

VOL IV

Estudos em Ciências Agrárias e Ambientais

Eduardo Spers
(Organizador)



EDITORA
ARTEMIS

2025

VOL IV

Estudos em Ciências Agrárias e Ambientais

Eduardo Spers
(Organizador)



EDITORA
ARTEMIS

2025



O conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons Atribuição-Não-Comercial NãoDerivativos 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/ Universidad Tecnológica Nacional*, 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 Iara 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 Alborno, *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 Godínez, Universidad Autónoma de Baja California, México

Prof. Dr. Juan Carlos Cancino Díaz, Instituto Politécnico Nacional, México

Prof. Dr. Juan Carlos Morsquera 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. Leinig 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 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. Sérgio 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)

E87 Estudos em ciências agrárias e ambientais IV [livro eletrônico] /
Organizador Eduardo Eugênio Spers. – Curitiba, PR: Editora
Artemis, 2025.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

Edição bilíngue

ISBN 978-65-81701-59-8

DOI 10.37572/EdArt_310725598

1. Ciências agrárias. 2. Ciências ambientais. 3.
Sustentabilidade. 4. Agricultura sustentável. 5. Manejo de recursos
naturais. I. Spers, Eduardo Eugênio. II. Título.

CDD 630

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422



APRESENTAÇÃO

É com grande satisfação que apresentamos o volume IV da coletânea **Estudos em Ciências Agrárias e Ambientais**, resultado do esforço colaborativo de pesquisadores de diferentes regiões e instituições, que compartilham aqui reflexões, dados e contribuições relevantes para o avanço do conhecimento técnico-científico em suas áreas de atuação.

Este volume reúne 13 trabalhos organizados em cinco eixos temáticos que refletem a diversidade e complexidade do campo agrário e ambiental contemporâneo: Sistemas de Produção Aquático e Animal; Sustentabilidade Ambiental e Conservação de Recursos Naturais; Sistemas de Produção Vegetal e Agricultura de Precisão e Educação e Inovação no Meio Agrário.

Os temas abordados vão desde o manejo sustentável de recursos naturais, passando por inovações tecnológicas na agricultura e aquicultura, até discussões sobre formação profissional e segurança sanitária nas cadeias produtivas. Essa pluralidade é o reflexo da crescente interdisciplinaridade que caracteriza os estudos agrários e ambientais hoje – exigindo diálogos entre a ciência, a tecnologia, a educação, a economia e a sociedade.

Além da qualidade dos estudos apresentados, destacamos o compromisso dos autores com a pesquisa aplicada, a sustentabilidade e a busca por soluções adaptadas às realidades locais, muitas vezes desafiadoras. A presença de autores da América Latina e Europa também fortalece o caráter internacional da obra, fomentando o intercâmbio de experiências e metodologias.

Agradecemos a todos os autores pela confiança em compartilhar seus trabalhos conosco. Que esta publicação possa inspirar novas pesquisas, colaborações e, acima de tudo, práticas que contribuam com a construção de sistemas agrários e ambientais mais resilientes, justos e inovadores.

Desejamos a todos uma excelente leitura!

Eduardo Eugênio Spers

SUMÁRIO

SISTEMAS DE PRODUÇÃO AQUÁTICO E ANIMAL

CAPÍTULO 1..... 1

EFFECTS OF INCLUSION OF PROBIOTIC *PEDIOCOCCUS ACIDILACTICI* IN DIETS WITH HIGH LEVELS OF SOYBEAN MEAL IN GROWTH AND INTERLEUKINS GENE EXPRESSION OF RAINBOW TROUT (*Oncorhynchus mykiss*)

Jesus Manuel Segura-Campos

Luis Héctor Hernández-Hernández

Madison S. Powell

Mario Alfredo Fernández-Araiza

Susana Alejandra Frías-Gómez

Mauricio Castillo-Domínguez

 https://doi.org/10.37572/EdArt_3107255981

CAPÍTULO 2..... 13

INTRASPECIFIC DENSITY EFFECT ON GROWTH OF *Marphysa* “SP”. JUVENILES

João Pedro Monteiro Ferreira Garcês

Pedro Marques Pousão Ferreira

 https://doi.org/10.37572/EdArt_3107255982

CAPÍTULO 3..... 28

MINI-ECOSISTEMA ACUÁTICO COMO MODELO DE ESTUDIO EN ECOFARMACOVIGILANCIA

Rafael Manuel de Jesús Mex-Álvarez

María Magali Guillen-Morales

David Yanez-Nava

María Esther Mena-Espino

Roger Enrique Chan-Martínez

Dylan Manuel Ferrer-Dzul

 https://doi.org/10.37572/EdArt_3107255983

CAPÍTULO 4..... 38

CONTROL PROGRAM OF SHEEP COCCIDIOSIS IN THE PRODUCTION CHAIN FROM THE BREEDER TO THE CONSUMER

Ivan Pavlović

Aleksandra Tasić

Jovan Bojkovski

 https://doi.org/10.37572/EdArt_3107255984

SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL E CONSERVAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS

