

Alda Rocío Ortiz Muñiz
(Organizadora)



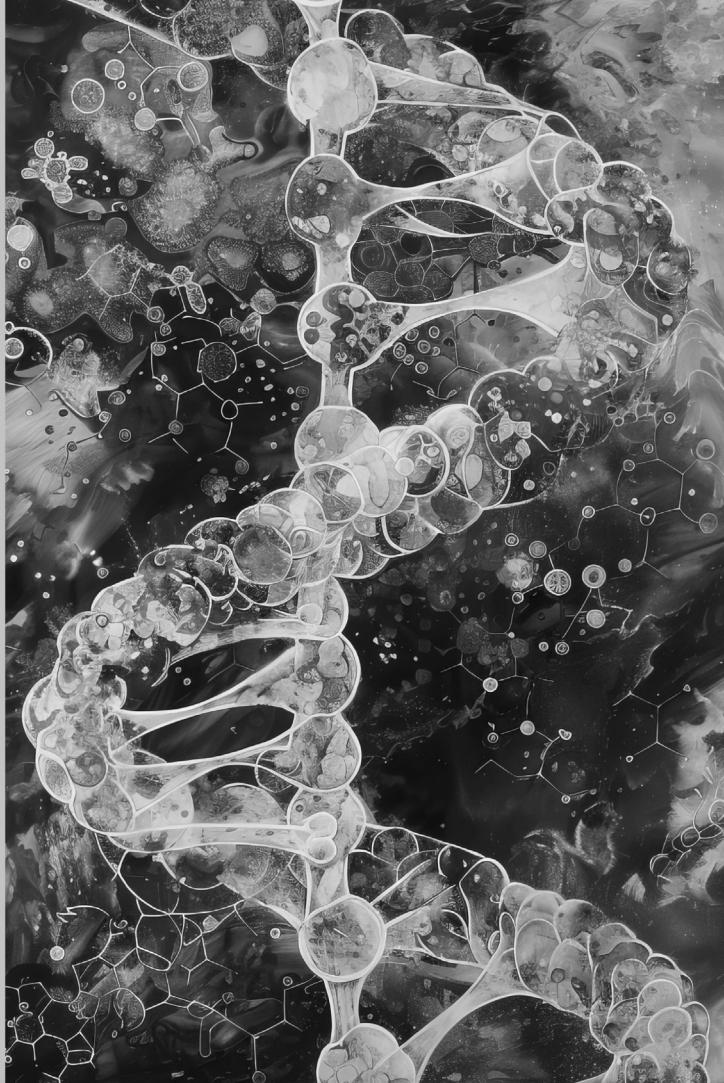
ESTUDOS EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E SUAS TECNOLOGIAS

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 biomonitorio 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; biomonitorio 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

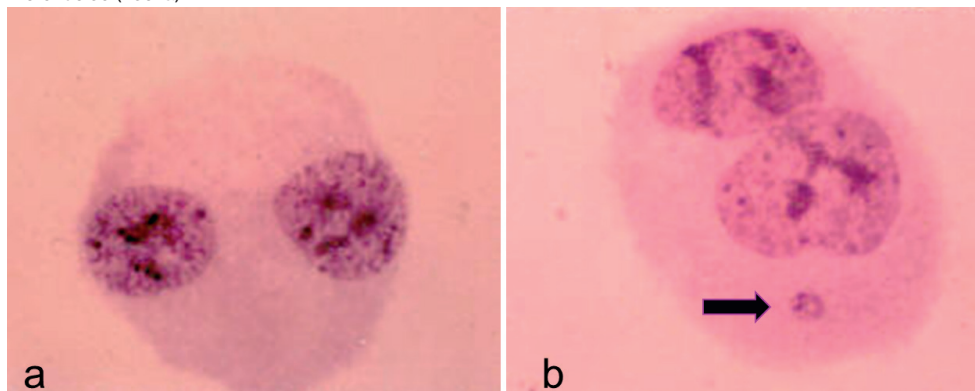
Por otro lado, la obesidad se ha vinculado con un incremento en el daño genético debido a un entorno metabólico caracterizado por inflamación crónica y estrés oxidante. Estudios recientes han mostrado que la frecuencia de MN aumenta conforme se incrementa el grado de obesidad, lo que sugiere una relación 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 ($\mu\text{mol}/\text{kg}$)	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 ($\mu\text{mol}/\text{kg}$)	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 $\mu\text{mol/kg}$ 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 T_{max} 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.

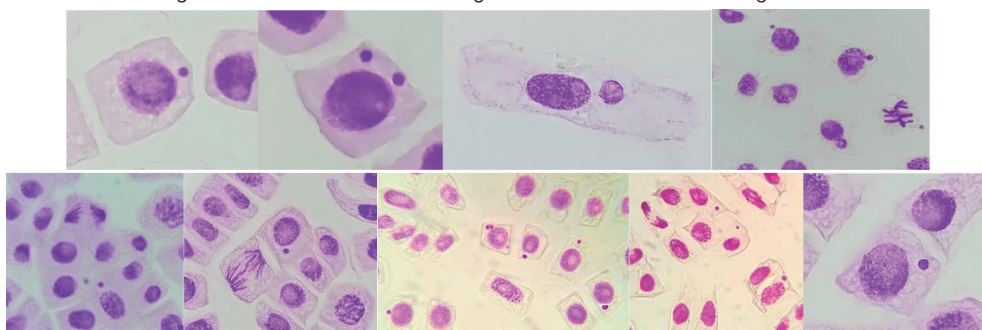
3. EL ENSAYO DE MICRONÚCLEOS EN PLANTAS EN EL MONITOREO DE LA GENOTOXICIDAD AMBIENTAL ^{5,6}

