

VOL VII

Estudos em Ciências Agrárias e Ambientais

Eduardo Spers
(Organizador)



EDITORA
ARTEMIS

2026

VOL VII

Estudos em Ciências Agrárias e Ambientais

Eduardo Spers
(Organizador)



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	Prof. ^a Dr. ^a Antonella Carvalho de Oliveira
Editora Executiva	M. ^a Viviane Carvalho Mocellin
Direção de Arte	M. ^a Bruna Bejarano
Diagramação	Elisangela Abreu
Organizador	Prof. Dr. Eduardo Eugênio Spers
Imagem da Capa	Bruna Bejarano, Arquivo Pessoal
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 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 M^ªGraça 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 agrárias e ambientais VII [livro eletrônico] /
Organizador Eduardo Eugênio Spers. – 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 978-65-82858-08-6

DOI 10.37572/EdArt_260626086

1. Ciências agrárias. 2. Ciências ambientais. 3.
Sustentabilidade. 4. Agricultura. I. Spers, Eduardo Eugênio.

CDD 630

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422



PRÓLOGO

As Ciências Agrárias e Ambientais ocupam um papel estratégico na compreensão e no enfrentamento dos desafios contemporâneos relacionados à produção de alimentos, à conservação dos recursos naturais, à sustentabilidade dos sistemas produtivos e à promoção da saúde e do bem-estar das populações. Em um contexto marcado pelas mudanças climáticas, pela crescente demanda por alimentos, pela necessidade de uso racional dos recursos naturais e pela incorporação de novas tecnologias aos processos produtivos, torna-se cada vez mais importante fortalecer a produção e a difusão do conhecimento científico voltado para o desenvolvimento sustentável.

É nesse cenário que se insere o volume **VII de Estudos em Ciências Agrárias e Ambientais**, reunindo contribuições de pesquisadores de diferentes instituições e países que abordam, sob múltiplas perspectivas, temas relevantes para a agricultura, o meio ambiente, a biotecnologia e a produção animal. A diversidade dos estudos aqui apresentados evidencia a natureza interdisciplinar das Ciências Agrárias e Ambientais e sua capacidade de integrar conhecimentos biológicos, tecnológicos, sociais e produtivos em busca de soluções para desafios complexos.

A obra inicia-se com reflexões relacionadas aos recursos naturais, à sustentabilidade e à saúde ambiental. Os trabalhos deste primeiro eixo destacam a importância da agroecologia como alternativa para reduzir os impactos dos pesticidas sobre a saúde humana e o meio ambiente, ao mesmo tempo em que analisam percepções e atitudes ambientais de estudantes, ressaltando o papel da educação na construção de uma consciência ecológica capaz de contribuir para sociedades mais sustentáveis.

Em seguida, o volume direciona seu olhar para a produção vegetal, a inovação e a sustentabilidade dos sistemas agrícolas. Os capítulos desta seção abordam estratégias voltadas ao manejo sustentável de cultivos, incluindo o uso de biofertilizantes, a aplicação de insumos orgânicos e inorgânicos, aspectos fisiológicos e bioquímicos de espécies agrícolas e florestais, bem como os desafios e oportunidades associados à Agricultura 4.0. Em conjunto, esses estudos evidenciam a busca por sistemas produtivos mais eficientes, resilientes e alinhados às demandas contemporâneas de sustentabilidade.

O terceiro eixo reúne pesquisas relacionadas à genética, à biotecnologia e ao melhoramento de cultivos, com destaque para estudos envolvendo híbridos de milho azul. Os trabalhos apresentados demonstram a relevância da caracterização físico-química, molecular e genômica para o desenvolvimento de materiais genéticos de interesse agrônomo, contribuindo para avanços no melhoramento vegetal e para a ampliação do conhecimento sobre recursos genéticos de elevado potencial produtivo e nutricional.

Por fim, a obra contempla estudos voltados à produção animal, à nutrição e aos sistemas aquícolas. Os capítulos discutem alternativas sustentáveis para a alimentação e o manejo de animais de produção, bem como estratégias inovadoras aplicadas à aquicultura, envolvendo o uso de probióticos, diferentes fontes de carbono e sistemas biofloc. Essas pesquisas reforçam a importância de práticas produtivas capazes de promover eficiência, saúde animal e sustentabilidade econômica e ambiental.

Ao reunir investigações que transitam entre a sustentabilidade ambiental, a produção agrícola, a inovação tecnológica, a biotecnologia e a produção animal, este volume reafirma o compromisso da comunidade científica com a geração de conhecimento aplicado e socialmente relevante. Mais do que apresentar resultados de pesquisa, os trabalhos aqui reunidos contribuem para o fortalecimento do diálogo entre ciência, tecnologia e sociedade, oferecendo subsídios para a construção de sistemas produtivos mais sustentáveis, eficientes e comprometidos com o futuro.

Esperamos que esta obra possa servir de fonte de consulta, reflexão e inspiração para pesquisadores, estudantes, profissionais e demais interessados nas Ciências Agrárias e Ambientais, estimulando novas investigações e contribuindo para o avanço do conhecimento científico na área.

Eduardo Eugênio Spers

Esalq/USP

SUMÁRIO

RECURSOS NATURAIS, SUSTENTABILIDADE E SAÚDE AMBIENTAL

CAPÍTULO 1..... 1

LA AGROECOLOGÍA COMO SOLUCIÓN A LOS PROBLEMAS DE SALUD RELACIONADOS CON EL USO DE PESTICIDAS

María José de Dios Duarte

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2606260861

CAPÍTULO 2.....25

ACTITUDES AMBIENTALES EN ESTUDIANTES DEL NIVEL MEDIO SUPERIOR AL NOROESTE DE TAMAULIPAS

Catalina Vargas Ramos

Graciela Hernández Moreno

Ma. De la Cruz Galindo Ceja

Alan León González Almaguer

Jorge Alejandro Gallegos de la Cruz

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2606260862

PRODUÇÃO VEGETAL, INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE DOS SISTEMAS AGRÍCOLAS

CAPÍTULO 3..... 34

BIOFERTILIZANTES COMO SUSTITUTO PARCIAL EN LA FERTILIZACION CONVENCIONAL DEL CULTIVO DE ARROZ EN EL CARIBE COLOMBIANO

Eliecer Miguel Cabrales Herrera

Laura Sofia Osorio Barcenas

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2606260863

CAPÍTULO 4..... 50

APLICACIONES DE ENMIENDAS ORGÁNICAS E INORGÁNICAS EN GRANADO (*Punica granatum* L.) 'WONDERFUL': CONCENTRACIÓN DE NUTRIENTES EN HOJA

Rosa María Yáñez Muñoz

Juan Manuel Soto Parra

Esteban Sánchez Chávez

Ana Lilia Santana Díaz

Laura Raquel Orozco Meléndez

Ramona Pérez Leal
Nubia Guadalupe Torres Beltrán
Julio César Oviedo Mireles

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2606260864

CAPÍTULO 5..... 69

MORPHOLOGICAL AND BIOCHEMICAL BEHAVIOR OF THE OLIVE TREE IN SEMI-ARID AREAS OF ALGERIA

Dhia Gharabi
Magheni Benchohra
Ahmed Bellhabib
Abdelkarim Hassani

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2606260865

CAPÍTULO 6.....87

EFFECT OF GIBBERELIC ACID AND SILVER NITRATE ON THE GERMINATION OF *PINUS PSEUDOSTROBUS* LINDL.

Diana Gisselle Calderón Mejías
Lourdes Georgina Iglesias Andreu
Laura Yasmin Flores López

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2606260866

CAPÍTULO 7.....97

DESARROLLO DE HABILIDADES DIGITALES EN LA AGRICULTURA 4.0: OPORTUNIDADES PARA AMÉRICA LATINA

Lourdes Mateos-Espejel

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2606260867

GENÉTICA, BIOTECNOLOGIA E MELHORAMENTO DE CULTIVOS

CAPÍTULO 8..... 113

CARACTERES FISICOQUÍMICOS Y ANTOCIANINAS EN SEMILLAS DE LOS GENOTIPOS PARENTALES DEL HÍBRIDO DE MAÍZ AZUL DRÁCULA H 13

José Luis Arellano-Vázquez
Germán Fernando Gutiérrez-Hernández
Martín Filiberto García-Mendoza
Estela Flores-Gómez

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2606260868

CAPÍTULO 9.....122

IDENTIFICACIÓN FÍSICA Y MOLECULAR DE LAS LÍNEAS Y CRUZAS QUE CONFORMAN AL HÍBRIDO DE MAÍZ AZUL VAMPIRO H10

Germán Fernando Gutiérrez-Hernández

José Luis Arellano-Vázquez

Estela Flores-Gómez

Aída Margarita Zamora-Contreras

Patricia Vázquez-Lozano

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2606260869

CAPÍTULO 10.....129

GENÓMICA Y POTENCIAL FISIOLÓGICO DE LAS SEMILLAS DE LOS PARENTALES DEL HÍBRIDO DE MAÍZ AZUL VAMPIRO H10

Germán Fernando Gutiérrez-Hernández

José Luis Arellano-Vázquez

Estela Flores-Gómez

Aída Margarita Zamora-Contreras

Patricia Vázquez-Lozano

 https://doi.org/10.37572/EdArt_26062608610

PRODUÇÃO ANIMAL, NUTRIÇÃO E SISTEMAS AQUÍCOLAS

CAPÍTULO 11.....136

ACEITES ESENCIALES Y ÁCIDOS ORGÁNICOS: ALTERNATIVA A LOS ANTIBIÓTICOS COMO PROMOTORES DE CRECIMIENTO EN LOS CERDOS

Elmer Bonilla-Valverde

Juan Manuel Romo-Valdez

Jesús José Portillo-Loera

Ana Mireya Romo-Valdez

Laura Francisca Espinoza-Aguirre

Javier Alonso Romo-Rubio

 https://doi.org/10.37572/EdArt_26062608611

CAPÍTULO 12.....162

COMPARACIÓN DE LA DENSIDAD Y POTENCIAL REPRODUCTIVO DE *Daphnia pulicaria* EN DIFERENTES FUENTES DE CARBONO CON LA INCORPORACIÓN DE LA BACTERIA *Burkholderia cepacia* COMO PROBIÓTICO