CAPÍTULO 5..... 68

DETERMINACIÓN ANALÍTICA DEL NÚMERO DE INTERVALOS DE CLASES DE RIESGO DE INCENDIOS FORESTALES

José German Flores-Garnica

 https://doi.org/10.37572/EdArt_3107255985

CAPÍTULO 6..... 86

PHYTOCLIMATIC DYNAMICS IN NATURAL OROMEDITERRANEAN FORESTS OF *Pinus sylvestris* L. IN THE CENTRAL SPANISH IBERIAN PENINSULA. SUITABILITY AND VERSATILITY UNDER CLIMATE CHANGE

Carmen Allué Camacho

Javier M. García López

 https://doi.org/10.37572/EdArt_3107255986

CAPÍTULO 7..... 102

USO DE HUMUS DE LOMBRIZ PARA REVITALIZAR SUELOS DETERIORADOS POR PRODUCTOS QUÍMICOS

Julian Rene Perdomo Ramos

Tania Paola Perdomo Ramos

José Francisco Machado Carrillo

Edison Arturo Perdomo Ramos

Jirley Vanessa Rojas Gómez

 https://doi.org/10.37572/EdArt_3107255987

SISTEMAS DE PRODUÇÃO VEGETAL E AGRICULTURA DE PRECISÃO

CAPÍTULO 8..... 125

EL SISTEMA PRODUCTIVO ALGODÓN (*GOSSYPIMUM HIRSUTUM* L.) EN LA COMARCA LAGUNERA, MÉXICO

Ignacio Orona Castillo

Cirilo Vázquez Vázquez

Apolinar González Mancilla

Joaquín Osornio Córdova

 https://doi.org/10.37572/EdArt_3107255988

CAPÍTULO 9.....133

PRECIO DE MERCADO Y COSTOS DE CONSERVACIÓN DE SEMILLAS DE *Cedrela Odorata* L. DE POBLACIONES VULNERABLES AL CAMBIO CLIMÁTICO, MÉXICO

Salvador Sampayo-Maldonado

Joel Rodríguez-Zúñiga

Horacio Bautista-Santos

Fabiola Sánchez Galván

Juan Sebastian Rodríguez Bravo

Oscar Del Ángel Piña

 https://doi.org/10.37572/EdArt_3107255989

CAPÍTULO 10.....153

CALCIUM CARBONATE APPLIED TO THE SUBSTRATE AND FOLIAR SPRAY IN TOMATO AND BELL PEPPER

Juan Manuel Soto Parra

Esteban Sánchez Chávez

Omar Cástor Ponce García

Rosa María Yáñez Muñoz

Nubia Guadalupe Torres Beltrán

Julio César Oviedo Mireles

Linda Citlalli Noperi Mosqueda

 https://doi.org/10.37572/EdArt_31072559810

CAPÍTULO 11.....163

AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN ARROZ: MAPEO DE LA VARIABILIDAD ESPACIAL DEL SUELO Y SU IMPACTO CON EL RENDIMIENTO DE GRANO

Sergio Salgado Velázquez

Fabiola Olvera Rincón

Diana Rubi Ramos López

Pablo Ulises Hernández Lara

 https://doi.org/10.37572/EdArt_31072559811

CAPÍTULO 12179

LA ENSEÑANZA AGRICOLA Y LA FORMACIÓN DEL INGENIERO AGRÓNOMO Y SU IMPORTACIÓN EN LA AGRICULTURA: PASADO, PRESENTE Y FUTURO

José Luis Gutiérrez Liñán
Carmen Aurora Niembro Gaona
Alfredo Medina García
Oscar Arce Cervantes

 https://doi.org/10.37572/EdArt_31072559812

CAPÍTULO 13192

SECOND GENERATION FRUGAL INNOVATION - TOWARDS APPROPRIATE FRUGAL AGRICULTURAL INNOVATION FOR FAMILY FARMS IN ANGOLA

Jone Heitor Sebastião
Jean-Pierre Caliste
Henri Dou

 https://doi.org/10.37572/EdArt_31072559813

SOBRE O ORGANIZADOR..... 210

ÍNDICE REMISSIVO 211

CAPÍTULO 3

MINI-ECOSISTEMA ACUÁTICO COMO MODELO DE ESTUDIO EN ECOFARMACOVIGILANCIA

Data de submissão: 08/07/2025

Data de aceite: 25/07/2025

Rafael Manuel de Jesús Mex-Álvarez

<https://orcid.org/0000-0003-1154-0566>

María Magali Guillen-Morales

<https://orcid.org/0000-0003-3958-0420>

David Yanez-Nava

<https://orcid.org/0000-0001-9604-526X>

María Esther Mena-Espino

<https://orcid.org/0000-0003-0624-3129>

Roger Enrique Chan-Martínez

<https://orcid.org/0009-0007-6563-9023>

Dylan Manuel Ferrer-Dzul

<https://orcid.org/0009-0004-8311-2995>

RESUMEN: La creciente contaminación de ambientes acuáticos por productos farmacéuticos representa un desafío ambiental global; así surge la ecofarmacovigilancia como disciplina para monitorear y evaluar estos riesgos, demandando modelos experimentales que integren la complejidad ecológica real. Los mini-ecosistemas

