroides testudineus* na gamboa da Baía Pinheiro no Paraná (Oliveira-Neto et al., 2008); *Colomesus psittacus* em riachos de marés no mangue do estuário Curuça, Pará (Giarrizo; Krumme, 2009).

A família Sciaenidae teve o maior número de espécies, no sistema manguezal, seguida pela família Carangidae. Em peso a maior abundância foi da família Mugilidae, seguida pela família Ariidae, e a maior abundância em número de indivíduos capturados foi da família Ariidae, seguida pela família Haemulidae. Estes resultados corroboram com os encontrados por Martins-Juras (1989) em áreas estuarinas da ilha de São Luís, onde a maior abundância foi da família Mugilidae, seguida pela família Ariidae.

Rojas et al. (1994) observou que a família Ariidae em áreas de mangue da Costa Rica foi a mais abundante em número de indivíduos, e maior número de espécies; Stoner (1986) a família Gerreidae, na Laguna de Joyuda, Porto Rico; Sedberry e Carter (1993) a família Haemulidae, em Belize, América Central.

Paiva et al. (2008) em três zonas morfológicamente distintas do estuário do rio Formoso, Pernambuco, verificaram maior riqueza específica nas famílias Gerreidae e Carangidae, entretanto as mais abundantes foram Clupeidae, Engraulidae e Gerreidae.

Ayvazians et al. (1992) compararam estuários de duas localidades na costa atlântica dos Estados Unidos, Wells e baía de Waquoit, que compartilhavam três tipos de habitats: fundo aberto, praias arenosas e pântanos cobertos por *Spartina patens* e *Spartina alterniflorai*, então esses autores sugeriram que os habitats de pântano e praia fornecem uma área de berçário para os peixes, enquanto os habitats de águas abertas, mais profundos, servem como um corredor para os peixes se moverem para os habitats mais próximos da costa ou de refúgio durante a maré baixa. Também observaram que os habitats de pântano renderam maior número de espécies de peixes, além da densidade e biomassa terem sido consideradas maiores.

De acordo com Yanez-Arancibia (1986), considera três fatores ecológicos para designar espécies dominantes: abundância em número e peso e frequência de ocorrência. Sendo assim, a única espécie que pode ser considerada dominante no Mangue da Raposa seria *Mugil curema*.

Não foi observado a presença de espécies tipicamente de água doce, mesmo de forma ocasional durante o período de capturas realizado no Mangue da Raposa.

Para explicar a presença ou ausência de peixes de água doce num sistema subequatorial, margeado por árvores de mangue, não deve ser levado em conta somente a salinidade, como ocorre em outros sistemas (Lowe-McConneell1999).

O fato de não terem ocorrido peixes de água doce neste estudo também não deve ser atribuído necessariamente à presença de mangues. Segundo Lacerda (1984) as árvores de mangue não se restringem obrigatoriamente ao ambiente de alta salinidade, pelo contrário, seu desenvolvimento parece melhor em áreas de salinidade baixa, e sua ocorrência no ambiente costeiro parece estar ligada à competição com outras plantas terrestres.

Chaves e Corrêa (1998) não observaram a presença de peixes de água doce em áreas de mangues da baía de Guaratuba, consideraram que a alta salinidade talvez explicasse a ausência de peixes associados a água doce.

Chaves e Vendel (2001) explorando uma área maior e de habitats diferentes de Chaves e Corrêa (1998), além da adição de outros tipos de aparelhos, na ocasião capturaram uma espécie dulcícola, *Rhamdia quelen* (Pimelodidae).

Bouchereau et al. (2000) fizeram um inventário de comprimento máximo de 57 espécies que vivem no mangue da baía de Guaratuba, Paraná, com o objetivo de avaliar a relação entre o ecossistema e o tamanho dos indivíduos. Concluíram que, na maioria das populações, o tamanho máximo foi cerca de 40% do comprimento máximo da espécie indicado na literatura e apenas 19,3% dos indivíduos foram maiores que 300 mm em valor absoluto.

A maioria dos exemplares coletados neste estudo foi constituída por indivíduos de pequeno porte, cerca de 98,50% mediram menos de 300 mm de comprimento total. A presença da maioria de exemplares de pequeno porte em manguezais foi observada também por Lacerda (1984), Silva (1996); Chaves (1998) e Lopes et al. (1998).

Santos et al. (2002), embora tenham ressaltado que a estrutura do tamanho das espécies possa ter sido influenciada pela eficiência da rede utilizada, concluíram que isso parece não ser significativo, porque a ictiofauna foi caracterizada pelo domínio de formas de pequeno porte. Então, o fato desse ambiente constituir-se na maioria das vezes de um criadouro e, em outros casos de espécies costeiras de pequeno porte, com presença mais contínua, apenas ajuda a corroborar os dados aqui obtidos com os mais comuns para ambientes semelhantes.

5. CONCLUSÃO

As características quantitativas das amostras de peixes são influenciadas pelas técnicas de amostragem. Sendo assim, nas condições específicas da área de amostragem o aparelho de pesca mais indicado foi a rede de tapagem. É um apetrecho que fecha a boca do igarapé na baixa mar e quando a maré enche os peixes são capturados na tentativa de subir em direção aos rios. A despesca é feita na baixa-mar seguinte.

A distribuição de frequência de comprimento dos exemplares capturados (42 a 955 mm) indicou que na amostragem houve seleção em relação ao tamanho dos exemplares capturados, a maioria dos exemplares coletados foi constituída por indivíduos de pequeno porte, cerca de 98,50% mediram menos de 300 mm de comprimento total.

Os mugilídeos dominam o sistema, notadamente *Mugil curema* e *Mugil gaimardianus*, utilizando-o para alimentação e crescimento, embora dele se afastem para a reprodução.

Seria importante que estudos levassem em conta a história de vida das espécies de peixes que habitam tanto áreas dos córregos de mangue, como nas áreas mais abertas de estuários, considerando que esses locais servem como berçários para os peixes que compõem a maior parte da pesca comercial.

REFERÊNCIAS

ACOSTA, A. Use of multi-mesh gillnets and trammel nets to estimative fish species composition in coral reef and mangroves in the Southwest coast of Puerto Rico. **Caribbean Journal of Science**, v.33, n.1-2, p.45-57, 1997.

AYVAZIAN, S. G.; DEEGAN, L. A. & FINN, J. T. Comparison of habitat use by estuarine fish assemblages in the Acadian and Virginian Zoogeographic Provinces. **Estuaries**, v.15, n.3, p.368-383, 1992.

BATISTA, V. S.; REGO F. N. Análise de associações de peixes, em igarapés do estuário do rio Tibiri, Maranhão. **Revista Brasileira de Biologia**, v.56, n.1, p.163-176, 1996.

BOUCHEREAU, J.; CHAVES, P. T. C & ALBARET, J. Select of cadidate fish species for farming in the bay of guaratuba, Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.43, n.1, p.15-25, 2000.

Brasil. **Lei no 12.651, de 25 de maio de 2012**. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis no 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis no 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/L12651compilado.htm. Acesso em: maio 2025.

CASTRO, A. C. L. Características ecológicas da ictiofauna da ilha de São Luís. **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, São Luis-Ma, v.10, p.1-18, 1997.

CASTRO, A. C. L. Diversidade da assembléia de peixes em igarapés do estuário do rio Paciência (MA-Brasil). **Atlântica**, Rio Grande, v.23, p.39-46, 2001.

CHAO, L. N.; PEREIRA, L. E.; VIEIRA, J. P.; BENVEMUTI, M. A. & CUNHA, L. P. R. Relação preliminar dos peixes estuarinos e marinhos da Lagoa dos Patos e região costeira adjacente. Rio Grande do Sul, Brasil. **Atlântica**, Rio Grande, v.5, n.1, p.67-75, 1982.

CHAVES, P. T. C. Estrutura populacional de *Pomadasys corvinaeformis* (STEINDACHNER) (TELEOSTEI, HAEMULIDAE) na Baía de Guaratuba, Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v.15, n.1, p.203-209, 1998.