Jorge Castro Mejía

Germán Castro Mejía

María del Carmen Monroy Dosta
José Antonio Mata Sotres
Andrés Elías Castro Castellón
Arnulfo Misael Martínez Meingüer
José Alberto Ramírez Torrez

 https://doi.org/10.37572/EdArt_26062608612

CAPÍTULO 13..... 175

DENSIDAD POBLACIONAL Y POTENCIAL PRODUCTIVO DE *Daphnia magna* UTILIZANDO CINCO ALIMENTOS INERTES (SALVADO DE TRIGO, LEVADURA, FRIJOL, ARROZ Y RÁBANO) Y DOS MICROALGAS (*Chlorella vulgaris* y *Navicula spp*), EN TINAS DE 120L (20°±2°C) Y 180 L (23°±2°C)

Jorge Castro Mejía
Germán Castro Mejía
José Antonio Mata Sotres
María del Carmen Monroy Dosta
Andrés Elías Castro Castellón
Arnulfo Misael Martínez Meingüer
José Alberto Ramírez Torrez

 https://doi.org/10.37572/EdArt_26062608613

CAPÍTULO 14..... 190

COMPARACIÓN DEL CRECIMIENTO DE *Oreochromis niloticus* EN UN BIOFLOC INCORPORANDO LA BACTERIA *Burkholderia cepacia* Y CUATRO FUENTES DE CARBONO

Germán Castro Mejía
Jorge Castro Mejía
Andrés Elías Castro Castellón
Arnulfo Misael Martínez Meingüer
María del Carmen Monroy Dosta
José Antonio Mata Sotres
José Alberto Ramírez Torrez

 https://doi.org/10.37572/EdArt_26062608614

SOBRE O ORGANIZADOR.....205

ÍNDICE REMISSIVO206

CAPÍTULO 1

LA AGROECOLOGÍA COMO SOLUCIÓN A LOS PROBLEMAS DE SALUD RELACIONADOS CON EL USO DE PESTICIDAS

Data de aceite: 25/06/2026

María José de Dios Duarte

Facultad de Enfermería
Universidad de Valladolid
Valladolid, 47006, España

<https://orcid.org/0000-0002-0148-1331>

RESUMEN: El uso masivo de plaguicidas en la agricultura ha generado preocupaciones sobre su impacto en la salud humana, especialmente en la microbiota intestinal. Diversos estudios han demostrado que estas sustancias químicas alteran la composición y diversidad de los microorganismos intestinales, lo que puede desencadenar enfermedades metabólicas, inmunológicas y neurológicas. Entre los efectos más preocupantes se encuentran el aumento de la permeabilidad intestinal, el desarrollo de enfermedades autoinmunes, obesidad, diabetes tipo 2, alergias y trastornos neurológicos como el Parkinson y la depresión. Frente a este problema, la agroecología surge como una alternativa sostenible que permite reducir la dependencia de plaguicidas mediante prácticas agrícolas basadas en la biodiversidad, el uso de biopesticidas naturales y la regeneración del suelo. La implementación de cultivos diversificados,

la rotación de cultivos y el uso de abonos orgánicos no solo protegen el microbioma intestinal de los consumidores, sino que también promueven ecosistemas agrícolas más resilientes y saludables. Adoptar modelos agroecológicos no solo beneficia la salud humana, sino que también contribuye a la seguridad alimentaria y la conservación del medioambiente. La transición hacia una agricultura libre de plaguicidas es esencial para mitigar los efectos negativos en el microbioma intestinal y prevenir enfermedades crónicas asociadas a su alteración.

PALABRAS CLAVE: salud; microbioma intestinal; plaguicidas; agroecología.

AGROECOLOGY AS A SOLUTION TO HEALTH PROBLEMS RELATED TO PESTICIDE USE

ABSTRACT: The massive use of pesticides in agriculture has raised concerns about their impact on human health, especially on the intestinal microbiota. Several studies have shown that these chemicals alter the composition and diversity of intestinal microorganisms, which can trigger metabolic, immunological and neurological diseases. Among the most worrying effects are increased intestinal permeability, the development of autoimmune diseases, obesity, type 2 diabetes, allergies and neurological disorders such as Parkinson's and depression. In the face of this problem, agroecology is emerging

as a sustainable alternative that makes it possible to reduce dependence on pesticides through agricultural practices based on biodiversity, the use of natural biopesticides and soil regeneration. The implementation of diversified crops, crop rotation and the use of organic fertilisers not only protect consumers' gut microbiomes, but also promote more resilient and healthier agricultural ecosystems. Adopting agroecological models not only benefits human health, but also contributes to food security and environmental conservation. The transition to pesticide-free agriculture is essential to mitigate the negative effects on the gut microbiome and prevent chronic diseases associated with its alteration.

KEYWORDS: health; gut microbiome; pesticides; agroecology.

1. INTRODUCCIÓN

La agroecología es un enfoque agrícola que combina la agricultura sostenible con los principios de la ecología, así su objetivo es desarrollar sistemas de producción de alimentos que sean responsables con el medio ambiente. Desde el enfoque de la agroecología se prioriza el uso de recursos locales, la protección de la biodiversidad y la regeneración de los suelos de manera que ello permite crear sistemas agrícolas resilientes y autosuficientes (James, Wolff & Wittman, 2023).

Desde los albores de la agroecología se busca la biodiversidad, el aprovechamiento de recursos naturales y llevar a cabo prácticas que permitan la regeneración del suelo y reduzcan la dependencia de sustancias externas. Así se pretende que no se utilicen productos químicos, puesto que ello conlleva un impacto importante en la contaminación de suelos y aguas y también contribuye a la eliminación de la biodiversidad. Esta forma de cultivar repercute en la creación de entornos agrícolas más resistentes a eventos climáticos extremos y que pueden mantener la productividad a lo largo del tiempo sin hacer daño al ecosistema.

La agroecología no es algo de ahora, no se trata de una moda, ni tampoco es algo utópico que se genere en la mente de unas pocas personas idealistas. Se trata de un modo de vivir en contacto y armonía con la naturaleza existiendo un profundo respeto por la tierra, ya los ancestros la practicaban. En algunas zonas esto se ha mantenido y se sigue practicando a través del cultivo de los huertos. Se recoge en una época del año, se consume y también se embasa o guarda para disponer de esos alimentos en otra.

El término salud ha ido evolucionando a lo largo de los años. La Organización Mundial de la Salud en 1948 estableció que salud es el estado de completo bienestar físico, mental y social y no solamente la ausencia de enfermedad (Organización Mundial de la Salud, 1978). Así, se entiende por salud física el correcto funcionamiento del cuerpo según la fisiología. La salud mental como el estado de bienestar emocional, psicológico y

social implicando la manera de pensar, sentir y actuar los dos primeros, y la salud social como el apoyo percibido por las relaciones sociales con las que un individuo cuenta.

La definición de salud de 1948 conlleva la consideración de la salud por primera vez de una manera integral. Posteriormente, se han ido añadiendo otras dimensiones a estas tres definidas inicialmente. Entre ellas es importante destacar la dimensión espiritual y la emocional de manera independiente y no contenidas en las tres iniciales. La salud emocional se refiere al mundo interior del individuo, y es aquella necesaria para hacer frente a las situaciones de estrés, en la definición integral inicial de salud se consideraba como una parte de la salud mental, puesto que, se relaciona con la realidad intrapsíquica del sujeto. En lo relativo a la salud espiritual engloba el bienestar emocional y mental y está fundamentada en la búsqueda del propósito, sentido y significado de nuestra vida. La espiritualidad es algo que todas las personas precisamos, que deriva de la necesidad de responder a ciertas preguntas, quiénes somos, de dónde venimos, hacia dónde vamos serían algunos de ejemplos. Esta dimensión de la salud facilita la plenitud, paz, consuelo y permite tener esperanza, de modo que ante las situaciones complejas la persona se siente más capaz de afrontarlas.

A día de hoy se conoce que la permeabilidad de la membrana intestinal y su microbiota juegan un papel relevante en la salud y en la enfermedad. La microbiota está compuesta por los microorganismos vivos que habitan el intestino, incluyendo distintas especies nativas que colonizan permanentemente el tracto gastrointestinal y una serie de microorganismos vivos que varían. La microbiota asegura la estructura y el funcionamiento intestinal (Rajilić-Stojanović & De Vos, 2014). En primer lugar, la capa mucosa, que refleja el equilibrio entre la secreción de moco y la degradación bacteriana, constituye un obstáculo para la captación de antígenos y moléculas proinflamatorias. Y, en segundo lugar, algunas comunidades bacterianas pueden reforzar la barrera a nivel de las uniones estrechas, evitando así la penetración en el organismo de macromoléculas (antígenos). Además, la microbiota intestinal está involucrada en el desarrollo de células y tejidos, inhibiendo el crecimiento de células transformadas mientras promueve la reversión de las células neoplásicas a células no neoplásicas (Álvarez et al., 2021).

La microbiota intestinal desempeña funciones esenciales para el mantenimiento de la salud, entre ellas funciones protectoras, estructurales y metabólicas. Así, contribuye directa o indirectamente a la estabilidad del organismo humano; actualmente su papel es incuestionable en la modulación del sistema inmune, la regulación del sistema nervioso, la síntesis de vitaminas, la defensa del intestino y el movimiento peristáltico (Prakash et al., 2011).

La alteración de la microbiota intestinal o disbiosis se ha relacionado con una mayor susceptibilidad a patologías intestinales, cardiovasculares, nerviosas, enfermedades como el cáncer, la fibromialgia o la esclerosis múltiple.