acuáticos, como microcosmos y mesocosmos, reproducen a pequeña escala redes tróficas y procesos biogeoquímicos; igualmente permiten estudiar los efectos directos e indirectos de fármacos en comunidades biológicas. Su diseño experimental considera la selección de especies representativas, el control riguroso de condiciones ambientales y la medición de parámetros físicoquímicos y biológicos relevantes. Aplicados principalmente a antibióticos, psicofármacos y antiinflamatorios, estos modelos revelan impactos en la reproducción, comportamiento, biodiversidad y procesos ecosistémicos. Los datos obtenidos alimentan modelos predictivos de riesgo ambiental, esenciales para la regulación y mitigación de contaminantes farmacéuticos; si bien presentan limitaciones de escala y complejidad, los mini-ecosistemas constituyen un valioso puente entre laboratorio y naturaleza, además, su integración con tecnologías avanzadas y la estandarización de protocolos fortalecerán su papel en la protección ambiental y el desarrollo sostenible.

PALABRAS CLAVE: salud ambiental; biomedicina; desarrollo sustentable.

1. INTRODUCCIÓN

Los fármacos son considerados contaminantes emergentes principalmente porque su demanda y uso han aumentado en las sociedades modernas y también debido

al desconocimiento de buenas prácticas de disposición final de medicamentos, sus envases y sus residuos. De esta manera, los fármacos ingresan a los ecosistemas por medio de las aguas residuales (domésticas, industriales y hospitalarias) y por actividades agropecuarias; posteriormente al interactuar con organismos expuestos a estos fármacos, se modifican su fisiología afectando a la biodiversidad y a la salud de todo el ecosistema.

Por ello, en los últimos años se ha consolidado la ecofarmacovigilancia como una ciencia interdisciplinaria que se encarga de la monitorización, evaluación, comprensión y gestión de los riesgos ambientales relacionados con la exposición a fármacos; en este sentido, existe la necesidad de diseñar y validar modelos experimentales que mimeticen las complejas relaciones e interacciones ecológicas que se presentan en ecosistemas naturales que permitan la traslacionalidad de los bioensayos.

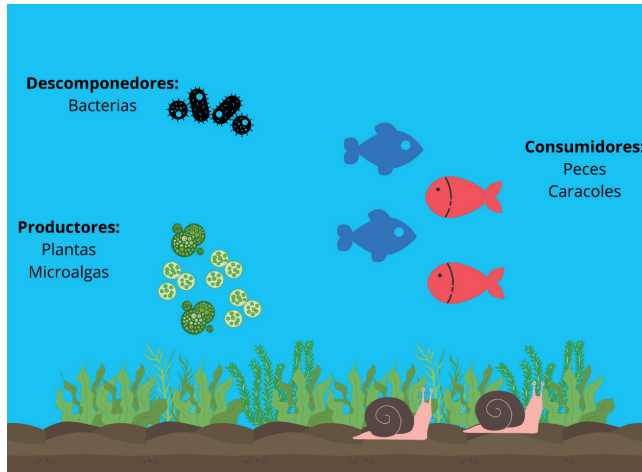
Uno de los modelos desarrollados para este propósito son los mini-ecosistemas acuáticos que son sistemas experimentales que reproducen en pequeña escala (del tamaño de una pecera doméstica) las relaciones físicas, químicas y biológicas que se dan en un ecosistema natural; así, los mini-ecosistemas acuáticos permiten evaluar de forma controlada la interacción de contaminantes, como los fármacos, con las comunidades biológicas y con cada uno de sus elementos pues no solamente se puede estudiar los efectos directos e indirectos de manera individual sino también se puede apreciar la dinámica de degradación o bioacumulación de los tóxicos.

El objetivo del presente capítulo es presentar al modelo de mini-ecosistema acuático con su fundamentación científica, sus posibles aplicaciones en estudios de ecofarmacovigilancia y las perspectivas actuales para la evaluación del impacto ambiental y sanitario de fármacos que permitan desarrollar políticas ambientales oportunas y estrategias de mitigación para un desarrollo sustentable de las comunidades.

2. PRINCIPALES CONCEPTOS DE UN MINI-ECOSISTEMA ACUÁTICO

El modelo experimental de mini-ecosistema acuático está diseñado para reproducir a pequeña escala las interacciones y procesos que se establecen y desarrollan en ecosistemas acuáticos naturales; su propósito es permitir el estudio de las dinámicas ecológicas en un sistema controlado que facilite el control de variables ambientales y la observación de respuestas biológicas en los distintos niveles tróficos.