- CHAVES, P. T. C.; CORRÊA, M. F. M. Composição ictiofaunística da área de manguezal da Baía de Guaratuba, Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v.15, n.1, p.195-202, 1998.
- COSTA, P. S.; SANTOS, M. A. M. dos, ESPÍNOLA, M. F. A.; MONTEIRO-NETO, C. Biologia e biometria do coró, *Pomadays corvinaefomis* (Steindachner) (TELEOSTEI: POMADASYDAE), em Fortaleza, Ceará, Brasil. **Arquivos de Ciência do Mar**, Fortaleza, v.29, n.1-2, p.20-27, 1995.
- CHAVES, P. T. C.; VENDEL, A. L. Nota complementar sobre a composição ictiofaunística da Baía de Guaratuba, Paraná, Brasil. **Revista Brasileira Zoologia**, v.18, supl.1, p.349-352, 2001.
- FIGUEIREDO, J. L.; MENEZES, N. A. **Manual de peixes marinhos do sudeste do Brasil. III. Teleostei (2)**. São Paulo, Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo. 1980. 90p.
- FIGUEIREDO, J. L.; MENEZES, N. A. **Manual de peixes marinhos do sudeste do Brasil. VI. Teleostei (5)**. São Paulo, Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo. 2000.116p.
- FISCHER, W. (ed). **FAO species Identification sheets for fishery purposes. Western Central Atlantic (Fishing Área 31)**. Rome, FAO. v 1-7. 1978.
- GIARRIZZO, T.; KRUMME, U. Temporal patterns in the occurrence of selected tropical fishes in mangrove creeks: Implications for the fisheries management in north Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v.52, n.3, p.679-688, 2009.
- LACERDA, L. D. Manguezais florestas de beira-mar. **Ciência Hoje**, v.3, n.13, p.64-70, 1984.
- LOPES, P. R. D, OLIVEIRA-SILVA, J. T.; FERREIRA-MELO, A. S. A. Contribuição ao conhecimento da ictiofauna no manguezal de Cacha Pregos, Ilha de Itaparica, Baía de Todos os Santos, Baía. **Revista Brasileira Zoologia**, v.15, n.2, p.315-325, 1998.
- LOWE-McCONNELL, R. H. **Estudos ecológicos de comunidades de peixes tropicais**. São Paulo, EDUSP. 1999. 535p.
- Makowski, C.; Finkl, C.W. 2018. **Threats to mangrove forests. Hazards, vulnerability and management**. Springer, 723p. <https://books.google.com.br/books?id=nqZWDwAAQBAJ&pg=PA378&dq#v=onepage&q&f=false>
- MARTINS-JURAS, I. A. G. **Ictiofauna estuarina da Ilha do Maranhão**. 1989. 184p. Tese (Doutorado) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- MENEZES, N. A.; FIGUEIREDO, J. L. **Manual de peixes marinhos do sudeste do Brasil. IV. Teleostei (3)**. São Paulo, Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo, 1980. 96p.
- MENEZES, N. A.; FIGUEIREDO, J. L. **Manual de peixes marinhos do sudeste do Brasil. V. Teleostei (4)**. São Paulo, Museu de Zoologia da Universidade de São Paulo, 1985. 105p.
- OLIVEIRA-NETO, J. F.; SPACH, H. L.; SCHWARZ-JUNIOR, R.; PICHLER, H. A. Diel variation in fish assemblages in tidal creeks in southern Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v.68, n.1, p.37-43. 2008.
- PAIVA, A. C. G.; CHAVES, P. T. C.; ARAÚJO, M. E. Estrutura e organização trófica da ictiofauna de águas rasas em um estuário tropical. **Revista Brasileira de Zoologia**, v.25, n.4, p. 647-661, 2008.

PAIVA-FILHO, A. M. & TOSCANO, A. P. Estudo comparativo e variação sazonal da ictiofauna na zona entremarés do mar Casado-Guarujá e Mar Pequeno - São Vicente, SP. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, São Paulo, v.35, n.2, p.153-165, 1987.

PINHEIRO JR., J. R.; CASTRO, A. C. L.; GOMES, L. N. Estrutura da comunidade de peixes do estuário do Rio Anil, Ilha de São Luís, Maranhão. **Arq. Cien. Mar.** Fortaleza. v.38, p.29-37, 2005.

ROJAS, J. R.; PIZARRO, M. J. F.; CASTRO, M. V. Diversidad y abundancia ictica em três áreas de manglar em el Golfo de Nicoya, Costa Rica. **Revista de Biología Tropical**, v.42, n.3, p.663-672, 1994.

SANTOS, C.; SCHWARZ JR, R. OLIVEIRA NETO, J.F.; SPACH, H. L. A ictiofauna em duas planícies de maré do setor eurialino da baía de Paranaguá, PR. **Boletim do Instituto de Pesca**, São Paulo, v.28, n.1, p.49-60, 2002.

SEDBERRY, G.; CARTER, J. The fish community of a Shallow Tropical Lagoon in Belize, Central America. **Estuaries**, v.16, n.2, p.98-215, 1993.

SILVA, C. P. Ocorrência, distribuição e abundância de peixes na região estuarina de Tramandaí, Rio Grande do Sul. **Atlântica**, R. Grande, v.5, p.49-66, 1982.

SILVA, A. R. Manguezal: Ecosistema egoísta ou benevolente? **Ciência Hoje**, v.20, n.120, p.6-11, 1996.

SPACH, H. L.; SANTOS, C.; GODEFROID, R. S. Padrões temporais na assembléia de peixes na gamboa do Sucuriú, Baía de Paranaguá, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**, v.20, n.4, p. 591-600, 2003.

SPACH, H. L.; SANTOS, C.; GODEFROID, R. S.; NARDI, M.; CUNHA, F. A study of the fish community structure in a tidal creek. **Brazilian Journal of Biology**, v.64, n.2, p.337-351, 2004.

STONER, A. W. Community structure of the demersal fish species of Laguna Joyuda, Puerto Rico. **Estuaries**, v.9, n.2, p.42-152, 1986.

UIEDA, V. S.; UIEDA, W. Species composition and spatial distribution of a stream fish assemblage in the east coast of Brazil: Comparison of two field study methodologies. **Brazilian Journal of Biology**, v.61, n.3, p.377-388, 2000.

VANNUCCI, M. What is special about mangroves? **Brazilian Journal of Biology**, v.61, n.4, p.99-603, 2001.

YANEZ-ARANCIBIA, A. **Ecología de la zona costera: análisis de siete tópicos**. México, A. G. T. Editor. 1986. 189p.

CAPÍTULO 9

PRESENCIA Y CARACTERIZACIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN PLAYAS DE LA ZONA ORIENTAL DE EL SALVADOR

Data de submissão: 28/05/2026

Data de aceite: 12/06/2026

Osmel Alberto Sánchez Granados

Investigador en Programa de Medio Ambiente
Universidad Gerardo Barrios
San Miguel, El Salvador
<https://orcid.org/0000-0002-4906-8669>

RESUMEN: La presencia de residuos plásticos en las playas conduce a su degradación progresiva en partículas de entre 1 y 5 mm de tamaño, conocidas como microplásticos. Los microplásticos representan una forma crítica de contaminación marina; por ello, resulta fundamental evaluar su presencia en ecosistemas costeros como las playas arenosas, las cuales proporcionan importantes servicios ecológicos y socioeconómicos. El objetivo de este estudio determinar la distribución y abundancia de microplásticos presentes en las playas de la zona oriental de El Salvador. Las muestras de arena superficial (0–5 cm de profundidad) se recolectaron mediante cuadrantes de 1,0 m². Las muestras de arena seca se tamizaron utilizando mallas de 0,01 mm y 0,05 mm, mientras que las muestras de arena húmeda se transportaron al laboratorio para su posterior procesamiento. Los resultados indicaron que los plásticos representaron aproximadamente el 80 % de los macroresiduos, con una abundancia

media de microplásticos de 93 unidades/m². Los microplásticos identificados estuvieron compuestos principalmente por fragmentos (69,27 %), seguidos de espumas (16,37 %), fibras (12,60 %), esponjas (1,42 %) y gránulos (0,32 %). Estos hallazgos evidencian una creciente preocupación ambiental en la costa oriental de El Salvador, donde la contaminación por microplásticos representa un riesgo considerable para los ecosistemas marinos.

