

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 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.**

<b>Editora Chefe</b>	Prof. <sup>a</sup> Dr. <sup>a</sup> Antonella Carvalho de Oliveira
<b>Editora Executiva</b>	M. <sup>a</sup> Viviane Carvalho Mocellin
<b>Direção de Arte</b>	M. <sup>a</sup> Bruna Bejarano
<b>Diagramação</b>	Elisangela Abreu
<b>Organizador</b>	Prof. Dr. Eduardo Eugênio Spers
<b>Imagem da Capa</b>	Bruna Bejarano, Arquivo Pessoal
<b>Bibliotecário</b>	Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

### Conselho Editorial

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> 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.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Amanda Ramalho de Freitas Brito, Universidade Federal da Paraíba, Brasil  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Clara Monteverde, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ana Júlia Viamonte, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal  
Prof. Dr. Ángel Mujica Sánchez, *Universidad Nacional del Altiplano*, Peru  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Angela Ester Mallmann Centenaro, Universidade do Estado de Mato Grosso, Brasil  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Begoña Blandón González, *Universidad de Sevilla*, Espanha  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Carmen Pimentel, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Catarina Castro, Universidade Nova de Lisboa, Portugal  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cirila Cervera Delgado, *Universidad de Guanajuato*, México  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Cláudia Neves, Universidade Aberta de Portugal  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> 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 MªGraça Pereira, Universidade do Minho, Portugal  
Prof.ª Dr.ª Maria Gracinda Carvalho Teixeira, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil  
Prof.ª Dr.ª María Guadalupe Vega-López, *Universidad de Guadalajara*, México  
Prof.ª Dr.ª Maria Lúcia Pato, Instituto Politécnico de Viseu, Portugal  
Prof.ª Dr.ª Maritza González Moreno, *Universidad Tecnológica de La Habana*, Cuba  
Prof.ª Dr.ª Mauriceia Silva de Paula Vieira, Universidade Federal de Lavras, Brasil  
Prof. Dr. Melchor Gómez Pérez, Universidad del Pais Vasco, Espanha  
Prof.ª Dr.ª Ninfa María Rosas-García, Centro de Biotecnología Genómica-Instituto Politécnico Nacional, México  
Prof.ª Dr.ª Odara Horta Boscolo, Universidade Federal Fluminense, Brasil  
Prof. Dr. Osbaldo Turpo-Gebera, *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*, Peru  
Prof.ª Dr.ª Patrícia Vasconcelos Almeida, Universidade Federal de Lavras, Brasil  
Prof.ª Dr.ª Paula Arcoverde Cavalcanti, Universidade do Estado da Bahia, Brasil  
Prof. Dr. Rodrigo Marques de Almeida Guerra, Universidade Federal do Pará, Brasil  
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares, Universidade Federal do Piauí, Brasil  
Prof. Dr. Sergio Bitencourt Araújo Barros, Universidade Federal do Piauí, Brasil  
Prof. Dr. Sérgio Luiz do Amaral Moretti, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil  
Prof.ª Dr.ª Silvia Inés del Valle Navarro, *Universidad Nacional de Catamarca*, Argentina  
Prof.ª Dr.ª Solange Kazumi Sakata, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN)- USP, Brasil  
Prof.ª Dr.ª Stanislava Kashtanova, *Saint Petersburg State University*, Russia  
Prof.ª Dr.ª Susana Álvarez Otero – Universidad de Oviedo, Espanha  
Prof.ª Dr.ª Teresa Cardoso, Universidade Aberta de Portugal

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

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

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

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

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

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

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

E89 Estudos em ciências 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](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](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](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](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](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](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](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](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](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](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](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](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](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](https://doi.org/10.37572/EdArt_26062608614)

**SOBRE O ORGANIZADOR.....205**

**ÍNDICE REMISSIVO .....206**

# CAPÍTULO 11

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

Data de submissão: 09/05/2026

Data de aceite: 26/05/2026

### **Elmer Bonilla-Valverde**

Estudiante de Doctorado en  
Ciencia Agropecuarias de la  
Facultad de Medicina  
Veterinaria y Zootecnia de la  
Universidad Autónoma de  
Sinaloa (FMVZ-UAS)  
Culiacán, Sinaloa, México  
<https://orcid.org/0000-0002-8381-8777>

### **Juan Manuel Romo-Valdez**

Profesor e Investigador de  
Tiempo completo de la  
FMVZ-UAS  
Culiacán, Sinaloa, México  
<https://orcid.org/0000-0002-0520-9968>

### **Jesús José Portillo-Loera**

Profesor e Investigador de  
Tiempo completo de la  
FMVZ-UAS  
Culiacán, Sinaloa, México  
<https://orcid.org/0000-0002-5990-7841>

### **Ana Mireya Romo-Valdez**

Profesora de Tiempo Parcial de la  
FMVZ-UAS  
Culiacán, Sinaloa, México  
<https://orcid.org/0000-0002-9424-3235>

### **Laura Francisca Espinoza-Aguirre**

Estudiante de Doctorado en  
Ciencia Agropecuarias de la  
FMVZ-UAS  
Culiacán, Sinaloa, México  
<https://orcid.org/0000-0002-7300-7364>

### **Javier Alonso Romo-Rubio<sup>1</sup>**

Profesor e Investigador de  
Tiempo completo de la  
FMVZ-UAS  
Culiacán, Sinaloa, México  
<https://orcid.org/0000-0002-2364-2554>

**RESUMEN:** Con el objetivo de documentar e informar sobre el uso alternativo de los aceites esenciales y ácidos orgánicos como promotores de crecimiento en cerdos, en sustitución de los antibióticos, se realizó una revisión bibliográfica. La información analizada indica que los antibióticos se utilizan con el fin de contrarrestar el crecimiento de poblaciones bacterianas patógenas a nivel intestinal para un mejor rendimiento productivo de los lechones durante el período lactancia, posdestete y engorda. Sin embargo, en algunos países se ha restringido o incluso prohibido el uso de antibióticos como promotores del crecimiento por la creciente preocupación de transmisión y proliferación de bacterias resistentes a través de la cadena

<sup>1</sup> Autor de correspondencia. Fraccionamiento San Benito, Culiacán Rosales, Sinaloa, México; CP 80246.

alimentaria. Los aceites esenciales (AE) y ácidos orgánicos (AO) se han propuesto como alternativa a los antibióticos promotores del crecimiento. En particular, la combinación de cinamaldehído y AO se presenta como una estrategia prometedora para mejorar la productividad, la salud intestinal y la sostenibilidad en la producción porcina. Sin embargo, el éxito de esta estrategia depende de diferentes factores, como una dosificación correcta, así como un manejo adecuado de la alimentación. Las futuras investigaciones deberán enfocarse en la optimización de la dosis y la búsqueda de nuevas combinaciones sinérgicas para maximizar sus beneficios.

**PALABRAS CLAVE:** rendimiento productivo; integridad intestinal; actividad antimicrobiana; aceites esenciales; ácidos orgánicos.

## ESSENTIAL OILS AND ORGANIC ACIDS: AN ALTERNATIVE TO ANTIBIOTICS AS GROWTH PROMOTERS IN PIGS

**ABSTRACT:** With the aim of documenting and reporting on the alternative use of essential oils and organic acids as growth promoters in pigs, as a replacement for antibiotics, a literature review was conducted. The analyzed information indicates that antibiotics are used to counteract the growth of pathogenic bacterial populations in the gut to improve the productive performance of piglets during the lactation, post-weaning, and finishing periods. However, in some countries, the use of antibiotics as growth promoters has been restricted or even prohibited due to the growing concern about the transmission and proliferation of resistant bacteria through the food chain. Essential oils (EOs) and organic acids (OAs) have been proposed as alternatives to antibiotic growth promoters. In particular, the combination of cinnamaldehyde and OAs presents itself as a promising strategy to improve productivity, gut health, and sustainability in pig production. However, the success of this strategy depends on various factors, such as correct dosage and proper feed management. Future research should focus on optimizing dosage and exploring new synergistic combinations to maximize benefits.

**KEYWORDS:** production performance; intestinal integrity; antimicrobial activity; essential oils; organic acids.

### 1. INTRODUCCIÓN

Los antibióticos promotores del crecimiento se utilizaron por primera vez como aditivos alimentarios para prevenir el estrés resultante del cambio de alimento en la dieta (Liu *et al.*, 2018); se utilizan con el fin de contrarrestar el crecimiento de poblaciones bacterianas patógenas a nivel intestinal, para garantizar una mejor salud del intestino y rendimiento productivo de los lechones durante el período posdestete (Kogut *et al.*, 2017; Salim *et al.*, 2018). Sin embargo, la creciente preocupación por el uso a largo plazo, y en aumento, de antibióticos promotores del crecimiento en la producción animal dio lugar a un cambio hacia el uso de alternativas orgánicas naturales para impulsar el crecimiento de los cerdos, como los AE vegetales y los AO (Long *et al.*, 2018). Muchos países (UE, USA, Canadá; Costa *et al.*, 2017) han restringido o incluso prohibido el uso de antibióticos como

aditivos en el alimento por la creciente preocupación en la transmisión y proliferación de bacterias resistentes a través de la cadena alimentaria (Liu *et al.*, 2018; Yang *et al.*, 2019; Molina, 2019, WOA, 2023), lo que puede poner en riesgo la salud humana. Lo anterior, trajo consigo consecuencias desfavorables en términos de productividad, bienestar y salud de los animales, principalmente a causa de la aparición de alteraciones fisiológicas estrechamente relacionadas con desequilibrios en el microbioma normal del intestino, lo cual se reflejó en el detrimento del rendimiento productivo (Costa *et al.*, 2017). Frente a este panorama, es necesario buscar alternativas eficaces y biológicamente seguras que garanticen un buen rendimiento productivo mientras se protege la salud del consumidor (Sugiharto, 2016; Mehdi *et al.*, 2018). El uso de AE se considera una alternativa al uso de los antibióticos y promotores del crecimiento sintéticos, con potencial para ofrecer beneficios a la salud, optimizar la ganancia de peso, el comportamiento reproductivo y la producción de carne (Toso *et al.*, 2023). Con base en sus propiedades antimicrobianas, antiinflamatorias y antioxidantes, los AE se utilizan ampliamente como medicina tradicional para mejorar la salud, curar enfermedades en humanos y conservar alimentos (Sakkas & Papadopoulou, 2017). El cinamaldehído, como componente principal de los AE de la Canela (*Cinnamomum*), representa entre el 85.3 y 90.5% de estos (Shreaz *et al.*, 2016); su uso como aditivo alimenticio inhibe eficazmente el crecimiento de una variedad de microorganismos como bacterias, mohos y levaduras, así como la producción de toxinas por parte de éstos (Friedman, 2017).