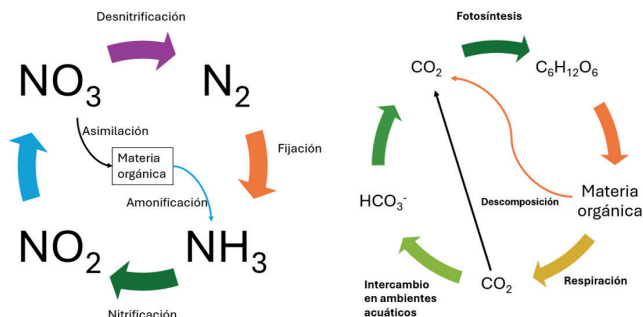
Figura 1. Cadena trófica en un mini-ecosistema acuático.



Los mini-ecosistemas acuáticos se pueden dividir en razón de su escala, en microcosmos y mesocosmos; los primeros son sistemas muy reducidos que contienen comunidades acuáticas simples y son de utilidad para estudiar a bajo costo y de manera rápida algún fenómeno ecológico. El tamaño del mesocosmo es mayor en comparación con el microcosmo, son acuarios más grandes o estanques artificiales y como permite incluir una mayor diversidad biológica y relaciones ecológicas más complejas se aproxima más a la realidad y es de mayor utilidad en estudios ambientales. Los mini-ecosistemas acuáticos buscar ser un modelo traslacional para redes tróficas, ciclos biogeoquímicos y homeostasis ecológica.

En particular, los ciclos biogeoquímicos pueden observarse en un miniecosistema acuático; así el ciclo del carbono, debido a la presencia de productores primarios como plantas acuáticas, algas o cianobacterias, el bióxido de carbono se convierte en materia orgánica en la fotosíntesis y por la respiración o descomposición de la materia orgánica se libera bióxido de carbono al medio, generalmente, como los cuerpos de agua de los mini-ecosistemas acuáticos son sistemas abierto (con flujo de energía y masa) permiten que escape el bióxido de carbono.

Figura 2. Ciclos biogeoquímicos del carbono y del nitrógeno.



En cuanto al nitrógeno, su entrada al ecosistema es a través de alimento cuya descomposición metabólica produce amonio, nitrato y nitrito; en la amonificación, la materia orgánica de compuestos ricos en nitrógeno se convierte a amonio que en la nitrificación ejercida por bacterias se transforma en nitrito (Nitrosomonas) y ulteriormente a nitrato (Nitrobacter, Nitrospira), de estos el nitrito puede ser más tóxico para los seres vivos. La asimilación del nitrógeno se da por los organismos vegetales que absorben amonio o nitrato y lo convierten en aminoácidos y otros compuestos útiles; si existiera condiciones anóxicas ocurre la desnitrificación que es la conversión de nitrato a nitrógeno gaseoso. El ciclo de nitrógeno en miniecosistemas acuáticos es un proceso clave para mantener el equilibrio ecológico al controlar la productividad primaria y regular la calidad del agua, en sistemas cerrados o semicerrados como los acuarios experimentales, este ciclo se afecta intensamente por factores bióticos y abióticos, también por contaminantes, en especial los antibióticos. De hecho, el efecto de los antibióticos sobre el ciclo del nitrógeno en acuarios es un tema crítico en acuicultura porque pueden alterar significativamente a las comunidades bacterianas involucradas en el ciclo; esto provoca una acumulación de amoníaco y nitrito que son altamente tóxicos para los peces.

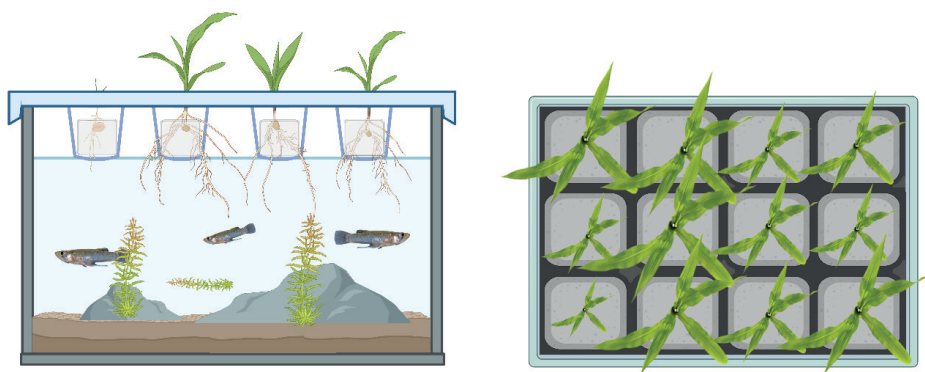
Además, el efecto de antibióticos sobre el ciclo de nitrógeno se da porque reduce la diversidad bacteriana y disminuye la presencia de géneros claves en filtros biológicos; también, altera la sucesión microbiana porque las bacterias resistentes pueden proliferar y alterar la dinámica del ciclo. Los factores más influyentes en el impacto de antibióticos sobre el ciclo de nitrógeno son el tipo y concentración, la duración de la exposición, resistencia y persistencia del antibiótico en el medio, tipo de medio (dulce, salobre, salado), presencia de biofiltros y elementos bióticos, particularmente, plantas. En estudios ambientales se usa el impacto en el ciclo del nitrógeno como un biomarcador indirecto de la disbiosis bacteriana (desequilibrio en la composición o función de una comunidad

microbiana) y en estudios de ecofarmacovigilancia, estas alteraciones, permiten evaluar la persistencia y toxicidad ecológica de los fármacos.