En el contexto del presente estudio y desde la perspectiva de la agroecología como un modelo de producción agrícola que contribuye a la promoción de la salud, se establece un contraste con la agricultura convencional, caracterizada por el uso de pesticidas y herbicidas. La exposición a estos compuestos químicos se ha vinculado con la inducción de mutaciones genéticas, así como con alteraciones en la composición de la microbiota intestinal, lo que puede tener repercusiones significativas en la salud humana y en el equilibrio ecosistémico (Ruiz Álvarez, Puig Peña & Rodríguez Acosta, 2010).

Los efectos disruptivos de varios pesticidas, organofosforados y neonicotinoides, sobre el epitelio intestinal y la composición de la microbiota intestinal han sido evidenciados en distintas investigaciones (Ma et al., 2021; Chen et al., 2025; Wei, Wang & Liu, 2023).

A partir de mi experiencia como profesional de la salud y del trabajo de investigación que desarrollo desde el año 2004 se plantea este trabajo.

El objetivo de este estudio es analizar las alteraciones en la salud humana derivadas de la exposición a plaguicidas, tanto en las personas directamente expuestas como en su descendencia en caso de gestación.

Se busca identificar los efectos fisiológicos, neurológicos y metabólicos asociados a dicha exposición, con el fin de comprender sus implicaciones a corto y largo plazo en la salud humana y en el desarrollo fetal.

Para abordar esta problemática se establecen los siguientes objetivos específicos:

- Analizar la evidencia científica sobre la relación entre la exposición a plaguicidas en cultivos agrícolas y las alteraciones de la salud de las personas
- Analizar la evidencia científica sobre la relación entre la exposición a plaguicidas en cultivos agrícolas y las alteraciones de la salud en modelos animales que presenten similitudes genéticas, biológicas y conductuales con los seres humanos
- Examinar las repercusiones en la salud humana y modelos animales derivadas de la disrupción de la microbiota intestinal, con especial énfasis en los cambios en la permeabilidad de la membrana intestinal y sus posibles implicaciones en enfermedades metabólicas, inmunológicas y neurológicas
- Diseñar propuestas de intervención orientadas a la reducción del impacto de los plaguicidas en la salud pública, mediante estrategias de regulación, alternativas sostenibles en la agricultura y medidas de prevención en poblaciones vulnerables.

- Para alcanzar los dos primeros objetivos específicos la pregunta de investigación de partida que planteo es la siguiente: ¿Qué alteraciones se producen en los seres humanos como consecuencia del uso de plaguicidas en el cultivo de alimentos?

Para concretar la evidencia científica disponible actual sobre esta pregunta de investigación se propone la utilización de trabajos de revisión sistemática. Este tipo de trabajos constituyen un resumen exhaustivo y objetivo de la investigación existente sobre un tema concreto. Además, proporcionan la mejor evidencia disponible en cuanto a la toma de decisiones en la práctica clínica y agrupan un gran número de estudios individuales en un único documento habiendo pasado y estado sujetas a una revisión crítica por parte de expertos en la materia.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Se llevó a cabo una revisión sistemática de la evidencia científica publicada, siguiendo las recomendaciones de la declaración PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses).

2.2. ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA

Se realizó una búsqueda de la evidencia científica existente desde el año 2018 hasta la actualidad en la base de datos Medline con el objetivo de recopilar la mayor información disponible con respecto al tema a tratar. Solo se incluyeron artículos publicados en inglés.

Debido al razonamiento expuesto y al estado del conocimiento disponible sobre la relación entre agroecología y salud esta revisión comenzó con un diseño de búsqueda en torno a estos dos conceptos: “agroecology” y “health”. Una vez realizadas las búsquedas relativas a cada uno de los términos se continuó haciendo uso del operador booleano “AND”. Se utilizó el algoritmo “agroecology” AND “health”. Posteriormente, se incluyó el operador booleano “OR” para excluir. Así, la sintaxis de búsqueda fue (“agroecology”) AND (“disease” OR “illness”). En base a la falta de resultados encontrados con este algoritmo se decidió ampliar la búsqueda especificando bacterias y pesticidas. La sintaxis en este caso fue (“agroecology” OR “pesticides” OR “herbicides”) AND (“disease” OR “illness”). Los resultados continuaron siendo escasos y no estaban relacionados con lo que queríamos indagar. Se dirigió la búsqueda utilizando “gut microbiota”. Así, la

sintaxis resultante de búsqueda fue (“agroecology” OR “pesticides” OR “herbicides”) AND (“disease” OR “illness” OR “gut microbiota”). El número encontrado de resultados fue muy numeroso y dispar. Se definió y dirigió nuevamente la búsqueda estableciendo la sintaxis final en (“pesticides” OR “herbicides” OR “plaguicidas”) AND (“gut microbiota”).

Los trabajos seleccionados fueron sólo revisiones sistemáticas, de tal modo que así garantizamos el máximo nivel de evidencia (Nivel I) correspondiente a evidencia científica obtenida de revisiones sistemáticas de todos los ensayos clínicos con asignación aleatoria relevantes.

Este trabajo se ha desarrollado desde finales de junio de 2024 a finales de agosto de 2024 y desde finales de enero de 2025 a mediados de marzo de 2025.

2.3. CRITERIOS DE ELEGIBILIDAD

Respecto a los criterios de inclusión fueron los siguientes:

- Artículos que fueran revisiones sistemáticas (Nivel I)
- Revisiones sistemáticas escritas en inglés
- Revisiones sistemáticas que tuvieran disponible el texto completo
- Revisiones sistemáticas relativas a alteraciones de la salud relacionadas con el uso de pesticidas
- Revisiones sistemáticas de estudios experimentales desarrollados con ratas y ratones

En lo relativo a los criterios de exclusión estos fueron:

- Revisiones sistemáticas que contuvieran evidencia relativa a contaminantes orgánicos persistentes
- Revisiones sistemáticas que contuvieran evidencia relativa a metales
- Revisiones sistemáticas que contuvieran sustancias disruptoras hormonales
- Revisiones sistemáticas que contuvieran sustancias plásticas
- Revisiones sistemáticas que contuvieran otras sustancias que no se encuentren entre el grupo de plaguicidas utilizados en la agricultura tradicional
- Revisiones sistemáticas que se hayan realizado en aves o animales que difieren mucho de las características del organismo humano

2.4. SELECCIÓN DE ARTÍCULOS

En primer lugar, se realizó una primera búsqueda haciendo uso de los algoritmos de búsqueda descritos en el apartado de estrategia de búsqueda, con el fin de conocer

la cantidad de publicaciones existentes y obtener así la mayor información posible para responder la pregunta de investigación establecida inicialmente.

Posteriormente, y de acuerdo con los criterios de inclusión y exclusión establecidos, se realizó una identificación de los artículos que resultaban interesantes para este trabajo. Para ello se llevó a cabo la lectura de los títulos y resúmenes de artículos.

A continuación, se llevó a cabo un cribaje. Se accedió al texto completo de los artículos preseleccionados y se realizó una lectura para determinar su idoneidad, descartándose aquellos que no estaban en la línea de la temática o que no presentaban conclusiones relativas a la pregunta de investigación establecida.

Finalmente, se seleccionaron los artículos para la realización de esta revisión de acuerdo a las recomendaciones de Galarza y Cruz (2024).

2.5. EXTRACCIÓN DE DATOS

Se extrajeron las siguientes variables de los artículos seleccionados: autores, año de publicación, pesticida, muestra y/o tipo de estudio, resultados o conclusiones dependiendo de si los resultados se repetían.

3. RESULTADOS

3.1. RESULTADOS DE LA SELECCIÓN DE ESTUDIOS

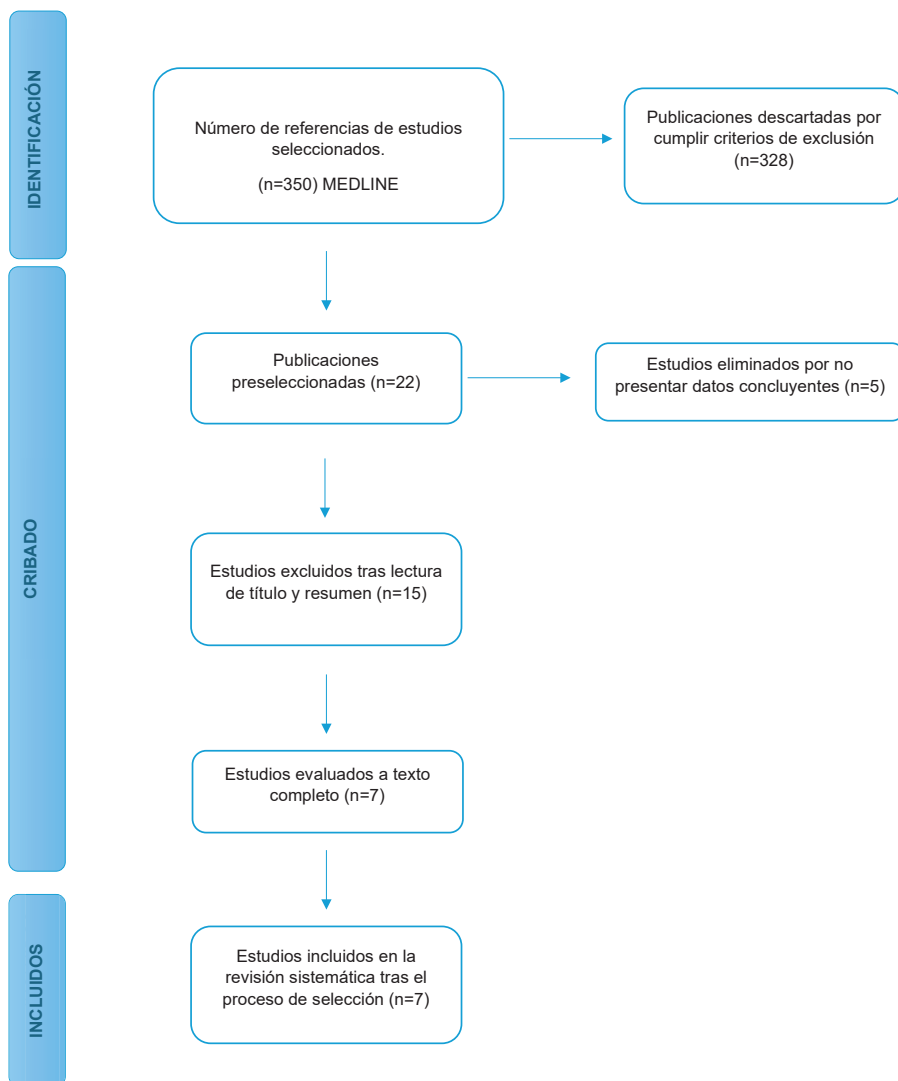
La búsqueda realizada por el algoritmo (“agroecology” OR “pesticides” OR “herbicides”) AND (“disease” OR “illness” OR “gut microbiota”) arrojó 10.850 resultados. Tras afinar la búsqueda haciendo uso de la sintaxis final establecida (“pesticides” OR “herbicides” OR “plaguicidas”) AND (“gut microbiota”) el número de trabajos encontrados fue de 350 artículos. Después y una vez considerados los criterios de elegibilidad establecidos los estudios seleccionados fueron 22.