Por otra parte, los AO forman parte de los constituyentes normales de plantas y tejidos animales; también, se producen por síntesis química o fermentación microbiana de carbohidratos en el intestino grueso (Hajati, 2018); se han utilizado durante mucho tiempo para apoyar el crecimiento de los cerdos, especialmente al destete, y más recientemente se han convertido en una alternativa como promotores del crecimiento en los cerdos (Tugnoli *et al.*, 2020). La naturaleza lipófila de los AO débiles les permite ingresar fácilmente a la membrana plasmática y reducir el pH del interior de la célula, lo que conduce a la muerte de la bacteria (Wang *et al.*, 2013). Los AO tienen una mayor eficacia que los AE contra las bacterias Gram negativas (Gram-; Mahmoud, 2014). Satterlee *et al.* (2023), observaron que el AE de canela mostró sinergia con los AO (acético, propiónico y butírico), lo que puede permitir el uso de una dosis reducida como aditivo alimenticio debido a sus efectos sinérgicos. Liu *et al.* (2018), observaron que los AE y los AO mejoran la capacidad de los cerdos para evitar la colonización de bacterias patógenas en el intestino, mejoran la utilización de minerales, actúan como fuente de energía, estimulan la secreción de enzimas endógenas y optimizan la inmunidad y la estabilidad antioxidante.

La presente revisión tiene como objetivo informar sobre el uso de cinamaldehído y ácidos orgánicos como promotores del crecimiento en cerdos.

## 2. COMPUESTOS ALTERNATIVOS A LOS ANTIBIÓTICOS COMO PROMOTORES DE CRECIMIENTO EN LOS CERDOS

Los antibióticos promotores de crecimiento son perjudiciales para la salud humana porque los genes de resistencia a múltiples fármacos pueden transferirse horizontalmente de bacterias no patógenas a patógenas, lo que resulta en la transferencia directa de bacterias resistentes a los antibacterianos de animales a humanos (Han *et al.*, 2018). Además, los antibióticos promotores de crecimiento no son ecológicos, ya que sus residuos contaminan el suelo y el agua, lo que impacta negativamente el ecosistema y sus funciones (Kuppusamy *et al.*, 2018).

Se ha informado que los promotores de crecimiento alternativos, como los AE y los AO, mejoran la capacidad de los cerdos para inhibir la colonización del intestino por bacterias patógenas (Liu *et al.*, 2018). Los AE son una mezcla de diversos compuestos, principalmente terpenos y derivados de terpenos (Figura 1). Son líquidos hidrofóbicos concentrados que contienen compuestos aromáticos volátiles producidos por las plantas y almacenados en cavidades, células secretoras y células epidérmicas. Los factores ecológicos, las especies, las condiciones climáticas, el momento de la cosecha, la parte de la planta utilizada y el método de extracción afectan la composición química de los AE y su eficacia (Lan *et al.*, 2016). Los AE se producen como metabolitos secundarios y poseen propiedades antibacterianas, antifúngicas y antivirales (Zeng *et al.*, 2015). Los compuestos activos presentes en los AE evitan el desarrollo de estructuras virulentas en las bacterias, y los compuestos activos alteran el sistema enzimático de éstas y bloquean su virulencia (Liu *et al.*, 2018). Las propiedades hidrofóbicas de los AE les permite separar los lípidos presentes en la membrana celular de las bacterias y las mitocondrias, haciéndola más permeable, a la vez que alteran la estructura celular (Tariq *et al.*, 2019). Además, poseen un olor intenso que hace que el alimento sea atractivo, y los cerdos tienden a consumir alimento con mayor frecuencia o en mayor cantidad en cada comida (Han *et al.*, 2018).

Estudios sobre AO han demostrado que son benéficos y mejoran la digestión de nutrientes. El ácido fórmico y sus sales reducen el pH del tracto gastrointestinal, lo que aumenta la actividad de las enzimas digestivas (Tariq *et al.*, 2019). El ácido cítrico mejora la digestibilidad aparente total de la proteína, el calcio y el fósforo en las cerdas (Choi *et al.*, 2020). El ácido benzoico, en la dieta, mejora la digestibilidad aparente del calcio y el fósforo en cerdos en crecimiento, así como la de la proteína cruda en lechones

destetados; también, las cerdas alimentadas con dietas adicionadas con ácido benzoico presentaron un alto coeficiente de digestibilidad de la materia orgánica, el extracto etéreo, la proteína y la fibra cruda (Resende *et al.*, 2020). También se ha observado, que la suplementación dietética con mezclas de ácidos protegidos aumentó la digestibilidad de la materia seca, el nitrógeno y la energía en cerdas lactantes (Pluske *et al.*, 2021). Además, mejoran la utilización de minerales, actúan como fuente de energía, promueven la secreción de enzimas endógenas, mejoran la inmunidad y la estabilidad antioxidante (Liu *et al.*, 2018). Se ha observado que la mejora del rendimiento porcino, por el uso de AE y AO como aditivos alimenticios, es comparable a la de los antibióticos promotores del crecimiento (Pateiro *et al.*, 2018; Zhai *et al.*, 2018).

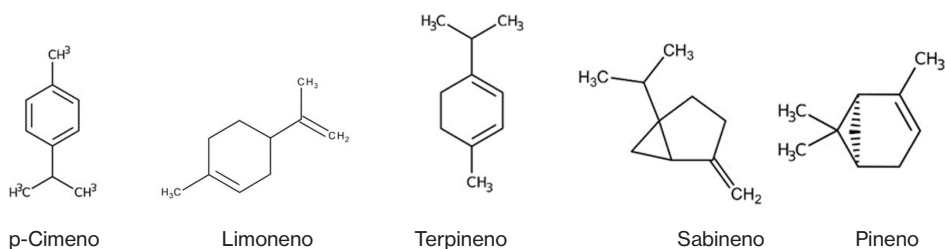
### 3. COMPONENTES DE LOS ACEITES ESENCIALES

Los AE son líquidos hidrofóbicos, altamente concentrados, derivados de una variedad de plantas y definidos en función de sus propiedades químicas y físicas (Masyita *et al.*, 2022); contienen compuestos volátiles y no volátiles (Aziz *et al.*, 2018). La composición química de los AE incluye compuestos fenólicos, terpenos, terpenoides, fenilpropanoides y otros constituyentes alifáticos y aromáticos, generalmente de composición compleja, obtenidos a partir de materia vegetal por destilación al vapor, destilación seca o un proceso mecánico adecuado sin calentamiento (Hoffmann, 2020; Neagu *et al.*, 2023).

Los AE han mostrado tener propiedades antimicrobianas, antioxidantes, antiparasitarias, antiinflamatorias, antidiarreicas y antimicóticas; mejoran la conversión alimenticia, estimulan enzimas digestivas y dan mejor sabor a los alimentos (Gheisar & Kim, 2017); en las especies pecuarias se ha demostrado sus beneficios para mejorar la digestibilidad, conversión alimenticia y productividad de los animales, así como su efecto antioxidante y antiparasitario, que los hace una alternativa viable al uso de aditivos y fármacos (Martínez *et al.*, 2015). Estos compuestos tienen un mayor efecto contra bacterias Gram positivas (Gram+), porque la entrada de compuestos hidrofóbicos a través de las estructuras de lipopolisacáridos de las bacterias Gram- está limitada, debido a su membrana externa que recubre la pared celular (Azhdarzadeh & Hojjati, 2016). Se han propuesto diferentes formas de acción antimicrobiana, como provocar el mal funcionamiento de la membrana celular, la inhibición de la síntesis o expresión de ADN/ARN, o la interferencia con la detección del *quórum* al interrumpir la comunicación celular; también se ha documentado que algunos fito compuestos inhibieron la producción de toxinas bacterianas (Arrigoni *et al.*, 2024).

### 3.1. TERPENOS

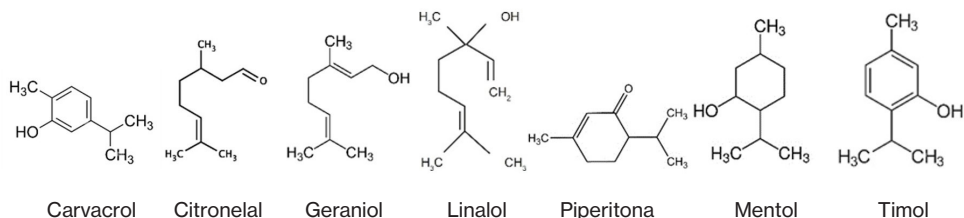
Los terpenos pertenecen al grupo más grande de metabolitos secundarios de las plantas, son hidrocarburos simples (Perveen, 2021). Éstos, se producen a partir de la combinación de varias unidades de isopreno, lo que les confiere una estructura hidrocarbonada. Son sintetizados en el citoplasma de las células vegetales a través del ácido mevalónico a partir del acetyl-CoA (Hyldgaard *et al.*, 2012). Poseen una columna vertebral de hidrocarburos que puede ser reorganizada en estructuras cíclicas por las ciclasas para formar estructuras monocíclicas o bicíclicas (Caballero *et al.*, 2003). Entre los principales terpenos se encuentran los monoterpenos ( $C_{10}H_{16}$ ) y los sesquiterpenos ( $C_{15}H_{24}$ ), aunque, también existen cadenas más largas como los diterpenos ( $C_{20}H_{32}$ ), sestercoipenos ( $C_{25}H_{40}$ ), los triterpenos ( $C_{30}H_{40}$ ) y los meroterpenos; algunos ejemplos de monoterpenos son el p-cimeno, el limoneno, el terpineno, el sabineno y el pineno (Hyldgaard *et al.*, 2012; Perveen, 2021). Se ha indicado, que los terpenos ejercen actividades antimicrobianas contra las bacterias susceptibles y resistentes a los antibióticos, especialmente a través de su capacidad para producir la ruptura celular y la inhibición de la síntesis de proteínas y ADN (Álvarez-Martínez *et al.*, 2021). A continuación, se muestran estructuras químicas de algunos de los AE del grupo de los terpenos.