3. APLICACIÓN DEL MODELO DE MINI-ECOSISTEMA ACUÁTICO EN ECOFARMACOVIGILANCIA

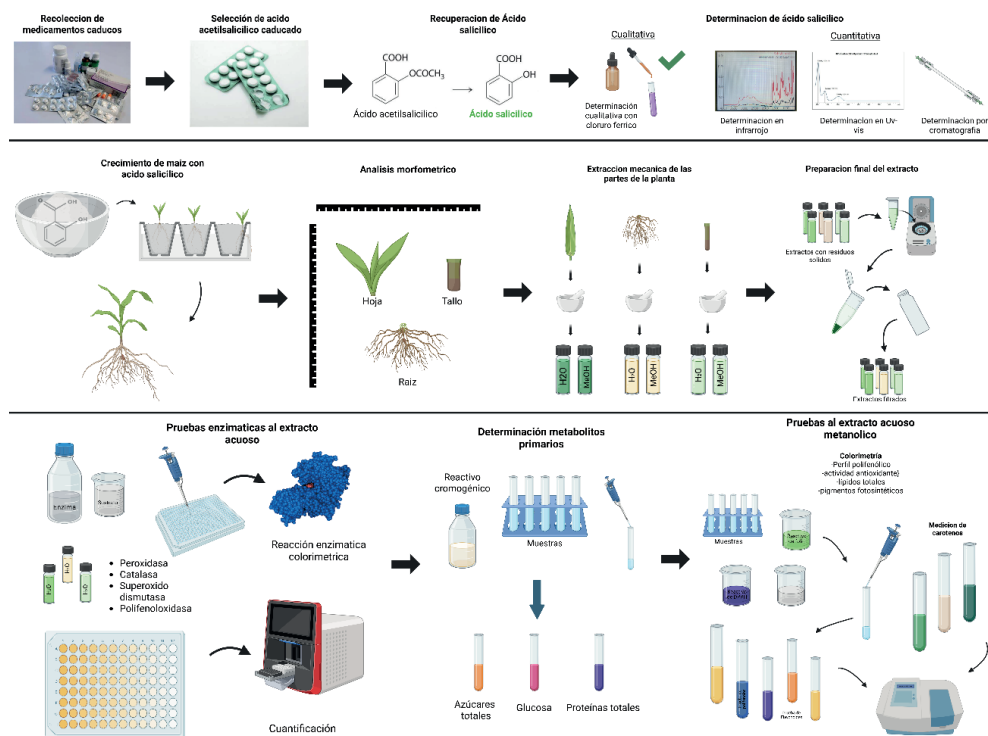
Debido a que los fármacos son contaminantes emergentes en las sociedades modernas por su alto consumo y por la falta de un tratamiento residual adecuado que evite que estos compuestos químicos alcancen a los ecosistemas, se hace necesario contar con herramientas científicas que permitan comprender y estudiar el impacto de los medicamentos y sus principios activos sobre el ecosistema. Generalmente, el efecto de los fármacos en cada uno de los elementos constituyentes del ecosistema depende del grupo farmacoterapéutico al que pertenezca y de su estructura química; algunos son intuitivos por su mecanismo de acción, como el caso de los antibióticos que altera el equilibrio ecológico al inhibir el crecimiento de bacterias nitrificantes o desnitrificantes; otros tipos de fármacos como los antidepresivos pueden alterar la actividad fotosintética de los productores primarios macroscópicos como son las plantas acuáticas. En este sentido, el monitoreo de nutrientes y gases disueltos en el agua del ecosistema permite al investigador evaluar los efectos subletales de cada principio activo sobre el ecosistema.

Figura 3. Cultivo acuapónico de maíz acoplado a un mini-ecosistema acuático (Fuente: elaboración propia).



El modelo de mini-ecosistema acuático es una herramienta versátil para emplearse en ecofarmacovigilancia, particularmente cuando se pretende estudiar los efectos de los fármacos, en condiciones más controladas, pero ecológicamente representativas porque es un sistema experimental a pequeña escala que simula un ecosistema real con inclusión de las interacciones entre componentes bióticos y abióticos.

Figura 4. Modelo del maíz (*Zea mays*) en ecofarmacovigilancia empleando un mini-ecosistema acuático.