PALABRAS CLAVE: contaminación por plásticos; sedimentos de playa; abundancia de microplásticos; costa de El Salvador; medio ambiente.

PRESENCE AND CHARACTERIZATION OF MICROPLASTICS ON BEACHES IN THE EASTERN PART OF EL SALVADOR

ABSTRACT: The presence of plastic debris on beaches leads to its progressive degradation into particles ranging from 1 to 5 mm in size, known as microplastics. Microplastics represent a critical form of marine pollution; therefore, assessing their presence in coastal ecosystems such as sandy beaches—which provide important ecological and socio-economic services—is essential. The objective of this study is to determine the distribution and abundance of microplastics present on the beaches of eastern El Salvador. Surface sand samples (0–5 cm depth) were collected using 1.0 m² quadrats. Dry sand samples were sieved using 0.01 mm and 0.05 mm mesh sizes, while wet sand samples

were transported to the laboratory for further processing and analysis. The results showed that plastic materials accounted for approximately 80% of the macro-debris recorded, with a mean microplastic abundance of 93 items/m². Identified microplastics consisted mainly of fragments (69.27%), followed by foams (16.37%), fibers (12.60%), sponges (1.42%), and pellets (0.32%). These findings highlight a growing environmental concern along the eastern coast of El Salvador, where microplastic pollution poses a significant risk to marine and coastal ecosystems and the ecosystem services they provide.

KEYWORDS: plastic pollution; beach sediments; microplastic abundance; El Salvador coast; environment.

1. INTRODUCCIÓN

Las playas abarcan aproximadamente el 40 % de las costas del mundo y desempeñan un papel fundamental en el equilibrio ecológico, al proporcionar servicios ambientales esenciales como recreación, turismo, explotación de recursos minerales y protección costera frente al oleaje (Torrez-Pérez et al., 2020). No obstante, la calidad ambiental de estos ecosistemas se ha deteriorado significativamente en las últimas décadas debido al incremento de las presiones antropogénicas (Lu et al., 2018). Entre estas, la contaminación por residuos plásticos se ha consolidado como la forma más predominante de basura marina, impulsada por el crecimiento exponencial de su producción y consumo a escala global (Iñiguez et al., 2016).

El bajo costo, la durabilidad y la versatilidad del plástico han favorecido su uso masivo, a pesar de su limitada capacidad de degradación en el ambiente (Avio et al., 2017). Se estima que aproximadamente el 10 % de los plásticos producidos a nivel mundial termina en los océanos (Cole et al., 2011), principalmente como consecuencia de una gestión inadecuada de los residuos sólidos (Arriaza et al., 2019). En la actualidad, entre el 60 % y el 90 % de la basura marina está compuesta por plásticos, mayoritariamente derivados de materiales de empaque como botellas, bolsas, tapones, envases y envoltorios (López, 2022). En 2015, se reportaron más de nueve millones de toneladas de plásticos flotando en los océanos.

Los microplásticos se definen como partículas plásticas menores de 5 mm, originadas tanto por la fragmentación de objetos plásticos de mayor tamaño como por productos fabricados deliberadamente en dimensiones microscópicas (Graça et al., 2017). Estos se clasifican en microplásticos primarios, diseñados para su uso en cosméticos, productos de cuidado personal, limpiadores y microcápsulas farmacéuticas (Cole et al., 2011; Browne et al., 2007; Shim et al., 2018), y microplásticos secundarios, que resultan de la degradación física, química y mecánica de plásticos mayores debido a la radiación ultravioleta, el oleaje y la abrasión (Monzó López, 2022).

Los microplásticos ingresan al ambiente marino a través de diversas vías, incluyendo la liberación directa desde productos de cuidado personal, la escorrentía urbana, las descargas industriales y las plantas de tratamiento de aguas residuales que no logran eliminarlos completamente, así como la incineración y disposición inadecuada de residuos sólidos (Arriaza et al., 2019; Castañeta et al., 2020; Olubusoye, 2023; Liu & Liu, 2024). Una vez en el océano, los residuos plásticos flotantes tienden a concentrarse en los giros oceánicos subtropicales y en grandes sistemas de corrientes marinas, favoreciendo su acumulación y dispersión a escala regional (Ryan, 2014; Cole et al., 2011).

En la región centroamericana, recientes investigaciones han evidenciado la distribución generalizada de microplásticos en ambientes costeros. En Costa Rica, estudios han documentado la presencia de microplásticos en playas del Caribe con valores elevados de concentración, reflejando una contaminación costera significativa que varía espacialmente entre sitios muestreados (Soto et al., 2025). Además, redes regionales de investigación, como REMARCO y proyectos colaborativos con el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), han promovido muestreos sistemáticos de arenas de playa tanto en el Pacífico como en el Caribe costarricense, generando bases de datos estandarizadas sobre microplasticidad ambiental (CIMAR et al., 2018–2025).

En el Pacífico de Nicaragua, estudios han confirmado la presencia de microplásticos en sedimentos de la Bahía de San Juan del Sur, lo que destaca la pertinencia de abordar esta problemática también en costas centroamericanas menos estudiadas (Díaz & Sarria, 2024). Más al sur, investigaciones en el Caribe colombiano han encontrado microplásticos en todas las playas analizadas, con concentraciones que alcanzan miles de partículas por kilogramo de sedimento, siendo las fibras el tipo predominante (Rangel-Buitrago et al., 2021).

En El Salvador, un estudio reciente sobre playas del litoral pacífico reportó microplasticidad en sedimentos superficiales, con predominio de fibras plásticas y variación espacial en las abundancias, lo que subraya la presencia documentada de este contaminante en la región oriental del país (Quintanilla et al., 2025).

Más al sur, en Colombia, múltiples investigaciones en playas del Caribe han registrado altas densidades de microplásticos en sedimentos, con valores que oscilan entre cientos y miles de partículas por kilogramo de arena, siendo las fibras y fragmentos las formas más frecuentes. Estos estudios subrayan la influencia de fuentes locales y del transporte marino regional en la distribución de microplásticos a lo largo de las costas del Pacífico oriental y el Caribe, lo que refuerza la necesidad de enfoques comparativos a escala regional. La acumulación de microplásticos representa una amenaza significativa para la biodiversidad marina, ya que estos pueden ser ingeridos de forma accidental o