### 3.2. TERPENOIDES

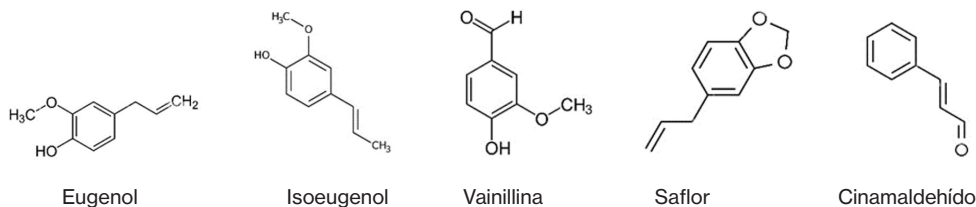
Los terpenoides son un tipo de terpenos que experimentan modificaciones bioquímicas a través de enzimas que añaden moléculas de oxígeno, eliminan o adicionan grupos metilo (Caballero *et al.*, 2003; Pandey *et al.*, 2017). La mayoría de los terpenoides son biológicamente activos y se utilizan para el tratamiento de muchas enfermedades (Perveen, 2021); se pueden agrupar en alcoholes, aldehídos, ésteres, éter, epóxidos, cetonas y fenoles; algunos ejemplos de terpenoides son el carvacrol, citrionelal, geraniol, linalol, acetato de linalilo, piperitona, mentol y timol (Hyldgaard *et al.*, 2012). La mayoría de los terpenoides deben su acción antimicrobiana a los grupos funcionales hidroxilo, fenólicos y a la presencia de electrones deslocalizados; estos elementos son importantes

para su acción antimicrobiana (Nazzaro *et al.*, 2013). Los monoterpenoides más activos, identificados hasta ahora, son el carvacrol y el timol (Hyldgaard *et al.*, 2012). A continuación, se muestran estructuras químicas de algunos de los AE del grupo de los terpenoides.



### 3.3. FENILPROPENOS

Los fenilpropanoides se sintetizan por la vía del ácido shikímico y se denominan así por contener un grupo fenol aromático de seis carbonos y una cola de propeno de tres carbonos que procede del ácido cinámico, y se origina durante el primer paso de la biosíntesis de los fenilpropanoides (Nazzaro *et al.*, 2013; Stevanovic *et al.*, 2020). Estos compuestos, representan una fracción relativamente pequeña de los AE; entre los compuestos más estudiados de esta fracción están el eugenol, el isoeugenol, la vainillina, el safrol y el cinamaldehído (Hyldgaard *et al.*, 2012). Gill & Holley (2004), observaron que la aplicación de eugenol y cinamaldehído a concentraciones bactericidas producen un rápido efecto sobre las bacterias; el cinamaldehído, al utilizarse contra *E. coli* y *S. Typhimurium* muestra una actividad similar a la del timol y el carvacrol, considerados los AE más potentes (Helander *et al.*, 1998). A continuación, se muestran estructuras químicas de algunos de los AE del grupo de los fenilpropanoides.



## 4. EFECTO DE LOS ACEITES ESENCIALES EN LA SALUD ANIMAL

Los AE se han utilizado en medicina como agentes antimicrobianos, antivirales, antiinflamatorios, digestivos, carminativos, antipiréticos, antitusivos, antisépticos, cicatrizantes y anticancerígenos (Aziz *et al.*, 2018). En la producción animal, se ha observado que los AE adicionados en la dieta alimenticia participan en la modificación

del microbioma intestinal y en la inmunidad de los animales (Kraimi *et al.*, 2019; Qamar *et al.*, 2020; Chávez-Soto *et al.*, 2021); son capaces de mejorar la morfología intestinal, los procesos de digestión y absorción de nutrientes; además, disminuye el gasto energético y la inflamación intestinal (Maya-Ortega *et al.*, 2021); asimismo, previenen infecciones intestinales que provocan diarreas, que son una de las mayores causas de muerte en cerdos recién destetados. Baca & Ampuero (2019), Buenaño-Haro & Bravo-Sánchez (2022), observaron que los AE influyen en los animales, según el nivel de suplementación que se realice, mejoran el consumo, la ganancia de peso, la conversión alimentaria y la digestibilidad del alimento, al optimizar la capacidad de absorción de las vellosidades en lechones recién destetados. Se ha sugerido que estos aditivos mejoran el sabor del alimento, la secreción de enzimas digestivas, la motilidad gástrica e intestinal, la estimulación endocrina e inmune, la actividad antiinflamatoria, antioxidante y, por consecuencia, se obtienen mejoras en el consumo, la digestibilidad, la conversión alimentaria y el peso de los animales (Gheisar & Kim, 2017, Madrid *et al.*, 2018). Se ha observado que mejoran el equilibrio redox en diferentes órganos al atenuar el daño oxidativo inducido por diferentes factores estresantes fisiológicos (Zeng *et al.*, 2014; Martínez *et al.*, 2015). Zeng *et al.* (2015), observaron que los cerdos alimentados con una dieta suplementada con AE tenían niveles más altos de albúmina, IgA, IgG, capacidad antioxidante total y puntuación fecal más baja en comparación con los cerdos alimentados con dietas testigo. En un estudio *in vivo* en cerdos, se observó que la suplementación dietética con 100 mg/kg de una mezcla de carvacrol y timol (1:1) disminuyó el estrés oxidativo intestinal asociado al destete mediante la disminución del ARNm del factor de necrosis tumoral- $\alpha$  (TNF-  $\alpha$ ; Wei *et al.*, 2017).

#### 4.1. EFECTO DE LOS ACEITES ESENCIALES EN LA CERDA Y LOS LECHONES

Miller *et al.* (2009), observaron que la suplementación con 2 g/kg de una mezcla de AE, desde 10 días antes de la fecha estimada del parto hasta el destete, mejoró el consumo de alimento y disminuyó la pérdida de peso de las cerdas durante la primera semana de lactancia y aumentó el peso corporal de los lechones al destete. Hall *et al.* (2021), observaron que las cerdas en lactancia suplementadas con AE de orégano lograron lechones más pesados a la semana de edad, 10 semanas después del destete y en el momento del sacrificio. También, los registros sanitarios mostraron que los lechones procedentes de las camadas suplementadas con AE redujeron significativamente la incidencia de tratamiento terapéutico y la mortalidad.

Se ha observado que la suplementación con AE mejora el estado inmunológico de los lechones después del destete, al aumentar la tasa de proliferación de linfocitos, la

tasa de fagocitosis, así como los niveles séricos de IgG, IgA, IgM, C3 y C4 (Li *et al.*, 2012; Zeng *et al.*, 2014). Hernández-García *et al.* (2024), realizaron un metaanálisis sobre el uso de AE como aditivo dietético para lechones destetados en el rendimiento del crecimiento, estado antioxidante, respuesta inmune y morfología intestinal, y determinaron que la suplementación con AE aumentó ( $p<0.001$ ) el consumo diario promedio de alimento, la ganancia diaria promedio y el peso corporal final, y disminuyó ( $p<0.001$ ) el índice de conversión alimenticia y la incidencia de diarrea. Se observó un menor contenido sérico de malondialdehído ( $p=0.001$ ) y mayores concentraciones séricas ( $p<0.05$ ) de superóxido dismutasa, catalasa, glutatión peroxidasa y capacidad antioxidante total en respuesta a la inclusión dietética de AE. La suplementación con AE aumentó ( $p<0.001$ ) la concentración sérica de inmunoglobulinas A, G y M y disminuyó ( $p<0.05$ ) la concentración sérica del TNF-  $\alpha$ , interleucina-1 $\beta$  e interleucina-6. Se observó una mayor ( $p<0.001$ ) altura de las vellosidades (AV) en el yeyuno y el íleon en respuesta a la inclusión dietética de AE. Sin embargo, la suplementación con AE no afectó ( $p>0.05$ ) la profundidad de las criptas (PC) y disminuyó ( $p<0.001$ ) la relación AV/PC en el duodeno, yeyuno e íleon; estos autores, concluyeron que los aceites esenciales se pueden utilizar como aditivo dietético para mejorar el rendimiento del crecimiento y reducir la incidencia de diarrea en lechones destetados y, al mismo tiempo, mejorar el estado antioxidante en el suero sanguíneo, la respuesta inmune y la morfología intestinal.