Mientras los ensayos *in vitro* o los modelos computacionales se centran en efectos celulares o teóricos, los miniecosistemas permiten evaluar respuestas ecológicas integradas, incluyendo efectos indirectos y de interacción entre especies. Además, complementan los estudios *in vivo* tradicionales, que suelen centrarse en pocas especies bajo condiciones muy controladas. Los datos obtenidos en miniecosistemas permiten establecer umbrales de concentración segura, detectar efectos crónicos, y anticipar impactos en la estructura y función del ecosistema, lo que es fundamental para diseñar estrategias de mitigación y regulación ambiental.

4. DISEÑO EXPERIMENTAL EN MINIECOSISTEMAS

El diseño de un miniecosistema acuático para estudios en ecofarmacovigilancia debe ser cuidadosamente planificado para garantizar la validez y reproducibilidad de los resultados, así como para asegurar que las condiciones experimentales sean representativas del ambiente natural. Para ello, la selección de los especímenes de estudio es relevante y fundamental para el éxito del modelo; se debe considerar como criterios base: la relevancia ecológica de las especies, favoreciendo a las especies endémicas o

representativas del ecosistema estudiado; la sensibilidad a los fármacos de las especies seleccionadas, especialmente la capacidad de detección de efectos tóxicos a dosis subletales de la especie considerada que sirva como biomonitor de la calidad ambiental al detectar cambios a través de sus respuestas fisiológicas, bioquímicas o ecológicas al usar algunos de sus parámetros bioquímicos como biomarcador; un punto importante a considerar es la facilidad de manejo de las especies objetivo, se prefiere ciclos de vidas cortos y que puedan reproducirse en cautiverio; la diversidad funcional es importante para simular las interacciones tróficas y que realmente funcione como un ecosistema, por ello se debe incluir productores (*Lemna minor*, *Elodea*, *Chlorella*, *Spirulina*), consumidores primarios (*Daphnia magna*), consumidores secundarios como peces (*Danio rerio*, *Poecilia reticulata*, *Gambusia yucatana*), descomponedores (*Pomacea caniculata*, *Planorbis corneus*, *Melanoides tuberculata*) y microbiota.

5. CONDICIONES DEL ECOSISTEMA

El tamaño del ecosistema puede variar desde frascos de vidrio para microcosmo hasta tanques o estanques para mesocosmos; pero el más empleado son peceras de vidrio donde se puede regular la temperatura, la iluminación y la aireación, otros factores que deben monitorearse y controlarse son el pH y la dureza del agua. Se recomienda, en especial mientras se llegue al equilibrio, recambios de agua para mantener concentraciones estables y condiciones saludables; algunos parámetros fisicoquímicos medibles que pueden monitorearse son el oxígeno disuelto, el pH, la temperatura, la turbidez y la conductividad.

Tabla 1. Parámetros fisicoquímicos esperados en la mayoría de los miniecosistemas acuáticos modelos (variará dependiendo de las especies particulares estudiadas).

Parámetro	Rango ideal	Relevancia biológica
Temperatura	24-27°C	Afecta al metabolismo de peces y solubilidad del oxígeno
pH	6.8 a 7.5	Influye en la especiación química de iones electrolitos débiles como el amonio y el carbonato. Algunas especies como <i>Poecilia</i> prefieren ambientes más alcalinos, otras como los <i>Betta</i> prefieren un medio ácido.
Dureza total	143 a 215 mg/L	La dureza total se debe principalmente a la concentración de iones calcio y magnesio y afecta la solubilidad de sus contra iones como carbonato y sulfato, también es un parámetro importante para el equilibrio osmótico de los peces, algunas especies prefieren aguas blandas, otras como <i>Poecilia</i> requieren aguas duras.
Alcalinidad	70 a 145 mg/L de CaCO ₃	Mide la capacidad del sistema para estabilizar el pH y actuar como amortiguador.

Oxígeno disuelto	Mayor a 5 mg/L	Fundamental para conocer la concentración de oxígeno presente en el agua pues es fundamental para la respiración de peces, bacterias y plantas.
Conductividad eléctrica	150 a 500 mS/cm	Es un indicador de electrolitos presentes en el agua como son las sales disueltas, es útil para monitorear la estabilidad del sistema.
Turbidez	Menor a 1 NTU	Es un indicativo de presencia de materia orgánica, algas o bacterias.
Bióxido de carbono	10 a 30 mg/L	Es necesario para que las plantas puedan realizar la fotosíntesis.

7. CONSIDERACIONES ÉTICAS Y REGULATORIAS

Con el fin de asegurar el bienestar animal y la integridad científica que pueda trasladarse al ámbito ambiental debe considerarse cuestiones éticas y normativas. Como todo manejo de animales de experimentación, es fundamental minimizar el sufrimiento y el estrés; conviene promover el desarrollo de métodos complementarios como modelos *in vitro* y simulaciones computacionales para aplicar el principio de las 3R (reemplazo, reducción y refinamiento) para optimizar el uso de especímenes experimentales. En cuanto a la normativa aplicable se aconseja seguir las directrices de la OECD, las regulaciones de la EMA y de la FDA que orientan la evaluación y el monitoreo ambiental de productos farmacéuticos.