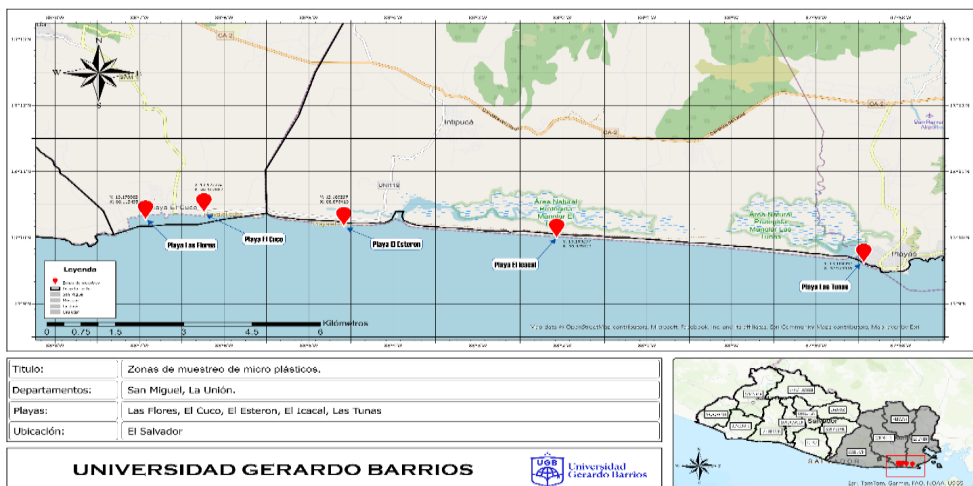
selectiva por peces, aves, moluscos, mamíferos y otros organismos, debido a su pequeño tamaño y similitud con presas naturales (Barnes et al., 2009; Guzzetti et al., 2018; Kevudo, 2023). Esta ingestión puede provocar efectos fisiológicos adversos, alterar las redes tróficas marinas e interferir en procesos ecológicos clave, como la nitrificación, afectando el funcionamiento de los ecosistemas costeros (Seeley et al., 2020). Además, los microplásticos actúan como vectores de contaminantes químicos, incluyendo retardantes de llama, estabilizadores UV, antioxidantes y plastificantes, incrementando su riesgo ecotoxicológico (León et al., 2022). A pesar de su presencia incluso en playas remotas (Lusher, 2015), la magnitud real de la contaminación por microplásticos en Centroamérica sigue siendo insuficientemente cuantificada, en parte debido a la escasez de estudios sistemáticos y a la falta de metodologías estandarizadas para su muestreo y análisis (Duncan et al., 2008). En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo determinar la distribución y abundancia de microplásticos en playas de la zona oriental de El Salvador, con el fin de generar información científica que contribuya al diseño de estrategias de manejo ambiental y prevención de la contaminación en zonas costeras.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El lugar de estudio comprendió las playas arenosas Las Flores, El Cuco, El Esterón El Icacal, y Las Tunas situadas en el Océano Pacífico. Entre las coordenadas geográficas LN: 13.1720, LW: 88.1163, LN. 13.1722, LW. 88.1043, LN. 13.1698, LW. -88.0757, LN13.1654, LW-88.0173, LN. 13.1607. LW-87.974524 (Fig.1).

Figura 1. Ubicación de las diferentes zonas de muestreo en las playas en la zona oriental de la costa salvadoreña.



Las playas Las Flores, El Cuco, El Esterón El Icacal y las Tunas está incluida dentro del complejo de la sierra de Jucuarán (Herrera, 2001). La planicie costera Oriental entre playa El Espino hasta Icacal, se caracteriza por playas extendidas, estuarios de ríos de caudal medio y pequeñas ensenadas en su sector oriental. Estas Playas están comprendidas dentro de la zona de vida correspondiente a Bosque Húmedo Subtropical con temperaturas promedio anuales de 27.8°C (Herrera, 2001).

2.2. METODOLOGÍA DE CAMPO

2.2.1. Trabajo de campo

El muestreo de microplásticos se realizó mediante una adaptación del protocolo propuesto por Hidalgo-Ruz et al. (2012), considerando como microplásticos aquellas partículas menores a 5 mm. La arena seca fue tamizada in situ utilizando tamices de acero inoxidable con tamaños de malla de 0,05 mm y 0,01 mm, (Fig. 2), con el fin de recuperar microplásticos finos. Las muestras húmedas no fueron tamizadas en campo y se transportaron al laboratorio para su posterior procesamiento. La identificación visual de microplásticos constituye una aproximación ampliamente utilizada; sin embargo, puede subestimar partículas muy pequeñas o confundir materiales no plásticos, lo cual representa una limitación metodológica del estudio. En total se recolectaron 102 muestras de arena. Cada muestra fue almacenada en bolsas plásticas previamente rotuladas con la identificación del sitio, fecha y hora de recolección.

Figura 2. Toma de muestra de microplásticos tamizado para la obtención de partículas mayores a un milímetro. en las diferentes playas del oriente del país.



2.3. TRABAJO DE LABORATORIO

2.3.1. Preparación de muestras

Los residuos macroscópicos recolectados fueron enjuagados con agua limpia para eliminar restos de arena y material orgánico adherido. Posteriormente, se secaron

en horno a 60 °C durante 72 h, con el fin de estabilizar el peso de las muestras y evitar alteraciones asociadas a la humedad. Una vez secos, los materiales fueron colocados en cajas de Petri para su análisis visual y clasificación (Fig. 3). Los residuos recolectados fueron enjuagados con agua limpia para eliminar restos de arena y material orgánico adherido. Posteriormente, se secaron en horno a 60 °C durante 72 h para estabilizar su peso y evitar variaciones asociadas a la humedad. Una vez secas, las muestras se colocaron en cajas de Petri para su inspección y clasificación visual.

Para minimizar la contaminación cruzada durante el procesamiento, se aplicaron medidas de control de calidad ampliamente recomendadas en estudios de microplásticos: el trabajo se realizó en áreas con circulación de aire limitada; el personal utilizó indumentaria de algodón; los utensilios (tamices, pinzas y cajas de Petri) fueron lavados previamente con agua destilada; y las superficies de trabajo se limpiaron antes de cada sesión.

Los microplásticos recuperados fueron identificados mediante inspección visual y clasificados según su morfología, de acuerdo con la propuesta de Kovač et al. (2016), en las siguientes categorías: fragmentos, películas (*film*), espumas, gránulos y *pellets*. La abundancia de microplásticos se expresó como número de elementos por metro cuadrado (elementos m⁻²).

Figura 3. Muestras de arena húmeda secadas el horno y Clasificación según tipos de plásticos en placas petri.



2.3.2. Análisis estadístico

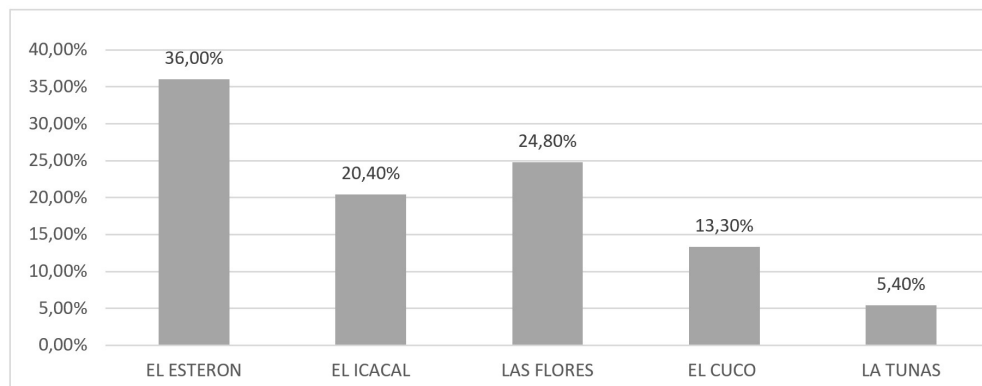
Los datos obtenidos fueron analizados mediante estadística descriptiva, calculando valores de media, y porcentajes de abundancia relativa por tipo de microplásticos y por playa. Para evaluar diferencias significativas en la abundancia de microplásticos entre playas, se aplicó [ANOVA / Kruskal–Wallis], previa verificación de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. En caso de detectarse diferencias significativas, se realizaron pruebas post hoc para identificar contrastes

entre sitios. El nivel de significancia estadística se estableció en $p < 0,05$. Los análisis se realizaron utilizando Microsoft Excel.

3. RESULTADOS

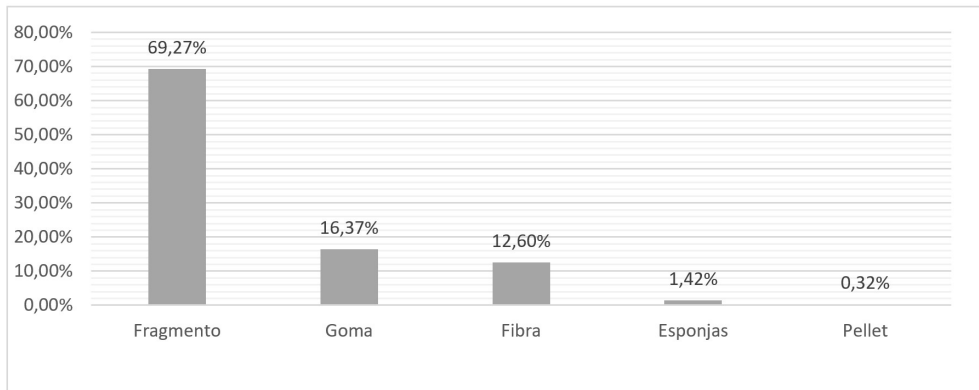
La presencia de 2,174 partículas de microplásticos en las arenas de las playas del oriente de El Salvador evidencia que estos ecosistemas costeros se encuentran expuestos de manera constante a la contaminación plástica, aun cuando las densidades registradas se clasifican dentro de rangos bajos. Este hallazgo concuerda con estudios realizados en otras regiones de Centroamérica y el Caribe, donde se ha documentado la ocurrencia generalizada de microplásticos incluso en playas con menor grado de urbanización o desarrollo turístico.