## 5. ACEITE ESENCIAL DE CANELA (CINAMALDEHÍDO)

La canela es una especia que se obtiene de la corteza interna de varios árboles del género *Cinnamomum* y es una de las principales fuentes de cinamaldehído (Shreaz *et al.*, 2016). Las especies más comunes de canela son *C. cassia* (canela china) y *C. verum* (*C. zeylanicum*, o canela verdadera). El AE de estas dos especies contienen un porcentaje variable de cinamaldehído con hasta un 85.3 y 90.5%, respectivamente (Shreaz *et al.*, 2016). Cerca de 89 compuestos se han aislado de diferentes partes de la planta de canela; de éstos, el cinamaldehído es el componente principal (Friedman, 2017). Diferentes estudios han demostrado que el cinamaldehído aislado del AE de canela inhibe eficazmente el crecimiento de una variedad de microorganismos como bacterias, mohos y levaduras; también se ha informado que inhibe la producción de toxinas por parte de los microorganismos (Friedman, 2017). Se ha observado que la complementación de la dieta de los pollos de engorde con aceite de canela (cinamaldehído) dio como resultado una caída significativa en los niveles de proteína de choque térmico, lo que puede reducir el estrés por calor (Abd El-Hack *et al.*, 2020). Manzanilla *et al.* (2009), observaron

que la incorporación de carvacrol, cinamaldehído y oleoresina de pimienta promueve resultados positivos y negativos en la función digestiva, epitelio intestinal, ecología microbiana y fermentación en cerdos destetados, lo que se ha asociado con la cantidad de proteína incluida en la dieta; por su parte, Liu *et al.* (2025), observaron que la adición de ácido fumárico y cinamaldehído, solos o en combinación en la dieta, puede mejorar el rendimiento del crecimiento, la función antioxidante y la capacidad antiinflamatoria de los lechones destetados, y la adición combinada tiene un efecto sinérgico.

## 5.1. EFECTO DEL CINAMALDEHÍDO EN LOS MICROORGANISMOS

El aceite de canela (*Cinnamomum zeylanicum*) está compuesto por cinamaldehído (71.5%), linalol (7%),  $\beta$ -cariofileno (6.4%), eucaliptol (5.4%) y eugenol (4.6%); los compuestos fenólicos y bioactivos tienen capacidad para eliminar radicales libres e inhibir la oxidación del  $\beta$ -caroteno; así como, bacterias patógenas y de descomposición, especialmente las Gram+ (Behbahani *et al.*, 2020). En estudios *in vitro* se ha observado que el cinamaldehído actúa contra bacterias resistentes a los antimicrobianos (Sakia *et al.*, 2020).

El eugenol y el cinamaldehído tienen un grupo funcional fenólico y se ha informado de sus actividades antimicrobianas relacionadas con los efectos en la membrana y en la generación de energía (Gill & Holley, 2004; 2006); estos AE pueden inhibir eficazmente la actividad de la histidina descarboxilasa de *Enterococcus aerogenes* en niveles subletales (Wendakoon & Sakaguchi, 1995). Se cree que el grupo hidroxilo del eugenol y el grupo carbonilo del cinamaldehído se unen a las proteínas e inhiben la acción de las descarboxilasas de aminoácidos en *E. aerogenes*. Por tanto, el principal mecanismo de acción del timol, carvacrol, eugenol y cinamaldehído está relacionado con sus efectos sobre las membranas citoplasmáticas y el metabolismo energético. También, se ha informado que el cinamaldehído y el eugenol, tienen actividad antibacteriana contra *Salmonella* spp., *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* (Chang *et al.*, 2001); además, puede interrumpir el crecimiento de bacterias patógenas y promover el crecimiento de bacterias beneficiosas en el tracto digestivo de las aves (Kishawy *et al.*, 2019). El cinamaldehído a una dosis de 100 a 400 mg/kg en la dieta de lechones recién destetados tuvo una actividad antimicrobiana contra bacterias coliformes y *E. coli* (Van Liefferinge *et al.*, 2022). Li *et al.* (2012), compararon el rendimiento de lechones alimentados con una dieta testigo no suplementada con el de lechones alimentados con una dieta suplementada con antibióticos o una combinación de timol y cinamaldehído; los resultados obtenidos indicaron que el aumento de peso, la conversión alimenticia y la consistencia fecal de los cerdos alimentados con estos AE fueron iguales a la de los

cerdos alimentados con antibióticos. Zeng *et al.* (2014), observaron que la adición de 0.25 g/kg de AE (4.5% cinamaldehído y 13.5% timol) en dietas para cerdos destetados mejoró la ganancia de peso y la digestibilidad aparente de la materia seca, la proteína cruda y la energía en comparación con los cerdos alimentados con la dieta testigo. Li *et al.* (2012), al evaluar el efecto de AE comerciales que contenían timol y cinamaldehído a niveles de adición de 50-150 g/t en la dieta ofrecida a cerdos en crecimiento, observaron mayores ganancias de peso en comparación con los animales testigo (0.430 vs. 0.370 kg/d, respectivamente), reducción de las diarreas (3.6 vs. 7.5%) y de la cuenta de *E. coli* en las heces (6.3 vs. 6.7%), aumento de la población de *Lactobacillus* (7.6 vs. 7.2%) y una mejor conversión alimenticia (1.90 vs.1.96), respecto del testigo. También, el consumo de alimento adicionado con aceite de canela a niveles de 1 g/kg, a partir de los 109 días de gestación y durante la lactancia hasta el destete (a los  $25.2 \pm 2.6$  d después del parto de la cerda) tendió a aumentar la ingesta de alimento en las cerdas multiparas ( $6.20 \pm 0.21$  vs.  $5.66 \pm 0.20$  kg;  $p=0.06$ ), pero no en las cerdas primiparas ( $5.13 \pm 0.33$  vs.  $5.56 \pm 0.33$  kg,  $p = 0.35$ ); además, la tasa de mortalidad de los lechones antes del destete fue menor en las cerdas que consumieron alimento suplementado con aceite de canela en comparación con el grupo testigo (15.5 vs. 25.6%,  $p=0.029$ ; Khamtawee *et al.*, 2021).

## 6. ÁCIDOS ORGÁNICOS

Los AO están ampliamente distribuidos en la naturaleza; forman parte de los constituyentes normales de plantas y tejidos animales; también, se producen por síntesis química o fermentación microbiana de carbohidratos en el intestino grueso (Hajati, 2018); se han utilizado durante mucho tiempo para apoyar el crecimiento de los cerdos, especialmente al destete, y más recientemente se han convertido en una alternativa a los promotores del crecimiento sintéticos para mejorar la eficiencia de la producción de los cerdos (Tugnoli *et al.*, 2020). Se ha informado que los AO son eficientes promotores del crecimiento a lo largo del ciclo de producción de los cerdos, aunque existe una variación relativamente grande en las respuestas debido a diversos factores, como el tipo y la dosis de AO utilizados, la duración de la suplementación, el tipo de dieta y la capacidad de amortiguación, las normas de higiene y bienestar, el estado de salud y la edad de los animales (Mroz *et al.*, 2006). Los AO se utilizan principalmente durante el período de destete, que es considerada una de las etapas más críticas en la cría de cerdos, también durante la gestación, la lactancia y la engorda. La suplementación con AO produce una mejora en el rendimiento del desarrollo y en la eficiencia alimenticia; estos efectos, son consecuencia de los diferentes modos de acción sobre la composición del microbioma,

la morfología de la mucosa intestinal, la actividad enzimática y el metabolismo energético animal (Ferronato & Prandini, 2020).

## 7. CLASIFICACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS ÁCIDOS ORGÁNICOS

Los AO pueden ser clasificados en tres categorías principales: ácidos grasos de cadena corta (AGCC), ácidos grasos de cadena media (AGCM) y ácidos tricarbóxicos (ATC) (Grilli & Piva, 2012). Los AGCC, o ácidos monocarbóxicos simples de cinco átomos de carbono máximo, como los ácidos acético, fórmico, propiónico y butírico, se sintetizan en el intestino grueso mediante la fermentación de azúcares y aminoácidos no digeribles por parte de los microorganismos benéficos (Tugnoli *et al.*, 2020; Rathnayake *et al.*, 2021). Particularmente, el ácido acético, propiónico y butírico se generan en una relación fisiológica (60:25:15), y desempeñan un papel clave para el trofismo de la mucosa intestinal y el metabolismo general (Mroz, 2005). En los lechones y cerdos mejoran la morfología intestinal y tienen un efecto favorable sobre la pared intestinal, al reducir la inflamación (Suiryanrayna & Ramana, 2015). También, gracias a su estado líquido, los AGCC se emplean principalmente como acidificantes de alimentos, inoculantes de ensilaje y conservantes (Tugnoli *et al.*, 2020).

Los AGCM, o ácidos carbóxicos que poseen un grupo hidroxilo y contienen de 6 a 12 átomos de carbono, como los ácidos málico, cítrico, tartárico y láctico, constituyen una importante fuente de energía con alta actividad antimicrobiana debido a su alto valor de constante de disociación (pKa) (Tugnoli *et al.*, 2020; Rathnayake *et al.*, 2021). Estos ácidos se incorporan a los fosfolípidos de la membrana celular; además, pueden representar una fuente importante de energía en la nutrición de lechones jóvenes (Diao *et al.*, 2019). Debido a su alta constante de disociación (pKa) los AGCM tienen una notable actividad antibacteriana en comparación con los AGCC en el intestino grueso (Gupta *et al.*, 2019).

Por último, los ATC cuentan con dobles enlaces como el ácido sórbico y el fumárico; son intermediarios en el ciclo de Krebs e intervienen en el metabolismo energético (Tugnoli *et al.*, 2020; Rathnayake *et al.*, 2021). Los ATC cambian la morfología intestinal y la función de barrera, con una influencia favorable en el microbioma (Li *et al.*, 2019).

La eficacia antimicrobiana de los ácidos orgánicos comunes está determinada por la pKa y la longitud de la cadena de carbono (C1-C7). La parte no disociada reduce el pH en el área citoplasmática, lo que altera los procesos metabólicos normales de ciertos tipos de bacterias, como *E. coli*, *Listeria spp.*, *Salmonella spp.*, *Clostridium spp.* y algunos coliformes (Suiryanrayna & Ramana, 2015), alteraciones que matan a la célula; las

células bacterianas se ven obligadas a gastar energía para expulsar los protones, lo que provoca la acumulación intracelular del anión ácido  $\text{RCOO}^-$ . La acumulación de aniones interfiere con la síntesis de ARN y ADN, lo que resulta en un deterioro del crecimiento y la multiplicación celular, así como en la presión osmótica celular, lo que induce efectos bactericidas y bacteriostáticos (Tugnoli *et al.*, 2020). Los AO de cadena larga (AOCL) tienen un mayor efecto inhibitorio en las bacterias Gram+ que en las Gram- debido a las diferencias estructurales en la membrana celular (Suiryanrayna & Ramana, 2015).