A continuación, se llevó a cabo el cribado de los 22 artículos que restaban, descartándose 10 porque no se adaptaban exhaustivamente a la temática establecida para este trabajo y 5 por no presentar datos concluyentes.

Finalmente, se seleccionaron 7 artículos para la realización de esta revisión sistemática. El proceso de búsqueda se muestra en el diagrama de flujo (Figura 1).

Entre las 7 revisiones seleccionadas para la realización de este trabajo, 3 estudios proceden de Estados Unidos y 4 de Europa. Los datos más relevantes de las revisiones seleccionadas se presentan en la sección 3.2, “Síntesis narrativa de los estudios incluidos”.

Figura 1. Diagrama de flujo para la selección de estudios.



3.2. SÍNTESIS NARRATIVA DE LOS ESTUDIOS INCLUIDOS

Las revisiones incluidas en este trabajo permiten identificar una relación consistente entre la exposición a plaguicidas, las alteraciones del microbioma intestinal y la aparición de efectos metabólicos, inmunológicos y neurológicos. En conjunto, los estudios analizados incluyen evidencia procedente de investigaciones en humanos, especialmente en mujeres embarazadas y descendencia expuesta durante la gestación, así como estudios experimentales desarrollados en ratas y ratones:

3.2.1. Yue et al. (2024)

Analizaron distintos pesticidas, insecticidas, herbicidas y fungicidas, incluyendo β -HCH, mecarbam, glufosinato de amonio, una combinación de boscalid, captan, clorpirifos, tiacloprid, tiofanato y ziram, clorpirifos, nitenpyram, procimidona, fenvalerato, diclorodifeniltricloroetano, cipermetrina, triticonazol, flusilazol, clordecona, glifosato, paraquat, permetrina y endosulfán. Los estudios considerados incluyeron madres humanas, ratas progenitoras, crías de ratas, ratones padres y crías de ratones. En madres humanas expuestas a β -HCH y mecarbam se identificó pérdida de peso en la descendencia. En ratones padres expuestos a glufosinato de amonio se observaron anomalías del comportamiento, mientras que la exposición a la combinación de boscalid, captan, clorpirifos, tiacloprid, tiofanato y ziram se relacionó con obesidad y trastornos metabólicos. En crías de ratas expuestas a clorpirifos se identificaron hiperlipidemia e hipoglucemia en la descendencia femenina, alteraciones conductuales ante situaciones nuevas y cambios en la función de la glutamina y en la señalización del GABA en la amígdala. En crías de ratones, el clorpirifos se relacionó con interferencia en las neuronas del desarrollo. La exposición a nitenpyram en ratones padres se asoció con disminución de glucosa sérica en la descendencia femenina. En ratas progenitoras, la procimidona se vinculó con trastornos metabólicos y afectaciones neurológicas a lo largo de la vida; también se observaron trastornos metabólicos y alteraciones del neurodesarrollo en la descendencia, dependientes del sexo, en ratones padres. La exposición a fenvalerato en ratones padres aumentó el peso húmedo intrauterino, la altura de las células epiteliales luminales y los niveles de LH. El diclorodifeniltricloroetano se asoció con defectos en el neurodesarrollo de ratones macho, y la cipermetrina con alteraciones auditivas de aparición progresiva. En ratas progenitoras, el triticonazol y el flusilazol se asociaron con alteraciones endocrinas; en el caso del triticonazol, también se observaron cambios en la transcripción del genoma de genitales externos del feto masculino. La clordecona se vinculó con defectos y disminución del número de espermatozoides en ratones padres. El glifosato, en ratas progenitoras, se relacionó con enfermedad prostática, obesidad, enfermedad renal, alteraciones ováricas, anomalías en el parto y cambios vinculados con inflamación y genes de estrés oxidativo en el córtex y el cerebelo de la descendencia. El paraquat se asoció con aumento de peso en la edad adulta en descendientes de ratones. La permetrina produjo afectación negativa del microbiota intestinal en crías de ratones, mientras que el endosulfán se vinculó con trastornos metabólicos y obesidad en ratones padres. El clorpirifos en ratas progenitoras generó afectación negativa del microbiota intestinal, cambios profundos en el microbioma del ciego, translocación bacteriana en

hígado y bazo y una tasa de natalidad más baja. En crías de ratones se observó disbiosis temprana en la membrana intestinal y, en crías de ratas, modificaciones del microbioma, hiperlipidemia e hipoglucemia en descendencia femenina, alteraciones conductuales ante situaciones nuevas, reducción de la respuesta inmunitaria en hembras y asma. En conjunto, este estudio concluye que la exposición prenatal a pesticidas induce cambios en el microbioma intestinal, genera disbiosis e impacta la salud y el comportamiento, afectando cepas bacterianas clave y contribuyendo a fluctuaciones de peso, alteraciones en la homeostasis energética, síntomas neuroconductuales similares al autismo, bajo peso corporal, modificaciones en genes bacterianos asociados al metabolismo de carbohidratos y lípidos, anomalías conductuales, obesidad, trastornos metabólicos y alteraciones inmunológicas e inflamatorias.

3.2.2. Yang et al. (2023)

Analizaron la relación entre exposición a pesticidas, microbioma intestinal y trastorno del espectro autista. Entre los compuestos considerados se incluyeron glifosato, clorpirifos, piretroides, imidacloprid, diazinón y glufosinato de amonio. En estudios de casos y controles con embarazadas expuestas a glifosato, se observó un aumento del riesgo de trastorno del espectro autista en la descendencia de mujeres que vivían a menos de 2000 metros de zonas donde se utilizaban herbicidas. En ratas Sprague-Dawley, la exposición perinatal a glifosato produjo cambios en los comportamientos maternos y en la plasticidad neuronal, así como alteraciones en el comportamiento de la descendencia. En ratones ddY se observaron déficit cognitivo, déficit de interacción social y anomalías conductuales similares al trastorno del espectro autista en descendencia de ratones macho. En ratones suizos, el glifosato se asoció con déficit de interacción social, comportamiento estereotipado repetitivo, cambios morfológicos en células gliales residentes en el cerebro, reducción de la permeabilidad de la barrera hematoencefálica y alteración de la actividad de la acetilcolinesterasa. En mujeres embarazadas expuestas a clorpirifos, los estudios mostraron correlación positiva entre exposición materna y trastorno del espectro autista en la descendencia, asociación inversa entre exposición prenatal y desarrollo neuropsicológico específico en niños de 12 meses, aumento de rasgos autistas en niños de 11 años con exposición prenatal, mayor riesgo de trastorno del espectro autista cuando la exposición ocurrió durante el segundo o tercer trimestre del embarazo y aumento del riesgo conforme se incrementó la exposición. En ratas Sprague-Dawley, el clorpirifos produjo conductas típicas de fenotipos del trastorno del espectro autista, como deterioro de la comunicación social y conducta restringida

y repetitiva. En ratones BTBR, la exposición prenatal favoreció rasgos conductuales típicos del trastorno del espectro autista, incluyendo alteraciones en los dominios social y comunicativo, cambios en la vocalización ultrasónica y altos niveles de comportamientos repetitivos. En ratas Wistar se observaron hipermovilidad relacionada con el estrés, hipo o hipersensibilización de los sistemas colinérgico y GABAminérgico, aumento de la transcripción de la subunidad GABA-A-A2 y de los genes del receptor M2, inhibición de la acetilcolinesterasa, estimulación de la liberación de hormonas hipofisarias, inflamación sistémica y disminución de la capacidad de respuesta a la novedad social en la edad adulta, junto con déficits de comunicación similares a los del trastorno del espectro autista. En ratones C57BL/6, la exposición prenatal a clorpirifos se asoció con efectos negativos a largo plazo en el comportamiento social, disminución de la exploración de objetos desconocidos, afectaciones en el equilibrio excitatorio-inhibitorio y, en ratas *fmr1-KO*, exacerbación del fenotipo similar al trastorno del espectro autista. En relación con los piretroides, estudios en embarazadas indicaron que la exposición durante el tercer trimestre se asoció con mayores probabilidades de síntomas de trastorno del espectro autista; los niveles más altos de piretroides en orina también se vincularon con mayor riesgo en la descendencia. En ratas Wistar se observó pérdida de neuronas dopaminérgicas de la sustancia negra y, en ratones C57BL/6, inflamación neuronal. El imidacloprid se asoció en estudios de casos y controles con embarazadas con un aumento del 30% del riesgo de trastorno del espectro autista en la descendencia. El diazinón en ratones C57BL/6 produjo disminución de la regulación de neurotransmisores. El glufosinato de amonio en ratones ICR se relacionó con actividad locomotora dañada, comportamientos similares al trastorno del espectro autista y deterioro de la memoria a corto plazo. En conjunto, el estudio establece una relación entre alteración del microbioma intestinal, exposición a pesticidas, disbiosis, neurodesarrollo y manifestaciones conductuales asociadas al trastorno del espectro autista.