Figura 4. Abundancia total de microplásticos encontrados en las playas del oriente de El Salvador.



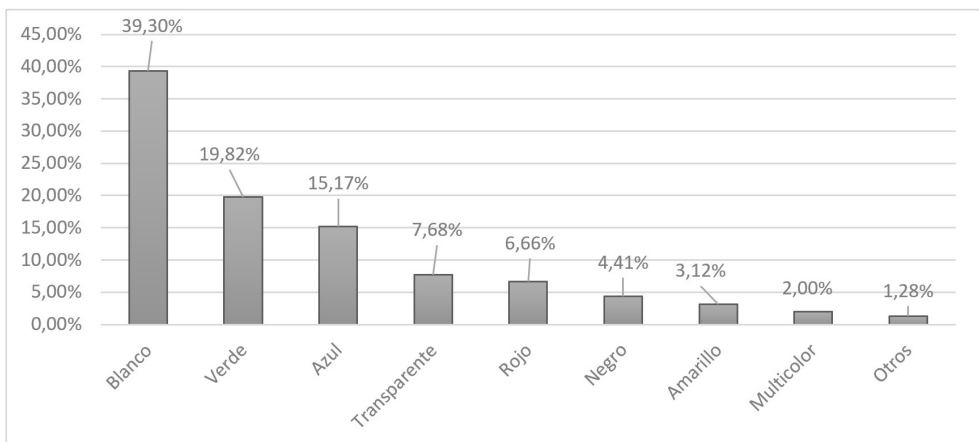
Se observó una variación significativa en los valores porcentuales de microplásticos entre las diferentes playas. Las playas Las Flores (24.8%), El Icacal (20.4%) y El Cuco (13.3%) presentaron los porcentajes más elevados, evidenciando una mayor concentración de microplásticos en comparación con las demás zonas. En contraste, Las Tunas (4.5%) registró el valor más bajo entre las playas evaluadas (Fig. 4). Estas diferencias podrían estar asociadas a factores como la afluencia humana, actividades turísticas y pesqueras, así como a condiciones ambientales locales que favorecen la acumulación de residuos plásticos.

Figura 5. Distribución porcentual de los tipos de microplásticos en las playas del oriente de El Salvador.



Los fragmentos constituyeron la categoría dominante (69,27 %), lo que sugiere que la principal fuente de microplásticos en el área de estudio es la fragmentación de residuos plásticos de mayor tamaño expuestos a procesos físicos como radiación solar, abrasión mecánica y acción del oleaje. Este patrón ha sido ampliamente reportado en playas arenosas del Pacífico tropical y se asocia a una degradación progresiva de envases, botellas y otros plásticos de uso cotidiano. La categoría goma/foam ocupó el segundo lugar en abundancia (16,37 %), lo que podría estar relacionado con materiales derivados de embalajes, flotadores, espumas de poliestireno y elementos utilizados en actividades pesqueras. Las fibras o filamentos representaron el 12,60 %, posiblemente asociadas a fuentes como textiles sintéticos, redes de pesca y cuerdas, las cuales suelen ingresar al ambiente marino a través de descargas continentales y actividades costeras. Las categorías pellet y film/lámina mostraron valores bajos. (Fig.5)

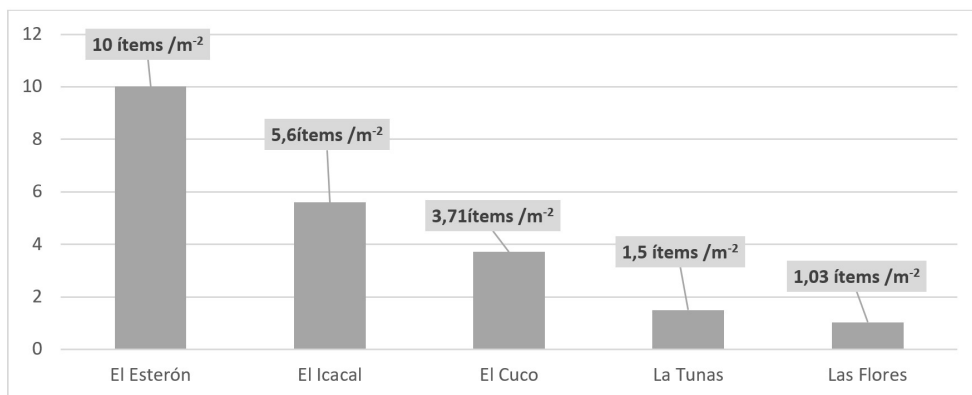
Figura 6. Concentración porcentual de microplásticos por color encontrados en la arena de las playas del oriente del país.



El análisis cromático mostró un claro predominio del color blanco (39,30 %), seguido de verde (19,82 %) y azul (15,17 %). Esta distribución es consistente con estudios previos que señalan que los colores claros y brillantes son más abundantes debido a la degradación de plásticos transparentes y al uso frecuente de envases de estos colores. Desde un punto de vista ecológico, estos colores pueden aumentar la probabilidad de ingestión por organismos marinos, ya que pueden confundirse fácilmente con presas naturales, incrementando el riesgo de efectos adversos en la fauna costera. (Fig. 6).

Las densidades registradas oscilaron entre 1,03 y 10,0 ítems m^{-2} , con una concentración media de 21,9 ítems m^{-2} . La mayor densidad se registró en El Esterón (10,0 ítems m^{-2}), seguida por El Icacal (5,6 ítems m^{-2}) y El Cuco (3,71 ítems m^{-2}). De acuerdo con los rangos de clasificación establecidos (1–100 ítems m^{-2}), estas playas se consideran dentro de una categoría de baja contaminación. Sin embargo, la presencia constante de microplásticos indica una presión ambiental persistente que puede intensificarse con el tiempo si no se implementan medidas de manejo adecuadas. (Fig. 7).

Figura 7. Distribución relativa de microplásticos en playas del oriente de El Salvador.



De acuerdo con los rangos de clasificación establecidos (1–100 ítems m^{-2}), la densidad de microplásticos en las playas estudiadas se categoriza como baja, lo que sugiere un entorno relativamente menos impactado o una gestión de residuos parcialmente efectiva. No obstante, esta concentración sigue representando una presión ambiental relevante.

El análisis estadístico mostró que, para el factor playas, el valor de F calculada (2.1768) fue menor que el valor crítico de F (2.8661), con un p-valor de 0.1087, superior al nivel de significancia ($\alpha = 0.05$). En consecuencia, no se rechaza la hipótesis nula, indicando que no existen diferencias estadísticamente significativas en los niveles de microplásticos entre las playas evaluadas.

En contraste, para el factor microplásticos, la F calculada (6.7365) superó el valor crítico de F (2.7109), con un p-valor de 0.0008, inferior a 0.05. Esto permitió rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alternativa, evidenciando diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de microplásticos analizados (Tabla 4).

Tabla 4. El coeficiente de correlación de Pearson de microplásticos encontrados en la arena de las playas del oriente del país.