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

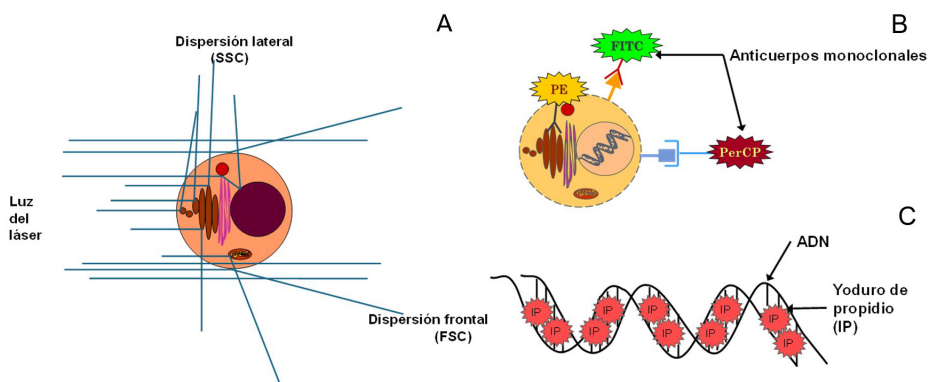
transformado el análisis de micronúcleos al ofrecer mayor rapidez, sensibilidad y capacidad de evaluación a gran escala.

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):

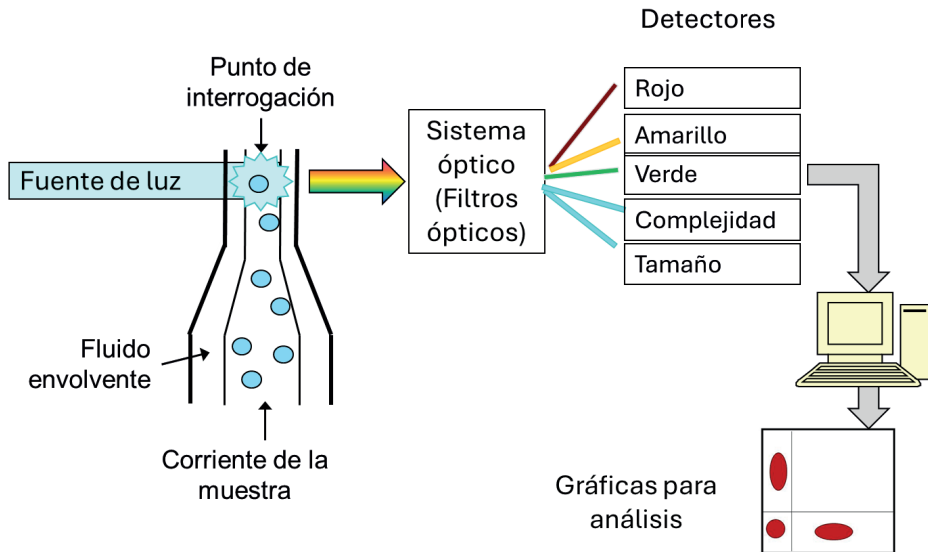
Fluidos: Este sistema se encarga de introducir y alinear las células para llegar al punto donde la luz incide sobre ellas (punto de interrogación).

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).

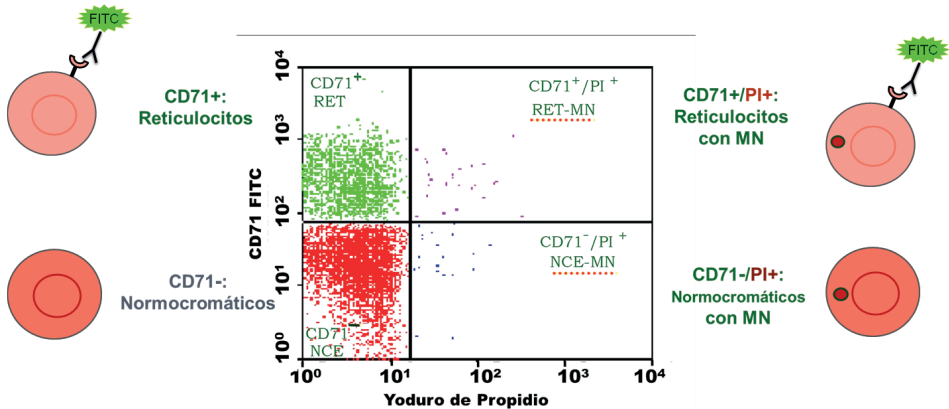
Se han desarrollado diferentes ensayos de micronúcleos que tiene características propias (Sommer et al., 2020). El ensayo de micronúcleos en eritrocitos de médula ósea y de sangre de hámster fue propuesto por Boller y Schmid (Hayasi, 2016). A partir de estos trabajos, se continuó desarrollando para realizarse 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 meristemos 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>

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