Además, los AO actúan como fuente de energía en el intestino, ya que son productos intermediarios del ciclo del ATC (Tariq *et al.*, 2019). Su inclusión en la dieta ayuda a prevenir la degradación tisular causada por la gluconeogénesis y la lipólisis (Suiryanrayna & Ramana, 2015). Los aniones de AO pueden formar complejos con minerales como el calcio, el fósforo, el magnesio y el zinc, lo que mejora la digestión de minerales y reduce la excreción de minerales suplementarios y nitrógeno (Liu *et al.*, 2018).

## 8. ACTIVIDAD ANTIMICROBIANA DE LOS ÁCIDOS ORGÁNICOS

El mecanismo de acción de los AO comunes aún no se comprende completamente. Sin embargo, su mecanismo de acción podría deberse en parte a factores como: 1) la inhibición del desarrollo de microbios patógenos en el tracto gastrointestinal al reducir el pH intestinal; 2) la reducción de las tasas de vaciamiento gástrico y el mantenimiento de la secreción de enzimas endógenas; 3) la quelación mineral y la estimulación del metabolismo intermediario; y 4) facilitar la digestión como consecuencia de un pH gástrico más bajo y una mayor secreción de pepsina (Rathnayake *et al.*, 2021).

La adición de AO en la dieta puede tener un efecto beneficioso en el rendimiento de los animales ya que interfieren en la replicación de bacterias patógenas (Khan & Iqbal, 2015). También, la naturaleza lipófila de los AO débiles en su estado no disociado, les permite ingresar fácilmente a través de las membranas plasmática bacterianas, reducir el pH del interior, lo que eventualmente conduce a la muerte de la bacteria (Wang *et al.*, 2013; Nhara *et al.*, 2014). Los AO tienen una mayor eficacia contra las bacterias Gram- (Zhou *et al.*, 2007; Mahmoud, 2014). Sin embargo, Suiryanrayna & Ramana (2015) indicaron que los AOCL poseen un efecto más potente en la inhibición de las bacterias Gram+; asimismo, informaron que las condiciones ácidas en el estómago benefician el incremento de *lactobacilos*, que inhiben la proliferación y colonización de *E. coli* al bloquear los sitios de adhesión, o bien, ya sea por la producción de ácido láctico y sus metabolitos, que disminuyen el pH gástrico, y por consecuencia, controlan

los microorganismos patógenos. En un estudio con cerdos alimentados con dietas que contenían una combinación de AOCC y AOCM se redujo el pH en el estómago, así como la concentración de bacterias patógenas en el tracto gastro intestinal (TGI; Zentek *et al.*, 2013). Un pH gástrico bajo altera la microflora intestinal lo que resulta en una reducción de las especies bacterianas susceptibles a entornos ácidos, como *E. coli* y *Salmonella* (Khan & Iqbal, 2015).

Hay varios factores que contribuyen a la inhibición de los microorganismos por los AO, incluida la reducción del pH, la proporción de formas no disociadas de AO, la longitud de la cadena, el nivel de ramificación y la fisiología/metabolismo celular (Booth, 1985). Hay dos tipos principales de ácidos orgánicos; en el primer grupo se encuentran el ácido láctico, fumárico y cítrico, que son capaces de reducir el pH del estómago y disminuir indirectamente las bacterias sensibles al pH ácido. El segundo grupo está compuesto por el ácido butírico, fórmico, acético, propiónico y sórbico; éstos, reducen el pH en el TGI y actúan directamente sobre la pared celular de las bacterias Gram- (Papatisiros *et al.*, 2013).

Los AO que no están disociados pueden atravesar la membrana semipermeable del microorganismo e ingresar al citoplasma; una vez en el interior del microorganismo, las moléculas de AO se disocian y liberan protones de hidrógeno (H) que disminuyen el pH del citoplasma e interfieren con las enzimas involucradas en el transporte de nutrientes y las que se encargan de la transducción de señales de glucólisis de los microorganismos, lo que resulta en una deficiencia energética, debido al esfuerzo para mantener el pH interno de la célula bacteriana (Mroz *et al.*, 2006). En ese sentido, se ha reportado que la gran mayoría de las especies bacterianas requieren condiciones óptimas de pH ambiental; condiciones ambientes con pH menor a 4.5 afecta negativamente su supervivencia (Stratford & Eklund, 2003). Debido a que los AO poseen propiedades bactericidas y bacteriostáticas, se han propuesto los siguientes modo de acción sobre las bacterias Gram-: 1) los AO, al ser lipofílicos en su estado no disociados, penetran en el citoplasma de las bacterias (*Salmonella*); 2) los AO liberan iones H, lo que reduce el pH celular, y el metabolismo microbiano con base en enzimas disminuye; 3) para intentar restaurar el pH citoplasmático normal, la célula se ve obligada a expulsar los iones H a través de la membrana celular mediante la bomba de H-ATPasa, y 4) en última instancia, la proliferación de bacterias se ve mermada gradualmente al estar expuestas a los AO durante un tiempo prolongado (Lückstädt & Mellor, 2011).

## 9. EFECTOS SINÉRGICOS DE LOS ACEITES ESENCIALES COMBINADOS CON LOS ÁCIDOS ORGÁNICOS

Frecuentemente los AO se combinan con otros productos de origen natural, como los AE, para aprovechar posibles sinergias en el combate de las bacterias patógenas. Los AE sirven como antioxidantes, estimulan el sistema inmunológico, suprimen los microorganismos perjudiciales, estimulan los microbios beneficiosos y regulan la actividad de las enzimas, especialmente la lipasa; protegen las vellosidades intestinales e interfieren con la replicación del ADN de las células bacterianas, lo que les confiere efectos antibacterianos (Suiryanrayna & Ramana, 2015).

Existen varios estudios que demuestran los efectos aditivos de algunos AE y AO (Zhou *et al.*, 2007; Gheisar *et al.*, 2015; Gao *et al.*, 2019). Zhou *et al.* (2007), informaron que un AE (carvacrol o timol) en combinación con ácido acético o ácido cítrico, pero no con ácido láctico, tenía una mejor eficacia contra las bacterias Gram- (*S. Typhimurium*), en comparación con el AE individual o los AO solos. En un estudio *in vitro* se observaron efectos similares del cinamaldehído y el ácido láurico contra *Brachyspira hyodysenteriae*, el patógeno causante de la disentería porcina (Maele *et al.*, 2016). También, se confirmó que la combinación de ácido benzoico y AE a nivel de 3 g/kg mejora la ganancia diaria de peso de los lechones y, en consecuencia, el peso final, lo que representa una alternativa económicamente viable para sustituir los antibióticos en el alimento (Rodrigues *et al.*, 2020). Stamilla *et al.* (2020), observaron que la adición de una mezcla de AO y AE en la dieta de pollos de engorda, mejoró el crecimiento al final de la etapa de crecimiento y afectó positivamente la morfología intestinal. Además, se observó un control microbiano selectivo frente a *Clostridium perfringens*, *Enterobacteriaceae*, *Enterococos* y bacterias mesófilas. También, en la cama, el tratamiento dietético con AO y AE condujeron a una disminución general de los recuentos de bacterias mesófilas y *Enterococos*. Hu *et al.* (2023), observaron una mejora en el rendimiento productivo de pollos de engorde infectados con *Salmonella enteritidis* al alimentarlos con aceites esenciales recubiertos y una mezcla de ácidos orgánicos (timol, carvacrol, cinamaldehído, ácido caprílico, ácido benzoico y ácido butírico). En otro estudio se observó que un compuesto de carvacrol micro encapsulado y cinamaldehído mejoraron las variables productivas de los pollos de engorde (Bosetti *et al.*, 2020). Asimismo, se observó una mejora en el rendimiento del crecimiento, la morfología y el microbioma intestinal de pollos de engorda suplementados con un complejo de monoglicérido de ácido láurico y cinamaldehído en la dieta (Zheng *et al.*, 2023).

Liu *et al.* (2022), observaron que con una mezcla de AO y AE se optimizó el rendimiento, el estado inmune y antioxidante, así como la salud intestinal de los lechones

destetados. Liu *et al.* (2018), observaron que los AE y los AO mejoran la capacidad de los cerdos para evitar la colonización de bacterias patógenas en el intestino, mejoran la utilización de minerales, actúan como fuente de energía, estimulan la secreción de enzimas endógenas y optimizan la inmunidad y la estabilidad antioxidante. Ma *et al.* (2022), observaron que la suplementación con AE y AO micro encapsulados a nivel de 1.5 kg/t alivió la diarrea y mejoró la digestibilidad aparente de los nutrientes en los lechones, a través de la mejora de la inmunidad y capacidad antioxidantes, el aumento de la actividad de las enzimas digestivas, la regulación positiva de la expresión de genes relacionados con la barrera intestinal y la modificación de la estructura de las poblaciones microbianas del ciego y el colon. Jiménez *et al.* (2020), observaron que la suplementación con AO y cinamaldehído en la dieta de lechones destetados, a una dosis de 2 kg/t, protegió los tejidos intestinales contra el daño enterotoxigénico de *Escherichia coli*.

Se sabe que los fenoles en los AE pueden cambiar la estructura y funciones de la membrana celular bacteriana, lo que provoca hinchazón y, por lo tanto, un aumento de la permeabilidad de la membrana. La membrana celular comprometida podría explicar el sinergismo observado, ya que los compuestos fenólicos podrían causar daños importantes a las membranas celulares, y esto, aumenta la susceptibilidad de las bacterias a los AO. Además, la hidrofobicidad de un AE aumenta a un pH bajo, lo que le permite pasar más fácilmente a través de los lípidos de la membrana celular bacteriana (Karatzas *et al.*, 2001). En estudios posteriores, los resultados han mostrado claramente la eficacia *in vivo* de tales estrategias dietéticas sinérgicas en cerdos y aves de corral (Diao *et al.*, 2015; Balasubramanian *et al.*, 2016; Walia *et al.*, 2016; Liu *et al.*, 2017). Sin embargo, Alvarado-Núñez *et al.* (2021) al ofrecer una dieta suplementada con AE y AO (2 kg de AE+AO; 3% de aceite de hinojo -*Foeniculum vulgare*- y extracto de *Yucca shidigera*, 3% ácido propiónico y/o propionato de amonio y 16 % ácido fórmico y/o formiato de amonio) a partir del día 77 de gestación, 28 días de lactancia y 28 días post servicio, no observaron mejoras en el desempeño productivo de las cerdas. En el Cuadro 1 se resumen resultados de estudios realizados sobre el efecto de la adición aceites esenciales y ácidos orgánicos en la salud intestinal y respuesta productiva en cerdos y aves de corral.