3.2.3. Gambarte y Wolansky (2022)

Analizaron la influencia de diversos insecticidas, herbicidas y fungicidas sobre el microbioma intestinal y las vías metabólicas. En ratones macho Kunming expuestos a clorpirifos se observó alteración de la composición del microbiota y de las vías metabólicas. En ratas macho Wistar expuestas al mismo compuesto se identificaron alteraciones en la composición del microbiota, aumento de patógenos oportunistas, asociación con obesidad, fenotipos de diabetes, alteraciones en células de los islotes pancreáticos, modificación de los mecanismos responsables del control de la respuesta inflamatoria

y alteraciones micro y macroestructurales en el intestino derecho. En ratones C57BL/6 expuestos a diazinón se observaron cambios en la composición del microbioma intestinal, en el metagenoma funcional y en las vías metabólicas, con diferencias según el sexo del animal. El monocrotopos se relacionó, en ratas CFT-Wistar, con cambios funcionales y morfológicos en el intestino y, en ratones BALB/c, con cambios en la expresión de genes vinculados a vías metabólicas, intolerancia a la glucosa y biotransformación de pesticidas. El aldicarb, en ratones C57BL/6, produjo alteraciones específicas del microbioma a lo largo de la exposición, dependientes del género bacteriano. La permetrina en ratas macho Wistar y crías lactantes se asoció con alteración de la composición del microbiota, reducción de géneros bacterianos beneficiosos y aumento de géneros bacterianos perjudiciales. El propamocarb produjo cambios en la composición del microbioma intestinal en ratones macho ICR siete días después del inicio de la exposición oral. El carbendazim alteró la composición del microbioma a los siete días en ratones macho ICR y C57BL/6, con aumento de bacterias nocivas y disminución de bacterias beneficiosas, así como variaciones de abundancia relativa según el género bacteriano. El epoxiconazol, en ratas hembra Sprague-Dawley, produjo alteraciones en la composición del microbioma, también dependientes del género bacteriano. El glifosato en ratas Sprague-Dawley generó disbiosis de la microbiota intestinal con efectos dependientes del sexo en todas las dosis examinadas. El herbicida 2,4-D en ratones macho C57BL/6 provocó aumentos y disminuciones de la abundancia microbiana relativa en función del género bacteriano. En conjunto, el estudio confirma que los pesticidas pueden reducir bacterias beneficiosas, aumentar bacterias perjudiciales y generar disbiosis intestinal, además de relacionarse con obesidad, diabetes, alteraciones inflamatorias, cambios genómicos, alteraciones morfológicas y funcionales intestinales, intolerancia a la glucosa y modificaciones en la biotransformación de pesticidas.

3.2.4. Djekkoun et al. (2021)

Analizaron los efectos de pesticidas organofosforados, organoclorados y benzimidazoles sobre la microbiota intestinal y el metabolismo. En ratas expuestas a clorpirifos se observó mayor número de bacterias nocivas, menor número de bacterias beneficiosas, aumento de flora potencialmente patógena y disminución de flora beneficiosa, junto con ausencia de impacto o aumento del peso corporal en adultos, baja masa corporal, menor longitud al nacer, cambios en los niveles de glucosa plasmática, alteraciones del perfil lipídico y diferencias significativas en el peso corporal. En ratones expuestos a clorpirifos se detectó aumento de flora potencialmente patógena,

disminución de flora beneficiosa y permeabilidad intestinal anormal. La exposición a diazinón en ratones produjo alteración de la composición del microbioma, deterioro del metabolismo energético, mayor receptividad de los machos a la translocación anormal y reducción del aumento del peso corporal. En ratones C57BL/6 expuestos a diazinón se observó aumento de flora potencialmente patógena, disminución de flora beneficiosa, aumento significativo de grasa corporal, hepática y epididimaria, así como elevación de triglicéridos y glucosa séricos. El monocrotopos se vinculó con aumento de flora potencialmente patógena, aumento de glucemia e intolerancia a la glucosa. Entre los organoclorados, el TCDF en ratas produjo disminución de flora beneficiosa, inflamación y alteraciones en la lipogénesis hepática, gluconeogénesis y glucogenólisis. El DDT en ratas se asoció con aumento de flora potencialmente patógena, disminución de flora beneficiosa, aumento de peso, incremento de glucosa e insulina en ayunas y metabolismo lipídico alterado. El PCP en ratones hembra produjo aumento de flora potencialmente patógena, disminución de flora beneficiosa y reducción del peso corporal. El CBZ en ratones se asoció con aumento de flora potencialmente patógena, disminución de flora beneficiosa, acumulación de lípidos hepáticos y aumento de triglicéridos, colesterol, HDL y LDL. En conjunto, el estudio evidencia que la exposición a pesticidas modula las poblaciones bacterianas y afecta la salud del huésped. La disbiosis inducida por estos compuestos se asocia con alteraciones semejantes a las del síndrome metabólico, translocación bacteriana, aumento de la permeabilidad intestinal, dismetabolismo microbiano, inflamación de bajo grado, desequilibrios en la homeostasis energética y mayor riesgo de patologías inflamatorias crónicas.

3.2.5. Utembe y Kamng'ona (2021)

Recogieron datos procedentes de otras revisiones, incluyendo estudios de casos y controles en humanos, estudios de cohorte en humanos y trabajos con ratas y ratones, centrados en glifosato, clorpirifos, piretroides, imidacloprid, diazinón y glufosinato de amonio. Este trabajo confirma la existencia de déficits cognitivos, disfunción de la capacidad motora, hipermovilidad relacionada con el estrés, disfunción de la interacción social, reducción de la capacidad de respuesta a la novedad social en adultos, deterioro de la memoria a corto plazo, cambios en conductas maternas y plasticidad neuronal, así como comportamiento estereotipado repetitivo. También se describen conductas similares a las del trastorno del espectro autista, cambios morfológicos en células gliales residentes en el cerebro, reducción de la permeabilidad de la barrera hematoencefálica, cambios en los niveles de ácidos grasos de cadena corta en el cerebro, regulación negativa

de neurotransmisores, inhibición de la acetilcolinesterasa, hipo o hipersensibilización de los sistemas colinérgicos y GABAérgicos, pérdida de neuronas dopaminérgicas de la sustancia negra e inflamación neuronal. Asimismo, se evidenció aumento de la transcripción de los genes de la subunidad GABA-A-A2 y del receptor M2, estimulación de la liberación de hormonas hipofisarias, inflamación sistémica mediada por TNF- y aumento del estrés oxidativo, lo que puede favorecer el envejecimiento y el desarrollo de enfermedades crónicas.

3.2.6. Meng et al. (2020)

Analizaron los efectos de distintos insecticidas y fungicidas sobre el microbioma intestinal, el metabolismo y la salud digestiva. El malatión, en ratones, produjo trastornos de la composición del microbiota intestinal y alteraciones genéticas relacionadas con la detección de quórum, aumento de la motilidad, patogenicidad y genes vinculados con los componentes de la pared celular. El diazinón se asoció con alteraciones del microbiota intestinal y trastornos del perfil metabólico. El clorpirifos produjo inflamación y permeabilidad intestinal anormal en ratones, resistencia a la insulina y obesidad; en ratas, se relacionó con retraso de la maduración del tracto digestivo. El diclorodifeniltricloroetano en ratas se asoció con aumento de peso y acumulación de lípidos. La permetrina en crías de rata generó discinesia y enfermedad intestinal. El carbendazim en ratones produjo trastornos del metabolismo lipídico e inflamación. El propamocarb se vinculó con trastornos del metabolismo de lípidos y ácidos biliares, trastornos del metabolismo enterohepático y posible enfermedad cardiovascular. El imazalil produjo inflamación del colon. El epoxiconazol en ratas se asoció con toxicidad hepática. El penconazol y sus enantiómeros, en ratones, produjeron trastornos del microbiota intestinal y perfiles metabólicos alterados. En conjunto, el estudio muestra que la exposición a pesticidas puede modificar la composición del microbioma intestinal y alterar la producción y función de metabolitos clave. Se identificaron trastornos metabólicos, resistencia a la insulina, obesidad, retraso en la maduración del tracto digestivo, alteración en la absorción de nutrientes, aumento de peso, acumulación de lípidos, inflamación, trastornos enterohepáticos, mayor riesgo cardiovascular, inflamación crónica del colon y toxicidad hepática.