La estandarización de los protocolos de estudio permite abona a la reproducibilidad y a la repetibilidad que conduce a la validación de los métodos empleados, esto permite que los resultados sean aceptados en procesos regulatorios. En este sentido, los datos generados sirven como sustento científico para promover la sustentabilidad ambiental y contribuir a la elaboración de políticas públicas para una adecuada gestión del uso y disposición de fármacos.

8. VISIÓN A FUTURO PRÓXIMO

El sistema tiene algunas limitaciones como modelo de estudio, pues a pesar de que los mini ecosistemas acuáticos reproducen muchos tipos de interacciones ecológicas, está claro que no se puede replicar por completo la complejidad del ambiente natural, por la gran heterogeneidad que representa una escala mayor. Otro punto importante, es el tiempo de estudio, en un modelo como el mini ecosistema acuático por lo general se realizan estudios de corto o mediano plazo, esto limita la evaluación de efectos crónicos y acumulativos a largo plazo.

Tal vez el aspecto más limitativo es la selección restringida de especies que se pueden emplear lo que origina omisiones de interacciones ecológicas relevantes; en

este mismo sentido, debido a que en condiciones experimentales se controla algunos parámetros (como el pH, temperatura, luz, salinidad u oxígeno disuelto) esto limita la apreciación del efecto de la variabilidad natural de estos factores en el ecosistema.

Ante tales limitaciones, surgen algunas perspectivas que se pueden transitar en un futuro próximo, tales como la integración del modelo con tecnologías de sensores automatizado o monitoreo remoto y técnicas de imagen con el fin de obtener datos en tiempo real y con una mayor precisión de la variabilidad. No cabe duda de que mientras más complejidad se vaya insertando a cada modelo propuesto más próximo a la realidad será y en consecuencia la traslacionalidad de los datos será más fácil, así se puede incorporar la interacción suelo-agua-planta como en los modelos de acuaponía, así como otros modelos que incluyan efectos multifactoriales como simulaciones de cambio climático o estudio de contaminantes múltiples.

Por lo complejo de tema, es menester la convergencia de distintas disciplinas como la ecotoxicología, la química, la microbiología, la farmacología, biólogos moleculares, entre otras, que mejoren el modelo desde sus respectivos puntos de vista de abordar el problema de la contaminación ambiental por fármacos y cuyo trabajo en equipo conduzca al desarrollo de guías aplicables para la construcción y evaluación de mini ecosistemas acuáticos útiles, reproducibles y con una robustez analítica que se pueda emplear en estudios de ecofarmacovigilancia.

9. CONCLUSIONES

Los mini ecosistemas son una aproximación científica a un problema complejo como es la contaminación ambiental de ecosistemas acuáticos por fármacos, debido en parte a que permiten evaluar de manera controlada e integrada los efectos de los principios activos en contextos similares, aunque simplificados y a escala, a los del ecosistema natural, reflejando mejor las dinámicas ecológicas. Los mini ecosistemas acuáticos facilitan la detección de efectos subletales, cambios en la estructura trófica y procesos de bioacumulación, biotransformación, interacción ecológica y degradación.

A pesar de sus limitaciones debido a su escala y complejidad, estos modelos de estudio son un punto de unión entre la investigación básica de frontera y la aplicación práctica regulatoria porque fortalece la vigilancia ambiental farmacéutica.

REFERENCIAS

Calvache, J. A. E., Segura, N. E. M., & Rojas, I. C. S. (2023). Efectos del Naproxeno como Contaminante Emergente en Ecosistemas Acuáticos. Revista Facultad de Ciencias Agropecuarias-FAGROPEC, 15(2), 44-63.

Castro-Pastrana, L. I., Baños-Medina, M. I., López-Luna, M. A., & Torres-García, B. L. (2015). Ecofarmacovigilancia en México: perspectivas para su implementación. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 46(3), 16-40.

Checa Artos, M., Sosa del Castillo, D., Ruiz Barzola, O., & Barcos-Arias, M. (2021). Presencia de productos farmacéuticos en el agua y su impacto en el ambiente. *Bionatura*, 6(1), 1618-1627.

Contreras-Almazo, I. A. E., & González-Rentería, M. (2022). Bivalvos, organismos modelo en el biomonitoreo del riesgo ecotoxicológico de los antiinflamatorios no esteroideos (AINE) para los ecosistemas acuáticos. *Ecosistemas*, 31(2), 2167-2167.

Gagneten, A. M., & Regalado, L. M. (2021). Efectos sobre las comunidades biológicas.

García-Alcalde, M., Minaya, D., Alvarino, L., Iannacone, J., & Rodríguez, A. (2023). Ensayos ecotoxicológicos para evaluar antibióticos y ansiolíticos en el ambiente acuático. *Producción+ Limpia*, 18(1), 64-84.