Cuadro 1. Resultados de efectos de la adición de aceites esenciales solos o en combinación con ácidos orgánicos en la salud intestinal y respuesta productiva en cerdos y aves de corral.

Nivel de inclusión de AE y AO	Resultados	Fuente
Cinamaldehído (0.16 mM) + Acido láurico (0.31 mM). In vitro	Efecto antibacteriano contra <i>Brachyspira hyodysenteriae</i>	Maele et al. (2016)

<p>Blend micro encapsulado (60% cinamaldehído + 30% carvacrol).</p> <p>*Dosis 100 mg/kg</p> <p>**Dosis 200 y 400 mg/kg</p>	<p>* Mejora la GDP en pollos, fase inicial (1-7 d); mayor relación vellosidad/cripta, mejor integridad intestinal.</p> <p>** Mitiga los efectos negativos de la infección por Salmonella enteritidis, mejora el rendimiento productivo y la salud intestinal modulando favorablemente la microbiota.</p>	<p>Bosetti et al. (2020)</p>
<p>AE+AO (8% timol, 8% carvacrol, 5% cinamaldehído, 1% ácido caprílico, 6% ácido benzoico y 1% ácido butírico).</p> <p>Dosis 500–800 mg/kg</p>	<p>Mejorar el crecimiento, la morfología intestinal, la capacidad antioxidante y la composición de la microbiota en pollo de engorda.</p>	<p>Hu et al. (2023)</p>
<p>Complejo (85% monoglicéridos de ácido láurico + 15% cinamaldehído).</p> <p>Dosis 500mg/kg</p>	<p>Mejorar el crecimiento, la morfología intestinal, la capacidad antioxidante y la composición de la microbiota en pollo de engorda.</p>	<p>Zheng et al. (2023)</p>
<p>AO + AE (2000 mg/kg de ácido benzoico + 100 mg/kg de timol)</p>	<p>Menor puntuación de diarrea, mejor relación de conversión alimenticia, mejor digestibilidad aparente total del extracto etéreo, Ca y ceniza bruta, mayores actividades de lipasa, lactasa y sacarosa en el yeyuno, recuentos más altos de Lactobacillus spp. en el contenido digestivo del íleon y de Bacillus spp. en el contenido digestivo del ciego, una menor concentración de nitrógeno amoniacal en el contenido digestivo del ciego en los días, mayor concentración de ácido butírico en el contenido del ciego y mayor relación altura de vellosidades: profundidad de criptas en el yeyuno e íleon.</p>	<p>Diao et al. (2015)</p>
<p>AE (500-1000 mg/kg)</p>	<p>Aumento el peso corporal el peso corporal de las cerdas, la ganancia diaria promedio, la puntuación fecal de los lechones lactantes y redujo el número de lechones con diarrea.</p>	<p>Balasubramanian et al. (2016)</p>
<p>AO + AE (0.2 % de mezcla de AO de cadena media + 0.6 % mezcla de AE)</p>	<p>Mejoró el rendimiento del crecimiento, redujo la tasa de diarrea y mejoró la inmunidad sérica al regular la microbiota de los lechones destetados.</p>	<p>Han et al. (2018)</p>
<p>AE + AO micro encapsulado (2 g/kg)</p>	<p>Mejoró la morfología intestinal y mostró efectos anti-diarreicos en lechones destetados expuestos a ETEC F4.</p>	<p>Choi et al. (2020)</p>
<p>Formula comercial estandarizada (AO + cinamaldehído).</p> <p>Dosis 2000 mg/kg</p>	<p>Protege los tejidos intestinales y hepáticos, reduce la inflamación y mejora la capacidad antioxidante en lechones desafiados con E. coli enterotoxigénica.</p>	<p>Jiménez et al. (2020)</p>

AE de canela (1 g/kg)	Aumentó el consumo diario de alimento de las cerdas multíparas durante la lactancia en ambiente tropical y disminuyó la mortalidad de los lechones antes del destete.	Khamtawee et al. (2021)
Mezcla encapsulada de AO + AE (Timol 4.5%, Carvacrol 4.8%, Cinamaldehído 4.3%, Formiato de calcio 10.1%, Ácido cítrico 25.1%). Dosis 1000 - 2000 mg/kg	Mejóro el crecimiento, redujo la diarrea, fortaleció la inmunidad y la capacidad antioxidante, y reforzó la barrera intestinal de los lechones destetados.	Liu et al. (2022)
Mezcla encapsulada de AO + AE (timol, vainillina, eugenol, fumárico, sórbico, málico y cítrico). Dosis 1500 mg/kg	Reducción de diarreas en lechones, mejora en la capacidad antioxidante de cerdas, mayor digestibilidad de nutrientes y energía, regulación positiva de genes de la barrera intestinal, incremento de ácidos grasos volátiles beneficiosos en el ciego, modulación de la microbiota intestinal, aumento de bacterias beneficiosas.	Ma et al., 2022
Cinamaldehído al 45%. Dosis 1 g/kg	Mejóro el rendimiento reproductivo de la cerda, la calidad de la leche, el estado antioxidante y la microbiota, el peso al nacimiento y al destete de los lechones.	Jin et al. 2025

## 10. CONCLUSIONES

La adición de aceites esenciales y ácidos orgánicos en la dieta de los cerdos es una estrategia prometedora para mejorar la salud intestinal, el rendimiento productivo, la sostenibilidad de la producción porcina y para reducir el uso de antibióticos promotores del crecimiento. Sin embargo, su eficacia depende de factores como la dosificación precisa, un manejo adecuado del alimento y las combinaciones utilizadas. Las futuras investigaciones deberán enfocarse en optimizar el uso de los aceites esenciales y ácidos orgánicos, además de explorar nuevas combinaciones sinérgicas para maximizar sus beneficios.

## LITERATURA CITADA

ABD EL-HACK ME, Alagawany M, Abdel-Moneim AE, Mohammed NG, Khafaga AF, Jumah MB, Othman S I, Allam A A, Elnesr SS. 2020. **Cinnamon (*Cinnamomum zeylanicum*) oil as potential alternative to antibiotics in poultry.** *Antibiotics*. 9:210. ISSN:2079-6382. <https://doi.org/10.3390/antibiotics9050210>

ALVARADO-NÚÑEZ JA, Hernández-Agüero M, Rodríguez-Campos L A. 2021. **Efecto de la suplementación con ácidos orgánicos y aceites esenciales en la productividad de cerdas.** *Nutrición Animal Tropical*. 15(2):147-161. ISSN:2215-3527. <https://doi.org/10.15517/nat.v15i2.48973>

- ÁLVAREZ-MARTÍNEZ F, Barrajón-Catalán E, Herranz-López M, Micol V. 2021. **Antibacterial compounds, extracts, and essential oils: An updated review on their effects and putative mechanisms of action.** *Phytomedicine*. 90:153626. ISSN:0944-7113. <https://doi.org/10.1016/j.phymed.2021.153626>
- ARRIGONI R, Ballini A, Jirillo E, Santacroce L. 2024. **Current view on major natural compounds endowed with antibacterial and antiviral effects.** *Antibiotics*. 13(7):603. ISSN:2079-6382. <https://doi.org/10.3390/antibiotics13070603>
- AZHDARZADEH F, Hojjati M. 2016. **Chemical composition and antimicrobial activity of leaf, ripe and unripe peel of bitter orange (*Citrus aurantium*) essential oils.** *Nutrition and Food Science Research*. 3:43–50. ISSN:2770-4475. <https://nfsr.sbmu.ac.ir/article-1-118-en.pdf>
- AZIZ ZA, Ahmad A, Setapar SH, Karakucuk A, Azim MM, Lokhat D, Rafatullah M, Ganash M, Kamal MA, Ashraf GM. 2018. **Essential oils: extraction techniques, pharmaceutical and therapeutic potential-A review.** *Current Drug Metabolism*. 19:1100–1110. ISSN:1875-5453. <https://doi.org/10.2174/1389200219666180723144850>
- BACA CN, Ampuero BA. 2020. **Efecto de la inclusión de aceite esencial de orégano en la dieta de lechones destetados sobre parámetros productivos.** *Revista de investigaciones veterinarias del Perú*. 30(4):1537–1542. ISSN:1609-9117. <https://doi.org/10.15381/rivep.v30i4.17145>
- BALASUBRAMANIAN B, Park JW, Kim IH. 2016. **Evaluation of the effectiveness of supplementing micro-encapsulated organic acids and essential oils in diets for sows and suckling piglets.** *Italian Journal of Animal Science*. 15(4):626–633. ISSN:1594-4077. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2016.1222243>
- BEHBAHANI A, Falah F, Arab L, Vasiee M, Yazdi T. 2020. **Chemical composition and antioxidant, antimicrobial, and antiproliferative activities of *Cinnamomum zeylanicum* bark essential oil.** *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. 29(2020):5190603. ISSN:1741-4288. <https://doi.org/10.1155/2020/5190603>
- BOOTH I R. 1985. **Regulation of cytoplasmic pH in bacteria.** *Microbiological Reviews*. 49(4):359. ISSN:1574-6976. <https://doi.org/10.1128/mr.49.4.359-378.1985>
- BOSETTI GE, Griebler L, Aniecevski E, Facchi CS, Baggio C, Rossatto G, Leite F, Valentini FDA, Santo AD, Pagnussatt H, Boiago MM, Petrolli TG. 2020. **Microencapsulated carvacrol and cinnamaldehyde replace growth-promoting antibiotics: effect on performance and meat quality in broiler chickens.** *Anais da Academia Brasileira de Ciências*. 92(3):e20200343. ISSN:1678-2690. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202020200343>
- BUENAÑO-HARO CX, Bravo-Sánchez LR. 2022. **Uso del jengibre (*Zinger officinale*) y cúrcuma (*Curcuma longa*) como aditivos fitobióticos en lechones posdestete.** *Koinonia*. 7(14):32-43. ISSN:2623-3738. <http://dx.doi.org/10.35381/r.k.v7i14.1853>
- CABALLERO B, Trugo LC, Finglas PM. 2003. **Encyclopedia of food sciences and nutrition.** Amsterdam, Academic Press. ISBN: 978-0-12-227055-0. <https://www.intechopen.com/chapters/62573>
- CHANG ST, Chen PF, Chang SC. 2001. **Antibacterial activity of leaf essential oils and their constituents from *Cinnamomum osmophloeum*.** *Journal of Ethnopharmacology*. 77:123–127. ISSN:1872-7573. [https://doi.org/10.1016/S0378-8741\(01\)00273-2](https://doi.org/10.1016/S0378-8741(01)00273-2)
- CHÁVEZ-SOTO D, Vázquez-Armijo J, Hernández-Meléndez J, Martínez-González J, Esparza-Jiménez S, López-Aguirre D. 2021. **Essential oils in small ruminants and their effect on productivity.** *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 24(2):1-12. ISSN:1870-0462. <http://dx.doi.org/10.56369/tsaes.3468>