3.2.7. Yuan et al. (2019)

Revisaron datos procedentes de otras revisiones y estudios con fluidos corporales humanos, ratones, ratones NOD, ratones macho adultos C57BL/6, ratas Sprague-Dawley,

estudios aleatorizados con mujeres embarazadas, estudios prospectivos aleatorizados en parejas madre-bebé, estudios doble ciego controlados con placebo en pacientes con diabetes tipo 2 y estudios de casos en humanos. Este trabajo concluye que los pesticidas pueden alterar la composición del microbioma intestinal y sus metabolitos. Los cambios en el microbioma y en sus metabolitos pueden causar efectos adversos en el huésped, afectando la transducción de señales extracelulares desde la membrana plasmática hacia la célula y a lo largo de la cadena intracelular, con impacto en la respuesta celular. Diferentes ácidos biliares pueden unirse a distintos receptores, lo que puede favorecer aterosclerosis, trastornos del metabolismo lipídico hepático y disbiosis por acumulación de grasa. Los ácidos grasos de cadena corta derivados de la fermentación microbiana de fibras pueden inhibir histonas deacetilasas y actuar como sustratos energéticos mediante la activación directa de receptores acoplados a proteína G. Su acción sobre receptores GPR en células grasas puede favorecer disbiosis por acumulación de grasa. Además, las células inmunitarias innatas activadas por bacterias endotóxicas pueden liberar citocinas proinflamatorias, induciendo inflamación de bajo grado e incluso inflamación neuronal. La alteración del equilibrio del microbioma intestinal y el aumento de la permeabilidad intestinal por la absorción de pesticidas constituyen factores de riesgo potenciales para la entrada de moléculas de mayor peso molecular, originando respuesta inflamatoria y, finalmente, inflamación de bajo grado. Asimismo, la acción de los ácidos grasos de cadena corta en el cerebro puede afectar el apetito y asociarse con obesidad y diabetes. En definitiva, los pesticidas pueden actuar sobre los microbios intestinales, alterar sus metabolitos, destruir la mucosa y las células intestinales, y provocar cambios patológicos al actuar sobre sitios receptores de diferentes tejidos y órganos.

3.3. EFECTOS DE LA EXPOSICIÓN A PESTICIDAS EN HUMANOS

Diversos estudios en humanos han evidenciado que la exposición a plaguicidas durante la gestación puede afectar al desarrollo fetal, generando una reducción en el peso al nacer. Así mismo, se ha identificado una asociación entre la proximidad de embarazadas a menos de 2000 metros de áreas donde se utilizan estos compuestos y un aumento del riesgo de trastorno del espectro autista en su descendencia. Este riesgo se incrementa con la magnitud de la exposición, siendo particularmente relevante durante el segundo y tercer trimestre de gestación, con un aumento del 30%. Además, se ha observado una correlación inversa entre la exposición prenatal a pesticidas y el desarrollo neuropsicológico, reflejada en la presencia de rasgos autistas en niños de 11 años expuestos in útero.

Por otro lado, la evidencia sugiere que la exposición a estos agentes químicos está relacionada con alteraciones metabólicas, incluyendo resistencia a la insulina y diabetes tipo 2, así como dislipemia, disfunción en la degradación de sustancias químicas, aterosclerosis, obesidad y trastornos del metabolismo de los lípidos en el hígado. También se ha reportado disbiosis intestinal vinculada a la acumulación de grasa. Añadido a ello es importante destacar la activación de la respuesta inflamatoria mediante la liberación de citocinas proinflamatorias y disfunciones en el sistema inmunológico.

En lo relativo al microbioma intestinal se produce alteración y disbiosis originando aumento de la permeabilidad en la membrana intestinal con todos los efectos que ello conlleva.

3.4. EFECTOS DE LA EXPOSICIÓN A PESTICIDAS EN MODELOS ANIMALES

3.4.1. Efectos de la exposición en ratas

Estudios en ratas han evidenciado múltiples alteraciones fisiológicas derivadas de la exposición a insecticidas y herbicidas. A nivel del sistema nervioso, se ha observado un incremento en la actividad de la vía excitatoria y una disminución en la actividad inhibitoria, junto con la pérdida de neuronas dopaminérgicas en la sustancia negra. En el ámbito endocrino y metabólico, se ha reportado un aumento de los niveles de insulina en ayunas, alteraciones en la función hepática que afectan la lipogénesis, gluconeogénesis, glucogenólisis y conducen a toxicidad hepática. Así mismo, se han identificado fenómenos como obesidad, incremento del peso corporal, mayor prevalencia de fenotipos de diabetes tipo 2 y disfunciones en los islotes pancreáticos con acumulación de lípidos.

Desde el punto de vista inmunológico, se ha evidenciado una disminución en la respuesta inmunitaria y alteraciones en los mecanismos que regulan la inflamación. A nivel intestinal, la exposición ha generado cambios estructurales y funcionales, con afectaciones micro y macroestructurales en el intestino derecho, reducción de géneros bacterianos beneficiosos, proliferación de especies potencialmente perjudiciales y un estado de disbiosis en el microbiota. Además, se han identificado efectos diferenciados según el sexo en todas las dosis analizadas.

Estos hallazgos sugieren que la exposición a estos compuestos podría tener un impacto significativo en la homeostasis de los sistemas nervioso, endocrino, inmunológico y gastrointestinal, lo que refuerza la necesidad de evaluar sus efectos en la salud humana.

3.4.2. Efectos de la exposición gestacional a pesticidas en la descendencia de ratas

Los estudios en crías de ratas cuyas madres fueron expuestas a pesticidas durante la gestación han revelado diversas alteraciones metabólicas, neurológicas y del desarrollo. A nivel metabólico, se ha identificado hiperlipidemia e hipoglucemia en la descendencia femenina, mientras que, a nivel neurológico, se han observado disfunciones que persisten a lo largo de la vida. Además, en fetos masculinos, se han reportado cambios en la transcripción del genoma de los genitales externos, así como un mayor riesgo de enfermedades prostáticas, obesidad y enfermedad renal.

El desarrollo del sistema digestivo también se ve afectado, evidenciándose retraso en la maduración del tracto gastrointestinal, discinesia y enfermedades intestinales. En el aparato reproductor, se han documentado alteraciones en los ovarios y anomalías en el parto. A nivel neuro inflamatorio y celular, la exposición prenatal se asocia con modificaciones en la respuesta inflamatoria y en la expresión de genes relacionados con el estrés oxidativo en el córtex y el cerebelo.

Así mismo, se han identificado alteraciones en el comportamiento de las crías, especialmente en su respuesta ante nuevas situaciones, con una exacerbación de fenotipos similares al Trastorno del Espectro Autista. Estos hallazgos refuerzan la evidencia de que la exposición prenatal a pesticidas puede tener efectos adversos a largo plazo en el desarrollo y la función fisiológica de la descendencia.

3.4.3. Efectos de la exposición en ratones

Los estudios en ratones han evidenciado que la exposición a pesticidas genera alteraciones significativas en el microbiota intestinal, incluyendo disbiosis y un incremento en la permeabilidad de la membrana intestinal. A nivel metabólico, se ha observado un deterioro del metabolismo energético, acompañado de reducción del aumento de peso en ambos sexos, disminución del peso corporal en hembras y translocación anormal, así como un aumento de la glucemia, intolerancia a la glucosa, acumulación de lípidos hepáticos y alteraciones en el perfil lipídico, con elevación de triglicéridos, colesterol, HDL y LDL.

Desde un enfoque genético y microbiológico, la exposición afecta la regulación del quorum sensing, aumentando la motilidad y patogenicidad bacteriana, junto con modificaciones en genes relacionados con la estructura de la pared celular y la biotransformación de pesticidas. Así mismo, se han registrado trastornos del metabolismo enterohepático, alteraciones en los ácidos biliares, resistencia a la insulina y una mayor inflamación sistémica, asociada a un mayor riesgo de enfermedad cardiovascular y colitis.

A nivel del sistema nervioso central, se ha constatado una disminución en la regulación de neurotransmisores, inflamación neuronal, deterioro en la actividad locomotora, alteraciones en la memoria a corto plazo y comportamientos similares al trastorno del espectro autista.

En términos de composición corporal, los ratones macho presentan una mayor susceptibilidad a la translocación anormal, junto con un incremento significativo en la grasa corporal, hepática y epididimaria. Se ha reportado también un aumento de los niveles séricos de triglicéridos y glucosa, así como una exacerbación de la intolerancia a la glucosa. Además, se han identificado cambios en la expresión génica vinculados con las vías metabólicas y la intolerancia a la glucosa.

Estos hallazgos sugieren que la exposición a pesticidas tiene un impacto multisistémico, afectando el metabolismo, la homeostasis inmune y la función neurológica, con consecuencias diferenciadas según el sexo y el tiempo de exposición.

4. DISCUSIÓN

El presente estudio tenía como objetivo inicial examinar la evidencia científica disponible sobre las alteraciones inducidas por los plaguicidas en los seres humanos. Para ello, se llevó a cabo una revisión de estudios empíricos realizados tanto en poblaciones humanas como de estudios experimentales en modelos animales que presentan similitudes genéticas, biológicas y conductuales con los seres humanos. Este enfoque permite prever los efectos de los plaguicidas en humanos bajo condiciones ambientales análogas a las establecidas en los ensayos experimentales realizados con animales.

A partir del análisis realizado en este trabajo de los estudios sobre pesticidas, se puede afirmar que la exposición a estos productos en seres humanos, especialmente durante la gestación, está asociada con efectos adversos en el desarrollo fetal, el metabolismo y la función del sistema inmunológico. Se trata de efectos negativos significativos en el desarrollo fetal, incluyendo el sistema neurológico, el metabolismo y el sistema inmunológico. Por otra parte, es importante resaltar la reducción del peso al nacer, que es un indicador conocido de posibles complicaciones en el desarrollo y la salud de los recién nacidos. Este dato es particularmente relevante dado que la reducción del peso al nacer está asociada con un mayor riesgo de enfermedades crónicas, como enfermedades cardiovasculares, metabólicas y neurológicas, a lo largo de la vida, también identificado en animales. La relación entre la exposición a pesticidas y el bajo peso al nacer sugiere que los compuestos químicos presentes en estos productos pueden interferir con los mecanismos biológicos normales del embarazo, afectando la nutrición

y el crecimiento fetal. Los estudios en modelos animales descritos en la Tabla 1 son coincidentes con estos resultados.