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F calculada	Probabilidad	Valor crítico para F
Playas	87020.46667	4	21755.11667	2.176774922	0.108653537	2.866081402
microplasticos	336629.0667	5	67325.81333	6.736490743	0.000786608	2.710889837
Error	199883.9333	20	9994.196667			
Total	623533.4667	29				

4. DISCUSIÓN

La abundancia y composición de microplásticos registrada en las playas del oriente de El Salvador concuerda con patrones reportados para otras zonas del Pacífico tropical, donde los fragmentos suelen constituir la fracción dominante de los microplásticos en playas arenosas. Este predominio ha sido ampliamente asociado a procesos de fragmentación secundaria de plásticos de mayor tamaño, favorecidos por la radiación solar, la acción mecánica del oleaje y la abrasión del sedimento. En este estudio, la abundancia media registrada ($21,9 \text{ ítems m}^{-2}$) se encuentra dentro del rango reportado para zonas costeras a escala global, donde valores superiores a 20 partículas m^{-2} son frecuentes en playas arenosas (Thiel et al., 2003). Esta coincidencia sugiere que la contaminación por microplásticos en las playas del oriente de El Salvador no constituye un caso aislado, sino que responde a una problemática ambiental ampliamente distribuida.

Los resultados evidencian una clara dominancia de los fragmentos, que representaron el 69,27 % del total de microplásticos identificados. Este patrón concuerda con numerosos estudios realizados en ambientes costeros y marinos, donde los fragmentos son consistentemente el tipo más abundante (Barnes et al., 2009; Cole et al., 2011; Ostin et al., 2020). La predominancia de esta categoría se asocia a la fragmentación

progresiva de plásticos de mayor tamaño, resultado de la exposición prolongada a radiación ultravioleta, abrasión mecánica y acción del oleaje, procesos característicos de ecosistemas costeros dinámicos como los del Pacífico oriental.

La presencia relevante de microplásticos en playas con mayor actividad turística y pesquera refuerza la influencia de la presión antropogénica como factor determinante en su acumulación. Este patrón ha sido ampliamente documentado en regiones como el Caribe, el Mediterráneo y otras zonas tropicales, donde la densidad de microplásticos aumenta en áreas con intensa actividad humana (Graça et al., 2017; De-la-Torre et al., 2019). Sin embargo, el análisis estadístico realizado en este estudio no evidenció diferencias significativas entre playas ($p > 0,05$), lo que sugiere una distribución relativamente homogénea del contaminante a lo largo del litoral oriental, posiblemente influenciada por procesos de transporte y redistribución costera.

Desde una perspectiva ecológica, la presencia de microplásticos en sedimentos de playa representa un riesgo potencial para la biota marina. Diversos estudios han demostrado que estos contaminantes pueden ser ingeridos accidentalmente por peces, moluscos, crustáceos y aves marinas, afectando procesos fisiológicos clave como el metabolismo, la reproducción y la supervivencia (Guzzetti et al., 2018). La ingestión de microplásticos también puede facilitar la transferencia de contaminantes químicos y microorganismos a lo largo de la cadena trófica, incrementando su impacto ecológico.

En cuanto al color, la predominancia de partículas blancas, verdes y azules coincide con lo reportado por Thompson et al. (2004) y Browne et al. (2007), quienes señalan que estos colores son frecuentes en residuos plásticos degradados y pueden aumentar la probabilidad de ingestión al ser confundidos con presas naturales por organismos marinos. Este aspecto resulta particularmente relevante en playas con alta biodiversidad, donde la interacción entre microplásticos y fauna bentónica es más probable.

Finalmente, la variabilidad observada al comparar los resultados de este estudio con otros trabajos regionales y globales pone de manifiesto una de las principales limitaciones en la investigación sobre microplásticos: la ausencia de metodologías estandarizadas para su muestreo, identificación y cuantificación. Hidalgo-Ruz et al. (2015) destacan que esta falta de protocolos uniformes dificulta la comparación entre estudios y limita la evaluación precisa de tendencias espaciales y temporales. En conjunto, los resultados confirman que incluso playas con baja densidad de microplásticos están expuestas a una presión ambiental constante, lo que refuerza la necesidad de monitoreos sistemáticos y estrategias preventivas en la región.

5. CONCLUSIONES

El presente estudio documenta la presencia y características de microplásticos en playas arenosas del oriente de El Salvador, proporcionando información cuantitativa sobre su abundancia, distribución espacial y composición morfológica. La ocurrencia de microplásticos en todas las playas evaluadas evidencia una presión ambiental persistente asociada a la contaminación por plásticos en estos ecosistemas costeros del Pacífico tropical. El predominio de fragmentos, junto con la baja frecuencia de pellets, sugiere que los microplásticos registrados se originan principalmente a partir de procesos de fragmentación secundaria de residuos plásticos de mayor tamaño, más que de fuentes industriales directas. Asimismo, las variaciones en la composición de tipos de microplásticos entre playas reflejan la influencia de fuentes locales y de la dinámica costera en su distribución. Los resultados obtenidos constituyen una línea base de referencia para la región oriental de El Salvador, útil para la comparación con estudios futuros y para la evaluación temporal de cambios en la abundancia y características de los microplásticos en playas arenosas. En este sentido, el estudio aporta información fundamental para el desarrollo de programas de monitoreo continuo, orientados a comprender la evolución espacial y temporal de la contaminación por microplásticos en el litoral del Pacífico salvadoreño

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Programa de estudios medioambientales de la vicerrectoría de investigación de la Universidad Gerardo Barrios y estudiantes voluntarios que apoyaron en este proceso hicieron posible las visitas a campo, a mis compañeros de campo y a todas las personas que nos abrieron las puertas durante las giras

El autor declara que está de acuerdo con esta publicación y que ha hecho aportes que justifican su autoría; que no hay conflicto de interés de ningún tipo; el investigador principal listado como autor en la presente investigación han participado activamente de manera evidenciable en al menos una etapa del proceso de investigación. Por lo que toma responsabilidad del contenido de la publicación científica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arriaza, J. S., G. C., E. P., & K. (2019). *Un Mar de Micro Plásticos en Chile: Propuestas para minimizar sus efectos en Salud y el Medioambiente*. Universidad San Sebastián, Facultad de Ingeniería y Tecnología. Santiago de Chile: Universidad San Sebastián. Retrieved from <https://es.scribd.com/document/610610640/Arriaza-et-al-2019-Un-Mar-de-Micro-Plasticos-en-Chile-propuestas-para-minimizar>