CHOI J, Wang L, Liu S, Lu P, Zhao X, Liu H, Lahaye L, Santin E, Liu S, Nyachoti M, Yanng C. 2020. **Effects of a microencapsulated formula of lactic acids and essential oils on nutrient absorption, immunity, gut barrier function, and abundance of enterotoxigenic *Escherichia coli* F4 in weaned piglets challenged with *E. coli* F4.** *Journal of Animal Science*. 98(9): skaa259. ISSN:1525-3163. <https://doi.org/10.1093/jas/skaa259>

COSTA M, Alfieri A, Bessegato J, Filho J, Oba A, Weese S. 2017. **Different antibiotic growth promoters induce specific changes in the cecal microbiota membership of broiler chicken.** *PLoS ONE*. 12(2):1-14. ISSN:1932-6203. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171642>

DIAO H, Jiao AR, Yu B, Mao XB, Chen DW. 2019. **Gastric infusion of short-chain fatty acids can improve intestinal barrier function in weaned piglets.** *Genes & Nutrition*. 14(4):1-16. ISSN:1865-3499. <https://doi.org/10.1186/s12263-019-0626-x>

DIAO H, Zheng P, Yu B, He J, Mao X, Yu J, Chen D. 2015. **Effects of benzoic acid and thymol on growth performance and gut characteristics of weaned piglets.** *Asian-Australasian Journal Animal Science*. 28(6):827-839. ISSN:1976-5517. [http://refhub.elsevier.com/S2405-6545\(17\)30123-3/sref43](http://refhub.elsevier.com/S2405-6545(17)30123-3/sref43)

FERRONATO G, Prandini A. 2020. **Dietary supplementation of inorganic, organic, and fatty acids in pig: a review.** *Animals*; 10(10):1740. ISSN:2076-2615. <https://doi.org/10.3390/ani10101740>

FRIEDMAN M. 2017. **Chemistry, antimicrobial mechanisms, and antibiotic activities of cinnamaldehyde against pathogenic bacteria in animal feeds and human foods.** *Journal Of Agricultural and Food Chemistry*. 65(48):10406-10423. ISSN:1520-5118. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b04344>

GHEISAR MM, Kim IH. 2017. **Phytobiotics in poultry and swine nutrition – a review.** *Italian Journal of Animal Science*. 17(1):1-8. ISSN:1828-051X. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2017.1350120>

GHEISAR MM, Hosseindoust A, Kim IH. 2015. **Evaluating the effect of microencapsulated blends of organic acids and essential oils in broiler chickens diet.** *Journal of Applied Poultry Research*. 24:511-519. ISSN:1537-0437. <https://doi.org/10.3382/japr/pfv063>

GILL A O, Holley R. 2004. **Mechanisms of bactericidal action of Cinnamaldehyde against *Listeria monocytogenes* and of eugenol against *L. monocytogenes* and *Lactobacillus sakei*.** *Applied And Environmental Microbiology*. 70(10):5750-5755. ISSN:1098-5336. <https://doi.org/10.1128/aem.70.10.5750-5755.200>

GILL A, Holley R. 2006. **Disruption of *Escherichia coli*, *Listeria monocytogenes* and *Lactobacillus sakei* cellular membranes by plant oil aromatics.** *International Journal of Food Microbiology*. 108(1):1-9. ISSN:1879-3460. [http://refhub.elsevier.com/S2405-6545\(17\)30123-3/sref56](http://refhub.elsevier.com/S2405-6545(17)30123-3/sref56)

GRILLI E, Piva A. 2012. **Organic acids and their role in reducing foodborne pathogens in food animals.** *Current Research Information System*. 2(2):183-210. ISSN:2577-9958. <https://hdl.handle.net/11585/154684>

GUPTA RC, Srivastava A, Lall R. 2019. **Nutraceuticals in veterinary medicine.** Cham, Switzerland: Springer. ISBN: 978-3-030-04623-1. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-04624-8>

HAJATI H. 2018. **Application of organic acids in poultry nutrition.** *International Journal of Avian & Wildlife Biology*. 3(4):324-329. ISSN:2574-9862. <https://doi.org/10.15406/ijawb.2018.03.00114>

HALL H N, Wilkinson D J, Le Bon M. 2021. **Oregano essential oil improves piglet health and performance through maternal feeding and is associated with changes in the gut microbiota.** *Animal Microbiome*. 3(2):2-17. ISSN:2524-4671. <https://doi.org/10.1186/s42523-020-00064-2>

HAN YS, Tang CH, Zhao QY, Zhan TF, Zhang K, Han YM, Zhang JM. 2018. **Effects of dietary supplementation with combinations of organic and medium chain fatty acids as replacements for chlortetracycline on growth performance, serum immunity, and faecal microbiota of weaned piglets.** *Livestock Science*. 216:210–218. ISSN:1878-0490. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2018.08.013>

HELANDER I M, Alakomi H, Latva-Kala K, Mattila-Sandholm T, Pol I, Smid E J, Gorris L G, Von Wright A. 1998. **Characterization of the action of selected essential oil components on Gram-Negative bacteria.** *Journal Of Agricultural and Food Chemistry*. 46(9):3590-3595. ISSN:1520-5118. <https://doi.org/10.1021/jf980154m>

HERNÁNDEZ-GARCÍA PA, Orzuna-Orzuna JF, Godina-Rodríguez JE, Chay-Canul AJ, Silva GV. 2024. **A meta-analysis of essential oils as a dietary additive for weaned piglets: growth performance, antioxidant status, immune response, and intestinal morphology.** *Research In Veterinary Science*. 170:105181. ISSN:1532-2661. <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2024.105181>

HOFFMANN KH. 2020. **Essential Oils.** *Zeitschrift für Naturforschung C*. 75(7-8):177. ISSN:1865-7109. <https://doi.org/10.1515/znc-2020-0124>

HU Z, Liu L, Guo F, Huang J, Qiao J, Bi R, Huang J, Zhang K, Guo Y, Wang Z. 2023. **Dietary supplemental coated essential oils and organic acids mixture improves growth performance and gut health along with reduces Salmonella load of broiler chickens infected with Salmonella enteritidis.** *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 14:95. ISSN:2049-1891. <https://doi.org/10.1186/s40104-023-00889-2>

HYLDGAARD M, Mygind T, Meyer RL. 2012. **Essential oils in food preservation: mode of action, synergies, and interactions with food matrix components.** *Frontiers In Microbiology*. 3(12):1-24. ISSN:2371-9818. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2012.00012>

JIMÉNEZ M J, Berrios R, Stelzhammer S, Bracarense A. 2020. **Ingestion of organic acids and cinnamaldehyde improves tissue homeostasis of piglets exposed to enterotoxigenic Escherichia coli (ETEC).** *Journal of animal science*. 98(2):1-11. ISSN:1525-3163. <https://doi.org/10.1093/jas/skaa012>

KARATZAS A, Kets E, Smid E, Bennis M. 2001. **The combined action of carvacrol and high hydrostatic pressure on Listeria monocytogenes Scott A.** *Journal of Applied Microbiology*. 90(3):463-469. ISSN:1365-2672. [10.1046/j.1365-2672.2001.01266.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-2672.2001.01266.x)

KHAMTAWEE I, Singdamrong K, Tatanan P, Chongpaisarn P, Dumniem N, Pearodwong P, Suwimonteerabutr J, Nuntapaitoon M, Tummaruk P. 2021. **Cinnamon oil supplementation of the lactation diet improves feed intake of multiparous sows and reduces pre-weaning piglet mortality in a tropical environment.** *Livestock Science*. 251:104657. ISSN:871-1413. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2021.104657>

KHAN SH, Iqbal J. 2015. **Recent advances in the role of organic acids in poultry nutrition.** *Journal of Applied Animal Research*. 44(1):359–369. ISSN:0974-1844. <https://doi.org/10.1080/09712119.2015.1079527>

KISHAWY ATY, Amer SA, Abd El-Hack ME, Saadeldin IM, Swelum A A. 2019. **The impact of dietary linseed oil and pomegranate peel extract on broiler growth, carcass traits, serum lipid profile, and meat fatty acid, phenol, and flavonoid contents.** *Asian-Australasian Journal Animal Science*. 32(8):1161-1171. ISSN:1976-5517. <https://doi.org/10.5713/ajas.18.0522>