Por otra parte, es importante destacar la relación entre la exposición a pesticidas y el aumento de la probabilidad de desarrollar trastorno del espectro autista, fundamentalmente cuando la exposición ocurre durante el segundo y tercer trimestre de la gestación. El hallazgo de que el riesgo aumenta en un 30% durante estos períodos en la gestación sugiere que los efectos de la exposición prenatal no son simplemente coincidencias dado que también se alinean con las investigaciones que se han llevado a cabo en modelos animales. Además, la identificación de rasgos del espectro autista en niños de 11 años como consecuencia de la exposición prenatal a pesticidas evidencia que los efectos de estos compuestos no se limitan al corto plazo. Dichos efectos, que se manifiestan en la infancia tardía, tienen implicaciones significativas para el desarrollo neuropsicológico a largo plazo. Estudios en modelos animales han corroborado esta relación, lo que añade una dimensión alarmante a la problemática. No solo se ve comprometido el bienestar inmediato del feto, sino que también se afectan de manera sustancial las funciones cognitivas y emocionales del individuo durante su crecimiento y en la vida adulta.

La asociación de la exposición a plaguicidas con resistencia a la insulina, diabetes tipo 2, obesidad y dislipemia señala un patrón característico de trastornos metabólicos que afectan a una parte significativa de la población mundial, especialmente en sociedades occidentales. La resistencia a la insulina es uno de los mecanismos centrales en el desarrollo de la diabetes tipo 2, se ha asociado con la inflamación crónica de bajo grado y el estrés oxidativo, factores que se mencionan como consecuencias de las alteraciones en el metabolismo en el caso de los estudios realizados en ratas y ratones. Esto puede implicar que los trastornos metabólicos no son solo el resultado de un exceso calórico, sino también de un contexto inflamatorio subyacente que dificulta la acción de la insulina y exacerba la acumulación de grasa en diferentes tejidos.

En lo relativo a los trastornos hepáticos y la acumulación de grasa en el hígado sugiere que podría existir enfermedad hepática grasa no alcohólica, una condición cada vez más prevalente y que está vinculada con la obesidad y el síndrome metabólico. Esta acumulación de grasa, además de ser un marcador de un trastorno metabólico, puede predisponer al hígado a un daño más severo, como la fibrosis hepática y, eventualmente, la cirrosis. Los efectos de esta disfunción hepática en el metabolismo sistémico deben ser considerados en el contexto de la dislipemia, ya que el hígado juega un papel central en el metabolismo de las grasas y su liberación en la sangre.

También está intrínsecamente relacionado con los trastornos metabólicos anteriores, la aterosclerosis, el proceso de acumulación de placas de colesterol en las arterias, es una de las principales causas de enfermedades cardiovasculares. El vínculo entre la dislipemia, la resistencia a la insulina y la aterosclerosis subraya cómo las alteraciones en el metabolismo de las grasas y la glucosa pueden contribuir a la enfermedad cardiovascular, que continúa siendo la principal causa de mortalidad en muchas regiones del mundo. Los estudios en modelos animales también han puesto de manifiesto estas alteraciones.

En cuanto al impacto de la activación de la respuesta inflamatoria y la liberación de citocinas proinflamatorias en la salud es otro aspecto que resaltar. La inflamación crónica de bajo grado es una característica común en muchas enfermedades metabólicas y se cree que juega un papel fundamental en la progresión de la resistencia a la insulina y la obesidad. Las citocinas proinflamatorias, como la interleucina-6 (IL-6) y el factor de necrosis tumoral alfa (TNF- α), son conocidas por alterar la señalización de la insulina y contribuir al daño tisular. Esta activación inflamatoria no solo afecta el metabolismo, sino que también puede tener efectos sistémicos en los órganos y tejidos, exacerbando las enfermedades cardiovasculares y la disfunción endotelial.

En lo concerniente a la disbiosis intestinal, producida por el desequilibrio en el microbioma intestinal, se ha demostrado que está vinculada con diversas enfermedades metabólicas, como la diabetes tipo 2, la obesidad y la enfermedad hepática también en los modelos animales. Por otra parte, la disbiosis intestinal induce una mayor permeabilidad intestinal, de manera que permite la translocación de endotoxinas bacterianas al torrente sanguíneo. Estas endotoxinas activan el sistema inmunológico, amplificando la respuesta inflamatoria, y contribuyen a la resistencia a la insulina y a la acumulación de grasa en el organismo. También y como consecuencia de la disbiosis puede resultar un daño estructural en el intestino, afectando la absorción de nutrientes y la protección contra patógenos. La disbiosis está asociada con una amplia gama de trastornos, incluyendo enfermedades digestivas, trastornos metabólicos, infecciones y enfermedades autoinmunes, lo que refuerza la noción de que los pesticidas pueden tener un impacto sistémico en la salud intestinal y más allá.

Este fenómeno de permeabilidad intestinal incrementada está siendo cada vez más estudiado por su relación con enfermedades metabólicas y autoinmunitarias. La idea de que el microbioma intestinal juega un papel central en la regulación metabólica y en la inflamación sistémica es un área emergente de la investigación. La alteración del equilibrio microbiano intestinal puede contribuir a un círculo vicioso de inflamación crónica

e interferir con las funciones metabólicas normales, aumentando la susceptibilidad a trastornos como la obesidad y la diabetes y también a trastornos autoinmunes.

El daño hepático, junto con un mayor riesgo de enfermedades inflamatorias como la colitis y la enfermedad cardiovascular, destaca la influencia negativa de los pesticidas sobre la salud general, particularmente en órganos clave como el hígado y el sistema cardiovascular.

Respecto a los estudios en modelos animales son cruciales para entender los efectos biológicos y fisiológicos de la exposición a pesticidas, ya que ofrecen información valiosa sobre los mecanismos subyacentes que podrían tener implicaciones en la salud humana. El análisis de los efectos de la exposición a pesticidas en modelos animales, como ratas y ratones, revela una serie de alteraciones fisiológicas en diversos sistemas biológicos, que abarcan desde el sistema nervioso hasta el inmunológico y el gastrointestinal. Estos estudios no solo subrayan los impactos directos de los pesticidas, sino también las posibles repercusiones a largo plazo sobre la salud y el bienestar de los seres vivos, incluidos los humanos.

Los estudios expuestos en la tabla 1 respaldan los resultados de los estudios empíricos realizados en humanos y ponen en relevancia los efectos adversos de los pesticidas en ratas adultas, ratones y en la descendencia de ambos cuando están expuestos durante la gestación.

5. CONCLUSIONES

En resumen, respecto a los resultados encontrados en humanos se destacan los efectos metabólicos, sistémicos e inmunológicos interconectados que afectan la salud humana. La resistencia a la insulina, la dislipemia, la inflamación crónica y la disbiosis intestinal representan factores de riesgo interrelacionados que requieren una atención multidisciplinaria para su tratamiento y prevención. El estudio de estos procesos patológicos no solo ofrece perspectivas sobre las enfermedades metabólicas, sino que también abre un campo de investigación para la intervención en el microbioma intestinal y la modulación de la respuesta inflamatoria como estrategias clave.

Se ha evidenciado que los pesticidas generan efectos adversos en el sistema inmune, nervioso y el microbioma intestinal, lo que puede contribuir a enfermedades inflamatorias, metabólicas y degenerativas del sistema nervioso central. Los efectos sobre el desarrollo fetal pueden predisponer a enfermedades crónicas en la vida adulta y también en el neurodesarrollo, disbiosis intestinal en etapas tempranas, obesidad y otros trastornos metabólicos y endocrinos.

Ante lo expuesto anteriormente se evidencia la necesidad de implementar políticas públicas que regulen la exposición a estos compuestos para proteger la salud humana en el corto y largo plazo. Existe consenso respecto a los estudios que demuestran la relación entre la exposición a pesticidas y una variedad de efectos adversos, las políticas públicas que abordan este problema siguen siendo insuficientes en muchos países.

Se abre así un debate más amplio sobre la regulación y el control de estos productos. Si bien los estudios epidemiológicos han demostrado efectos negativos claros, la adopción de políticas públicas que restrinjan o regulen el uso de pesticidas en áreas agrícolas, en particular aquellas cercanas a zonas residenciales, siguen siendo un desafío.

A pesar de la evidencia científica, persisten intereses económicos y políticos que dificultan una regulación más estricta, lo que obliga a preguntarnos: ¿Hasta qué punto los intereses comerciales pueden prevalecer sobre el bienestar de la población?

Esta es una pregunta crucial que resolver, el impacto económico desde esta perspectiva es significativo, ya que los costes asociados a los efectos generados incluyen no solo el gasto en atención socio sanitaria y terapias especializadas, sino también la posible reducción en la capacidad productiva y la calidad de vida de los individuos afectados. Esto subraya la necesidad de políticas públicas orientadas a la regulación del uso de pesticidas y a la implementación de estrategias preventivas que minimicen los riesgos para la salud pública y el desarrollo infantil. La consideración del impacto económico desde este punto de vista es grande, por tanto, los legisladores, los profesionales de la salud y la sociedad en general deben reconocer y conocer la importancia de reducir la exposición a pesticidas.

Esto debería implicar la implementación de políticas más estrictas sobre el uso de pesticidas en la agricultura, el establecimiento de límites más bajos para la exposición ocupacional y la educación sobre los riesgos asociados con estos productos. Además, se deben promover alternativas más seguras y sostenibles en la agricultura, como el uso de pesticidas orgánicos y técnicas de control biológico.

La agroecología debería considerarse como la respuesta al problema planteado puesto que, al promover prácticas agrícolas basadas en principios ecológicos, reduce la dependencia de agroquímicos sintéticos y fomenta el equilibrio natural de los ecosistemas agrícolas. Además, esta forma de cultivo fortalece la seguridad alimentaria y la calidad nutricional de los alimentos al evitar la acumulación de residuos tóxicos en los productos agrícolas que dan lugar a trastornos endocrinos, alteraciones neurológicas, disbiosis y enfermedades autoinmunes. Su enfoque integral, basado en la interacción armónica entre

la agricultura y los ecosistemas naturales, permite avanzar hacia modelos de producción sostenibles que protejan tanto el bienestar de las personas como la biodiversidad.