- Avio, C. G., Stefania, G., & Francesco, R. (2017). Plastics and microplastics in the oceans: From emerging pollutants to emerged threat. *Marine Environmental Research*, 128, 2-11. doi:10.1016/j.marenvres.2016.05.012
- Barnes, D. K., Galgani, F., Thompson, R. C., & Barlaz, M. (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philos. Trans. R. Soc.*, 364(1526), 1985–1998. doi:doi/10.1098/rstb.2008.0205
- Barraza, E. (2017). Medición de la cantidad de residuos plásticos pequeños en algunas playas de El Salvador. *Realidad Y Reflexión*, 17(45), 45–54. doi:10.5377/ryr.v0i45.4421
- Barraza, J. E., Christoph, R., Hernández, Á. A., Muñoz, R., & Büscher, W. C. (2021). Microplásticos en agua superficial de la costa. *Realidad Y Reflexión*, 54(21), 1-16.
- Browne, M. A., Galloway, T., & Thompson, R. (2007). Microplastic an emerging contaminant of potential concern. *Integr Environ Assess Manag.*, 3(4), 55-61. doi:10.1002/ieam.5630030412
- Castañeta, G., Gutiérrez, A., Nacaratte, F., & Manzano, C. (2020). Microplásticos: un contaminante que crece en todas las esferas ambientales, sus características y posibles riesgos para la salud pública por exposición. *Revista Boliviana de Química*, 37(3), 160-175.
- Christoph, R., Hernández, A. M., & Picardo, R. (2015). Microplásticos en El Salvador. *Nanotecnía*, 6.
- Claessens, M., Steven De Meester Lieve Van, L., Karen De, C., & Colin R, J. (2011). Occurrence and distribution of microplastics in marine sediments along the Belgian coast. *arine Pollution Bulletin*, 62(10), 2199-2204. doi:10.1016/j.marpolbul.2011.06.030
- Cole, M., Lindeque, P., Halsband, P., & Galloway, S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment. *Marine Pollution Bulletin*, 62(12), 2588-2597. doi:10.1016/j.marpolbul.2011.09.025.
- Cole, M., P, L., E, F., Claudia, H., Rhys, G., Julian, M., & Tamara S, G. (2013). Microplastic Ingestion by Zooplankton. *Environmental Science & Technology*, 47(12), 6646–6655. doi:10.1021/es400663f
- Cole, M., Pennie, L., Claudia, H., & Tamara, G. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. *Mar. Marine Pollution Bulletin*, 62(12), 2588-2597. doi:doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025
- Cózar, A., Echevarría, F., González-Gordillo, J. I., Ubeda, B., Henández-León, S., & Palma, A. (2014, June 30). Plastic debris in the open ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 111(28), 10239-10244. doi:10.1073/pnas.1314705111
- De-la-Torre, G. (2019). Microplásticos en el medio marino , una problemática que abordar. *Revista Ciencia y Tecnología*, 15(4), 27-37. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/338263789_Microplasticos_en_el_medio_marino_una_problematika_que_abordar
- Derraik, J. (2002). The pollution of the marine environment by plastic debris: a review. *Marine Pollution Bulletin*, 44(7), 842–852. doi:10.1016/s0025-326x(02)00220-5
- Díaz Domínguez, J. M., Sacasa, S., & K, d. C. (2019). Microplásticos en las costas del Pacífico de Nicaragua. *Revista Compromiso Social*, 1(2), 51–60. doi:10.5377/recoso.v1i2.13327
- Duncan, M., Fenster, M., Argow, B., & Buynovich, I. (2008). Coastal Impacts Due to Sea-Level Rise. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 36, 601–647. doi:10.1146/annurev.earth.35.031306.140139

Eliás R. (2015). Mar del plástico: una revisión del plástico en el mar. *Rev. Invest. Desarr. Pesq.*, 27, 83-105. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/313468624_Mar_del_plastico_una_revision_de_los_problemas_del_plastico_en_el_mar

Enrique, B. V. (2018). Hábitos alimentarios del bute, *Profundulus kreiseri* en cuerpos fluviales de El Salvador. *XVI Congreso Nacional de Ictiología, VII Simposio Latinoamericano de Ictiología*. Mérida, México.

Garrido, C., & López, L. (2010). Consecuencias del turismo de masas en el litoral de Andalucía (España). *Caderno Virtual de Turismo*, 1(10), 125-135.

Ghosh, J., Shouvik, C., & Debamanyu, D. (2023). El imperialismo climático en el siglo xx. *EL TRIMESTRE ECONÓMICO*, XC(357), 267-291. doi:10.20430/ete.v90i357.1785

Gómez Gaspar, A., Mata, E., Gómez, O., & Criales Hernández, M. I. (2025). Efectos de la variabilidad de la clorofila a y la temperatura (2002-2018) en capturas de sardina al suroriente de isla Margarita, Venezuela. *Boletín de Investigaciones Marinas y Costeras*, 9-32.

González, A., Daniel, T., & Ángel D, T. (2017). Las playas arenosas de Quintana Roo, México La diversidad de su fauna intermareal. *Revista de Biología Marina y Oceanografía*, 52(2), 361-373. doi:10.4067/S0718-19572017000200015

Graca, B., Szwec, K., Zakrzewska, D., Dołęga, A., & Szczerbowska-Boruchowska, M. (2017, marzo 1). Sources and fate of microplastics in marine and beach sediments of the Southern Baltic Sea a preliminary study. *Environmental Science and Pollution Research*, 7650–7661. doi:<https://doi.org/10.1007/s11356-017-8419-5>

Guzzetti, E., Sureda, A., Tejada, S., & Faggio, C. (2018). Microplastic in marine organism: Environmental and toxicological effects. *Environ Toxicol Pharmacol*, 64, 164-171. doi:10.1016/j.etap.2018.10.009

Hartman, G. (2008). Contribuciones al conocimiento de la región de esteros y manglares de El Salvador y su fauna de ostrácodos. *Revista Comunicaciones Científicas y Tecnológicas*, 115-147. Recuperado el 1 de Enero de 2022, de <https://revistas.ues.edu.sv/index.php/comunicaciones/article/view/832/753>

Hernández, R. R., & Díaz, A. A. (2018). Ecosistemas acuáticos. En conabio, *La biodiversidad en Chiapas* (págs. 45-57). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

Herrera, N. (2001). *Corredor Biológico Golfo de Fonseca El Salvador*. (Vol. 1). San Salvador. Recuperado el 1 de enero de 2022, de <https://docplayer.es/13861788-El-salvador-junio-2001-corredor-biologico-golfo-de-fonseca-el-salvador.html>

Hidalgo, R. V., Gutow, L. T., & Thiel, M. (2012). Microplastics in the Marine Environment A Review of the Methods Used for Identification and Quantification. *Environmental Science & Technology*, 46(6), 3060-3075. doi:10.1021/es2031505

Hidalgo-Ruz, Valeria, & Thiel, M. (2015). The Contribution of Citizen Scientists to the Monitoring of Marine. *Marine anthropogenic litter*, 433-451. doi:10.1007/978-3-319-16510-3_16

Imhof, k., Schmid, J., Niessner, R., Ivleva, N., & Laforsch, C. (2012). A novel, highly efficient method for the separation and quantification of plastic particles in sediments of aquatic environments.

Iñiguez, Conesa, M., Fullana, J., & A. (2016). Marine debris occurrence and treatment: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 64, 394-402. doi:10.1016/j.rser.2016.06.031

Ivar do Sul, J. A., & Costa, M. F. (2007). Marine debris review for Latin America and the Wider Caribbean Region: From the 1970s until now, and where do we go from here. *Marine Pollution Bulletin*, 54(8), 1087-1104. doi:doi.org/10.1016/j.marpolbul.2007.05.004

Kevudo, P. A. (2023). Los riesgos de la contaminación por microplásticos en el ecosistema acuático. En P. A. Kevudo, *Advances and Challenges in Microplastics* (pág. 242). Ghana.

Kovač, M. P., Koren, Š., Peterlin, M., Horvat, P., & Kržan, A. (2016). Protocol for Microplastics Sampling on the Sea Surface and Sample Analysis. *Journal of Visualized Experiments*, 118, 9. doi:10.3791/55161

León, D. P., Duque, F. F., & E. (2022). *Protocolo para la planificación, exploración, análisis e identificación de microplásticos en ríos*. Asociación Hombre y Territorio. Retrieved from <https://proyectolibera.org/storage/recursos/protocolo-muestreo-analisis-microplasticos-rios-proyecto-libera-hyt-web.pdf>

Liu, C., & Liu, C. (2024). Exploring Plastic-Management Policy in China: Status, Challenges and Policy Insights. *Sustainability*, 5, 9087. doi:10.3390/su15119087

López, M. M. (2022). *ABUNDANCIA Y DISTRIBUCIÓN DE MICROPLÁSTICOS EN EL PACÍFICO Y CARIBE DE COSTA RICA*. Universidad Católica de Valencia.

Lu, Y., Jingjing, Y., Xiaotian, L., Chao Su, Y., Zhang, C. W., Jilan Su, V., & Ittekkot. (2018). Major threats of pollution and climate change to global coastal ecosystems and enhanced management for sustainability. *Environmental Pollution*, 239, 670-680. doi:10.1016/j.envpol.2018.04.016

Lusher, A. (2015). Microplastics in the Marine Environment: Distribution, Interactions and Effects. *Springer International Publishing*, 1(10), 245-307. doi:DOI: 10.1007/978-3-319-16510-3_10

Monzó López, M. (2022). *Abundancia y distribución de microplásticos en el Pacífico y Caribe de Costa Rica*.