Laborde, J. M., Carbone, C., Ayala, M. Á., & Cagliada, M. D. P. L. (2021). Peces como animales de experimentación. *Libros de Cátedra*.

Muñoz-Bejarano, M. J., Ruiz Rodríguez, Y., Sáenz-García, G., & Alfaro-Mora, R. (2021). Análisis del desecho de medicamentos en Costa Rica durante el 2019, un paso hacia la ecofarmacovigilancia. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 50(2), 423-438.

Salazar, C. S., & Jiménez, J. O. (2023). Consideraciones Bioéticas en el Manejo de Modelos Animales en Experimentación. *Revista Fesahancocal*, 9(1), 12-26.

Tomasini, A., & Macías-Paredes, C. (2023). ¿ Por qué los fármacos son contaminantes del ambiente?. *Contactos, Revista de Educación en Ciencias e Ingeniería*, (129), 48-55.

SOBRE O ORGANIZADOR

EDUARDO EUGENIO 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 PENSE 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

Símbolos

3D printing 192, 193, 198, 202, 203, 204, 205, 207, 209

A

Abono 102, 103, 105, 106, 115, 116, 121, 123

Accesión 133, 134, 137, 138, 139, 143, 145, 147, 148, 149, 150

Adaptive management 86, 99

Additive manufacturing 193, 203, 204

Africa 26, 42, 60, 149, 193, 197, 203, 206, 207

Agriculture 65, 103, 123, 124, 151, 164, 177, 178, 180, 192, 193, 195, 198, 201, 204, 205, 207, 208, 209

Agronomía 128, 177, 179, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 190

Almacenamiento 133, 134, 135, 137, 138, 139, 143, 144, 145, 147, 148, 149, 150

Angola 192, 193, 198, 202, 207, 208

Aplicación del método científico 179

Aquaculture 1, 2, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 24, 26

B

Biomedicina 28

C

Cambio climático 36, 100, 107, 133, 134, 137, 139, 141, 143, 145, 146, 148, 150, 151

'Canon' bell pepper 153, 154, 155

Climate change 86, 87, 97, 98, 99, 100, 101, 134, 159, 193

'Closter' tomato 153, 154, 155

Coccidiosis control 38, 46, 54, 59

Color L*a*b* 153, 154, 155

Competitive intelligence 193

Costos 129, 131, 132, 133, 134, 135, 136, 137, 138, 139, 143, 144, 145, 147, 148, 149, 150, 165

D

Density 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 83, 84

Desarrollo rural 179

Desarrollo sustentable 28, 29, 186, 188

Distribución 68, 71, 72, 73, 75, 76, 77, 80, 133, 134, 135, 136, 137, 139, 140, 141, 142, 143, 144, 146, 150, 165, 169, 170, 172, 173, 175, 189

E

Educación agrícola 179, 183, 185, 186, 187, 190

Eimeria infection 38, 62, 63, 67

Emprendimiento 103, 181

Enterprise 4.0 192, 193

F

Family farming 193, 194, 198, 201, 203, 207

Fingerlings 1, 2, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11

Frugal development 192, 193, 201, 208

Fruit size 154

G

Geostatistics 163, 176

Growth 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 42, 46, 61, 154, 209

H

Humus de lombriz 102, 103, 105, 108, 109, 110, 111, 112, 113, 115, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123

I

Intervalo equivalente 68, 70, 73

Intervalo geométrico 68, 70

Intervalos de progresión 68, 73

Intervalos iguales 68, 70, 73, 76, 77, 81, 82

K

Kriging 163, 164, 165, 172, 173, 174, 175, 176, 178

M

Management zones 163, 164, 176

Marphysa 13, 14, 15, 16, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26

O

Oryza sativa 163, 177, 178

P

Parasitic disease management 38

Phytoclimatology 86

Pinus sylvestris 86, 87, 88, 95, 98, 100

Plagas y enfermedades 125, 126, 181, 190

Plant-origin protein 2, 9

Polychaetes 13, 14, 15, 17, 20, 24, 25, 26, 27

R

Rainbow trout 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12

Renta de tierra y agua 125

Response surface 153, 154, 155, 156, 157, 158, 159, 160, 161

Rol del ingeniero agrónomo 179

Rupturas naturales 68, 70, 73, 76

S

Salud ambiental 28

Sheep farming 38, 43, 48

Sheep health 38, 59

Sostenibilidad 103, 121, 132, 187, 188, 189

Spatial analysis 84, 163

Suitability 86, 87, 89, 90, 91, 93, 95, 96, 97, 98, 142, 178

Survival 1, 2, 5, 6, 18, 22, 23, 24, 25, 26, 39, 51, 100

T

Tecnología de producción 125

Toltrazuril treatment 38

V

Versatility 86, 97, 98, 99, 100

Vulnerability 84, 86, 99, 101



EDITORA
ARTEMIS

2025