La protección de las futuras generaciones frente a estos riesgos debe ser una prioridad en las agendas de salud pública a nivel global.

REFERENCIAS

Álvarez, J., Real, J. M. F., Guarner, F., Gueimonde, M., Rodríguez, J. M., de Pipaon, M. S., & Sanz, Y. (2021). *Microbiota intestinal y salud. Gastroenterología y Hepatología*, 44(7), 519-535.

Chen, Y., Deng, Y., Wu, M., Ma, P., Pan, W., Chen, W., Zhao, L., & Huang, X. (2025). Impact of pesticides exposure and type 2 diabetes risk: a systematic review and meta-analysis. *Endocrine*, 87(2), 448–458.

Djekoun, N., Lalau, J. D., Bach, V., Depeint, F., & Khorsi-Cauet, H. (2021). Chronic oral exposure to pesticides and their consequences on metabolic regulation: Role of the microbiota. *European Journal of Nutrition*, 60(8), 4131-4149.

Galarza, C. R., & Cruz, P. G. (2024). Guía para realizar estudios de revisión sistemática cuantitativa. *CienciaAmérica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*, 13(1), 1-6.

Gambarte, P. C. K., & Wolansky, M. J. (2022). The gut microbiota as a biomarker for realistic exposures to pesticides: A critical consideration. *Neurotoxicology and Teratology*, 91, 107074.

Gillois, K., Lévêque, M., Théodorou, V., Robert, H., & Mercier-Bonin, M. (2018). Mucus: An Underestimated Gut Target for Environmental Pollutants and Food Additives. *Microorganisms*, 6(2), 53. <https://doi.org/10.3390/microorganisms6020053>

Groh, K. J., Geueke, B., & Muncke, J. (2017). Food contact materials and gut health: Implications for toxicity assessment and relevance of high molecular weight migrants. *Food and Chemical Toxicology*, 109, 1-18.

James, D., Wolff, R., & Wittman, H. (2023). Agroecology as a philosophy of life. *Agriculture and Human Values*, 40(4), 1437-1450. doi:<https://doi.org/10.1007/s10460-023-10455-1>

Ma, X., Zhang, Y., Guan, M., Zhang, W., Tian, H., Jiang, C., Tan, X., & Kang, W. (2021). Genotoxicity of chloroacetamide herbicides and their metabolites *in vitro* and *in vivo*. *International journal of molecular medicine*, 47(6), 103.

Meng, Z., Liu, L., Yan, S., Sun, W., Jia, M., Tian, S., ... & Zhu, W. (2020). Gut microbiota: a key factor in the host health effects induced by pesticide exposure?. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 68(39), 10517-10531.

Organización Mundial de la Salud (1948). *Carta Constitucional*. Aprobada en 1948.

Prakash, S., Rodes, L., Coussa-Charley, M., & Tomaro-Duchesneau, C. (2011). Gut microbiota: next frontier in understanding human health and development of biotherapeutics. *Biologics: targets and therapy*, 71-86.

Rajilić-Stojanović, M., & De Vos, W. M. (2014). The first 1000 cultured species of the human gastrointestinal microbiota. *FEMS microbiology reviews*, 38(5), 996-1047.

Roberts, J. R., Dawley, E. H., & Reigart, J. R. (2019). Children's low-level pesticide exposure and associations with autism and ADHD: a review. *Pediatric research*, 85(2), 234-241.

Ruiz Álvarez, V., Puig Peña, Y., & Rodríguez Acosta, M. (2010). Microbiota intestinal, sistema inmune y obesidad. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 29(3), 364-397.

Utembe, W., & Kamng'ona, A. W. (2021). Gut microbiota-mediated pesticide toxicity in humans: Methodological issues and challenges in the risk assessment of pesticides. *Chemosphere*, 271, 129817.

Wei, Y., Wang, L., & Liu, J. (2023). The diabetogenic effects of pesticides: evidence based on epidemiological and toxicological studies. *Environmental Pollution*, 331, 121927.

Yang, Y., Zhou, S., Xing, Y., Yang, G., & You, M. (2023). Impact of pesticides exposure during neurodevelopmental period on autism spectrum disorders—A focus on gut microbiota. *Ecotoxicology and environmental safety*, 260, 115079.

Yuan, X., Pan, Z., Jin, C., Ni, Y., Fu, Z., & Jin, Y. (2019). Gut microbiota: An underestimated and unintended recipient for pesticide-induced toxicity. *Chemosphere*, 227, 425-434.

Yue, Y., Sun, X., Tian, S., Yan, S., Sun, W., Miao, J., ... & Zhu, W. (2024). Multi-omics and gut microbiome: Unveiling the pathogenic mechanisms of early-life pesticide exposure. *Pesticide biochemistry and physiology*, 199, 105770.

SOBRE O ORGANIZADOR

Eduardo Eugênio Spers realizou pós-doutorado na Wageningen University (WUR), Holanda, e especialização no IGIA, França. Possui doutorado em Administração pela Universidade de São Paulo (USP). Foi Professor do Programa de Mestrado e Doutorado em Administração e do Mestrado Profissional em Comportamento do Consumidor da ESPM. Líder do tema Teoria, Epistemologia e Métodos de Pesquisa em Marketing na Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração (ANPAD). Participou de diversos projetos de consultoria e pesquisa coordenados pelo PENSA e Markestrat. É Professor Titular no Departamento de Economia, Administração e Sociologia, docente do Mestrado em Administração e Coordenador do Grupo de Extensão MarkEsalq no campus da USP/Esalq. Proferiu palestras em diversos eventos acadêmicos e profissionais, com diversos artigos publicados em periódicos nacionais e internacionais, livros e capítulos de livros sobre agronegócios, com foco no marketing e no comportamento do produtor rural e do consumidor de alimentos.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Aceites esenciales 136, 137, 140, 142, 143, 144, 150, 151, 153, 158, 160

Ácidos orgánicos 136, 137, 139, 146, 147, 148, 149, 150, 151, 153

Actitudes ambientales 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33

Actividad antimicrobiana 137, 145, 147, 148

Acuicultura 163, 164, 169, 171, 178, 192, 204

Agricultura 1, 2, 4, 6, 22, 23, 35, 45, 64, 65, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 109, 110, 131, 135

Agricultura sostenible 2, 35

Agroecología 1, 2, 4, 5, 22

Alimento vivo 162, 163, 164, 175, 190, 192

Almidón 113, 115, 116, 119, 135, 192

Antocianinas 113, 114, 115, 117, 119, 120, 122, 123, 131, 135

B

Bioestimulante 51, 64

Biofloc 162, 173, 175, 190, 191, 192, 200, 201, 202, 203, 204

Biomasa 36, 66, 134, 164, 176, 177, 178, 184, 185, 186, 187, 191, 194

Burkholderia cepacia 162, 163, 165, 166, 175, 176, 178, 190, 191, 193, 194

C

Características físicas 123, 124, 135

D

Daphnia magna 169, 171, 172, 173, 174, 175, 176, 177, 179, 184, 187, 188, 189

Daphnia pulicaria 162, 163, 169, 171

Desarrollo sustentable 25, 27, 28, 33

Difusión 97, 99, 100, 103, 104, 106, 108, 111

Dureza de grano 113

E

Educación ambiental 25, 27, 28, 31, 32

F

Fuentes de carbono 162, 163, 164, 165, 167, 171, 175, 176, 178, 181, 182, 184, 186, 190, 192,

193, 201, 202, 204

G

Germinación 95, 128, 130, 135

H

Huella genómica 123, 124, 125, 129, 130, 132

Humus sólido y líquido 51

I

Identidad genética 122, 130, 132

Innovaciones 97, 99, 100, 101, 103, 104, 106

Integridad intestinal 137, 152

Inteligencia Artificial 97, 100, 102

In vitro culture 87, 88

L

Larvicultura 176, 187

M

Macroalga 162, 163, 165, 167, 168, 192

Maíz azul 113, 114, 115, 116, 120, 122, 123, 124, 129, 131, 132, 135

Microalgas 164, 165, 169, 175, 176, 177, 178, 179, 184, 185, 186

Microbioma intestinal 1, 8, 10, 11, 12, 14, 15, 16, 20, 21, 143, 150, 170

Morphology 69, 156, 157, 160, 161

N

Nutrición sostenible 35

Nutrientes 14, 20, 34, 36, 37, 41, 44, 47, 50, 51, 52, 59, 63, 64, 139, 143, 149, 151, 153, 169, 178, 185, 201, 202

O

Olive tree 69, 70, 71, 85

Oreochromis niloticus 172, 188, 190, 191, 192, 202, 203, 204

Oxidation 87, 159

P

PCA 69, 71, 84

Physio-biochemical 69, 83, 84

Pinus 87, 88, 94, 95, 96

Plaguicidas 1, 4, 5, 6, 8, 15, 18, 19

Precisión 51, 97, 98, 100, 101, 102, 110, 111, 112

Problemática ambiental 25, 27, 28, 31

Producción de arroz 34, 35

Proteína 15, 53, 58, 65, 113, 115, 116, 118, 139, 140, 144, 145, 146, 177, 185, 191, 192

R

Rendimiento de arroz 35

Rendimiento productivo 136, 137, 138, 150, 152, 153

S

Salud 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 13, 14, 16, 18, 20, 21, 22, 23, 27, 35, 36, 37, 122, 123, 137, 138, 139, 142, 146, 150, 151, 152, 153, 202

Salud del suelo 35, 36, 37

Seeds 87, 88, 89, 91, 92, 114, 123, 130

Steppe 69, 80, 84

Suelos de Monteria 35

Sulfato de calcio 51, 53

Sulfato de Potasio 51, 53, 58

U

Uso de biofertilizantes 35

Z

Zea mays 113, 114, 120, 122, 123, 128, 130, 135

Zea mays L. 113, 114, 120, 122, 123, 128, 135