Nur Hazimah Mohamed Nor, J. P. (2014). Microplastics in Singapore's coastal mangrove ecosystems. *Marine Pollution Bulletin*, 79(1-2), 278-283. doi:10.1016/j.marpolbul.2013.11.025.

Olubusoye, B. S. (2023). Microplastics in Marine Environment. *Open Journal of Ecology*, 2023, 13, 931-955, 13, 931-955.

Ostín, G.-O., Díaz, L. F., Renan, P. C., & Marcelo, C. M. (2020). The impact of tourism on marine litter pollution on Santa Marta beaches, Colombian Caribbean. *Marine Pollution Bulletin*, 160, 111558. doi:10.1016/j.marpolbul.2020.111558

Ousmane, S., Adama, O., Yabyouré, M.-F., & Sawadogo, A. G. (2023). Microplastics in Marine Environment Occurrence, Distribution, and Extraction. *Open Journal of Ecology*, 13, 931-955. doi:10.4236/oje.2023.1312057

Quintanilla R, Amaya O, Vezzone M, Dos Anjos RM. (2025) Nivel de contaminación de microplásticos en playas de arena de cuatro ubicaciones en la costa de El Salvador, Centroamérica. *Environ Monit Assess.*; 197(5):550. <https://doi.org/10.1007/s10661-025-13991-x>

Rangel-Buitrago, N., Arroyo-Olarte, H., Trilleras, J., Andrea, A., Mantilla-Barbosa, Gracia C., Velez M, William J., Allan T. Anton M, (2021). Microplastics pollution on Colombian Central Caribbean beaches, *Marine Pollution Bulletin*, Volume 170, <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.112685>

Ryan, P. (2014). Litter survey detects the South Atlantic 'garbage patch'. *Marine Pollution Bulletin*, 79(1-2), 220-224. doi:10.1016/j.marpolbul.2013.12.010

- Schmitt, T. (1994). Degradación de la vegetación psamófila litoral de mallorca. *Boletín de la Sociedad de Historia Natural Baleares*, 37, 151-174.
- Seeley, M. E., AU - Song, B., Passie, R., & Hale, R. C. (2020). Microplastics affect sedimentary microbial communities and nitrogen cycling. *Nature Communications*, 11(1), 2372. doi:10.1038/s41467-020-16235-3
- SETAPLAN. (2013). *Diagnóstico de la franja costero-marino de El Salvador*.
- Shim, J., Sang, H. H., & Soeun, E. (2018). Marine Microplastics: Abundance, Distribution, and Composition. In E. Y. Zen, *An Emerging Matter of Environmental Urgency* (pp. 1-26).
- Thiel, M., Hinojosa, I., Vásquez, N., & Macaya, E. (2003). Floating marine debris in coastal waters of the SE-Pacific (Chile). *Marine Pollution Bulletin*, 46(2), 224-231. doi:10.1016/S0025-326X(02)00365-X
- Thompson, R., Olsen, Y., Mitchell, R., Davis, A., Rowland SJ, J. A., McGonigle, D., & Russell, A. (2004). Lost at sea: where is all the plastic? . *Science*, 304(5672), 1. doi:10.1126/science.1094559. PMID: 15131299
- Thompson, R., Ylva, O., Richard, M., Davis, A., Steven, J. R., Anthony W G, J., & Daniel, M. A. (2004). Lost at Sea: Where Is All the Plastic? *Science*, 304(5672), 838-838,10.1126/science.1094559. doi:10.1126/science.1094559
- Torrez-Pérez, K., Cervantes, O., Reyes-Gomez, J., & Olivos-Ortiz, A. (2020). Quantification and Classification of Microplastics (Mps) in Urban, Suburban, Rural and Natural Beaches of Colima and Jalisco. *Revista Costas*, 310.25267/Costas.2021.v2.i3.0903(1), 207 - 230. doi:10.25267/Costas.2021.v2.i3.0903
- Torruco, D., González-Solís, A., & AD, T. (2013). Las playas de Quintana Roo: sus riesgos y vulnerabilidad. *El Periplo Sustentable*, 24, 155-172. doi:10.4067/S0718-19572017000200015

SOBRE A ORGANIZADORA

La **Dra. Alda Rocío Ortiz Muñiz** es bióloga, maestra y doctora en Ciencias por la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Desde 1979 desarrolla actividades académicas y de investigación en la Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa (UAM-I), donde actualmente es Profesora Titular “C” de tiempo completo en el Departamento de Ciencias de la Salud de la División de Ciencias Biológicas y de la Salud. Es fundadora y responsable del Laboratorio de Biología Celular y Citometría de Flujo de la UAM-I. Sus principales líneas de investigación son: 1) el estudio de los efectos asociados con la desnutrición y la obesidad, con énfasis en alteraciones celulares, citogenéticas y genómicas; y 2) la aplicación de la citometría de flujo en investigación básica y clínica para el análisis de procesos celulares en diferentes condiciones fisiológicas y patológicas. Ha dirigido proyectos de investigación, tesis de licenciatura y posgrado, y ha contribuido a la formación de recursos humanos especializados en las áreas de nutrición, genética toxicológica, biología celular y citometría de flujo. Sus investigaciones se han centrado en el estudio de la inestabilidad genómica, la genotoxicidad y la evaluación de biomarcadores celulares en modelos experimentales y poblaciones humanas. Ha publicado artículos científicos, capítulos de libro y trabajos de divulgación, además de participar activamente en redes de colaboración académica. Fue Presidenta de la Sociedad Mexicana de Genética durante el periodo 2003–2005 y es integrante del Sistema Nacional de Investigadoras e Investigadores desde 1986. Actualmente cuenta con el nombramiento de Investigadora Nacional Nivel III.

<https://orcid.org/0000-0003-2501-2916>

ÍNDICE REMISSIVO

A

Abundância 98, 99, 102, 108, 109, 113, 114, 117, 119, 120, 121, 123, 125, 128

Abundancia de microplásticos 114, 117, 119

Actividad antimicrobiana 58, 63, 64, 65, 66

Antioxidant compounds 49, 50, 51

Apio 36, 37, 38, 41, 43, 46, 47

B

Biodegradable 58, 59, 66

Biodiversidad 68, 69, 72, 74, 78, 80, 116, 124, 127

Biomonitorio ambiental 2, 10

C

Capacidad antioxidante 36, 37, 38, 39, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 50, 57

Caribe 68, 69, 84, 116, 120, 124, 128

Citometría de flujo 2, 5, 12, 13, 15, 16, 17, 19, 20

Contaminación lumínica 68, 69, 70, 71, 72, 74, 75, 76, 78, 79, 80, 81

Contaminación por plásticos 114, 125

Costa de El Salvador 114, 128

Cultura institucional 22

Curriculum oculto 21, 22, 24, 25, 26, 27, 29, 30, 31, 32, 33

Cymbopogon citratus 58, 59, 60, 61, 62, 63, 65, 66, 67

D

Desnutrición 1, 2, 3, 5, 8

E

Educación superior 22, 23, 26, 34

F

Formación odontológica 22, 23, 31

G

Genotoxicidad 2, 3, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 15, 17, 20

Gobernanza ambiental 68

H

Hidrolato 58, 60, 61, 62, 63, 66

Hidroponía 83, 88, 95, 96

I

Ictiofauna subequatorial 98

Identidad profesional 22, 34

Inmature 50

Innovación social solidaria 83

Inseguridad alimentaria 83, 84, 86, 88, 89, 93, 94, 96, 97

M

Maceración 36, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 46, 62

Medio ambiente 59, 60, 82, 114

Micronúcleos 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17

Mugilidae 98, 104, 105, 109

P

Phenolic compounds 48, 49, 50, 51, 54

Política pública 68, 80, 96

Puerto Rico 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 111, 113

R

Ripe 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55

S

Sedimentos de playa 114, 124

Sequía 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 95, 96, 97

Socialización educativa 22

Sostenibilidad 68, 74, 79

T

Tamaulipas 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 95, 96, 97

U

Ultrasonido 36, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 46