KOGUT MH, Yin Xiao Nan YX, Yuan Jian Min YJ, Broom L. 2017. **Gut health in poultry.** *CAB Reviews Perspectives in Agriculture Veterinary Science Nutrition and Natural Resources*. 17(31):1–7. ISSN:1749-8848. <https://doi.org/10.1079/pavsnr.201712031>

KRAIMI N, Dawkins M, Gebhardt-Henrich SG, Velge P, Rychlik I, Volf J, Creach P, Smith A, Colles F, Leterrier C. 2019. **Influence of the microbiota-gut-brain axis on behavior and welfare in farm animals: a review.** *Physiology & Behavior.* 210:112658. ISSN:1873-507X. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2019.112658>

KUPPUSAMY S, Kakarlab D, Venkateswarluc K, Megharajd M, Yoone YE, Lee YB. 2018. **Agriculture, ecosystems and environment veterinary antibiotics (VAs) contamination as a global agro-ecological issue: a critical view.** *Agriculture, Ecosystems & Environment.* 257:47–59. ISSN:1873-2305. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.01.026>

LAN RX, Li TS, Kim IH. 2016. **Effects of essential oils supplementation in different nutrient densities on growth performance, nutrient digestibility, blood characteristics and fecal microbial shedding in weaning pigs.** *Animal Feed Science and Technology.* 214:77–85. ISSN:0377-8401. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2016.02.011>

LI PF, Piao XS, Ru YJ, Han X, Xue LF, Zhang HY. 2012. **Effects of adding essential oil to the diet of weaned pigs on performance, nutrient utilization, immune response and intestinal health.** *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences.* 25(11):1617–26. ISSN:1976-5517. <https://doi.org/10.5713/ajas.2012.12292>

LI X, Mao M, Zhang Y, Yu K, Zhu W. 2019. **Succinate modulates intestinal barrier function and inflammation response in pigs.** *Biomolecules.* 9(9):486. ISSN:2218-273X. <https://doi.org/10.3390/biom9090486>

LIU A, Li Z, Jin X, Wu Q, Hu H, Zhang C. 2022. **An encapsulated organic acid and essential oil mixture improves the intestinal health of weaned piglets by altering intestinal inflammation and antioxidative capacity.** *Animals.* 12(18):2426. ISSN:2076-2615. <https://doi.org/10.3390/ani12182426>

LIU Y, Abelilla J, Casas G, Espinosa C, Jaworski N, Kwon W, Lagos V, Lee S, Mathai J, Navarro D, Stein H. 2018. **Non-antibiotic feed additives in diets for pigs: a review.** *Animal nutrition.* 4(2):113-125. ISSN:2833-0161. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2018.01.007>

LIU Y, Yang X, Xin H, Chen S, Yang C, Duan Y, Yang X. 2017. **Effects of a protected inclusion of organic acids and essential oils as antibiotic growth promoter alternative on growth performance, intestinal morphology and gut microflora in broilers.** *Animal Science Journal.* 88(9):1414–1424. ISSN:1740-0929. <https://doi.org/10.1111/asj.12782>

LIU Yu-tong, Yang Guan-hua, Wang Lu-yao, Ma Xin-yi, Qiao Jia-yun, Li Hai-hua. 2025. **Effects of fumaric acid and cinnamic aldehyde and their combination on growth performance, serum biochemical and antioxidant indices and intestinal inflammatory response of weaned piglets.** *Chinese Journal of Animal Nutrition.* 37(3): 1575-1584. ISSN:1006-267X. <https://doi.org/10.12418/CJAN2025.135>

SF, Xu YT, Pan L, Wang QQ, Wang CL, Wu JY, Wu YY, Han YM. 2018. **Mixed organic acids as antibiotic substitutes improve performance, serum immunity, intestinal morphology and microbiota for weaned piglets.** *Journal of Animal and Feed Sciences.* 235:23–32. ISSN:2719-8448. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2017.08.018>

LÜCKSTÄDT C, Mellor S. 2011. **The use of organic acids in animal nutrition, with special focus on dietary potassium diformate under European and Austral-Asian conditions.** *Recent Advances in Animal Nutrition – Australia.* 18(11):123-130. ISSN:0819-4823. [Recent-Advances-in-Animal-Nutrition-Australia-Vol-18-2011.pdf](https://doi.org/10.1016/j.riani.2011.08.001)

MA J, Long S, Wang J, Gao J, Piao X. 2022. **Microencapsulated essential oils combined with organic acids improve immune antioxidant capacity and intestinal barrier function as well as modulates**

- the hindgut microbial community in piglets.** *Journal of animal science and biotechnology.* 13(1):16. ISSN:2049-1891. <https://doi.org/10.1186/s40104-021-00670-3>
- MADRID T, López A, Parra J. 2018. **Efecto del aceite esencial de orégano (*Lippia origanoides*) sobre metabolitos sanguíneos en pollos de engorde.** *Revista de Medicina Veterinaria.* 1(37):25-33. ISSN:1852-771X. <https://doi.org/10.19052/mv.vol1.iss37.3>
- MAELE LV, Heyndrickx M, Dominiek M, Nele D, Maxime M, Verlinden M, Haesebrouck F, Boyen F. 2016. **In vitro susceptibility of *Brachyspira hyodysenteriae* to organic acids and essential oil components.** *Journal of Veterinary Medical Science.* 78(2):325-328. ISSN:1347-7439. [http://refhub.elsevier.com/S2405-6545\(17\)30123-3/sref100](http://refhub.elsevier.com/S2405-6545(17)30123-3/sref100)
- MAHMOUD BS. 2014. **The efficacy of grape seed extract, citric acid and lactic acid on the inactivation of *Vibrio parahaemolyticus* in shucked oysters.** *Food Control.* 41:13-16. ISSN:1873-7129. [http://refhub.elsevier.com/S2405-6545\(17\)30123-3/sref102](http://refhub.elsevier.com/S2405-6545(17)30123-3/sref102)
- MANZANILLA EG, Pérez JF, Martín M, Blandón JC, Baucells F, Kamel C, Gasa J. 2009. **Dietary protein modifies effect of plant extracts in the intestinal ecosystem of the pig at weaning.** *Journal of Animal Science.* 87(6):2029–2037. ISSN:1525-3163. <https://doi.org/10.2527/jas.2008-1210>
- MARTÍNEZ R, Ortega M, Herrera H J, Kawas G J, Zarate R J, Robles S R. 2015. **Uso de aceites esenciales en animales de granja.** *Interciencia.* 40(11):744-750. ISSN:0378-1844. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33942541003>
- MASYITA A, Sari RM, Astuti AD, Yasir B, Rumata NR, Emran TB, Nainu F, Simal-Gandara J. 2022. **Terpenes and terpenoids as main bioactive compounds of essential oils, their roles in human health and potential application as natural food preservatives.** *Food Chemistry: X.* 13(22):100217. ISSN:2471-4291. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2022.100217>
- MAYA-ORTEGA C, Ángel-Isaza J, Martínez-Morales B, Parra-Suescún J. 2021. **Aceite esencial de orégano (*Lippia origanoides*) mejora parámetros productivos y metabolitos sanguíneos en lechones.** *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial.* 19(2):82-93. ISSN:1909-9959. <https://doi.org/10.18684/bsaa.v19.n2.2021.1547>
- MEHDI Y, Chorfi Y, Gaucher M-L, Létourneau-Montminy M-P, Rouissi T, Suresh G. 2018. **Use of antibiotics in broiler production: Global impacts and alternatives.** *Animal Nutrition.* 4(2):170-178. ISSN:2405-6383. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2018.03.002>
- MILLER JA, Laurenz JC, Rounsavall JW, Burdick C, Neher FJ. 2009. **Enhancing feed intake by the sow during lactation using BIOMIN® PEP. In *Phytogenics in animal nutrition: natural concepts to optimize gut health and performance*, edited by Steiner T. Nottingham University Press. Pp. 87–96.** ISBN:1904761712. [https://books.google.com.mx/books/about/Phytogenics\\_in\\_Animal\\_Nutrition.html?id=Q3VFAQAIAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.mx/books/about/Phytogenics_in_Animal_Nutrition.html?id=Q3VFAQAIAAJ&redir_esc=y)
- MOLINA A. 2019. **Probióticos y su mecanismo de acción en alimentación animal.** *Agronomía Mesoamericana.* 30(2):601–611. ISSN:2215-3608. <https://doi.org/10.15517/am.v30i2.34432>
- MROZ Z, Koopmans SJ, Bannink A, Partanen K, Krasucki W, Øverland M, Radcliffe S. 2006. **Carboxylic acids as bioregulators and gut growth promoters in nonruminants.** *Biology of growing animals.* 4(6):81-133. ISSN:1877-1823. [https://doi.org/10.1016/S1877-1823\(09\)70091-8](https://doi.org/10.1016/S1877-1823(09)70091-8)
- MROZ Z. 2005. **Organic acids as potential alternatives to antibiotic growth promoters for pigs.** *Advances in pork production.* 16(1):169-182. ISSN:1489-1395. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20103212695>

NAZZARO F, Fratianni F, De Martino L, Coppola R, De Feo V. 2013. **Effect of essential oils on pathogenic bacteria.** *Pharmaceuticals*. 6(12):1451-1474. ISSN:1424-8247. <https://doi.org/10.3390/ph6121451>

NEAGU R, Popovici V, Ionescu LE, Ordeanu V, Popescu DM, Ozon E A, Gird CE. 2023. **Antibacterial and antibiofilm effects of different samples of five commercially available essential oils.** *Antibiotics*. 12(7):1191. ISSN:2079-6382. <https://doi.org/10.3390/antibiotics12071191>

NHARA RB, Marume U, Nantapo CW. 2024. **Potential of organic acids, essential oils and their blends in pig diets as alternatives to antibiotic growth promoters.** *Animals*. 14(5):762. ISSN:2076-2615. <https://doi.org/10.3390/ani14050762>

PANDEY AK, Kumar P, Singh P, Tripathi NN, Bajpai VK. 2017. **Essential oils: sources of antimicrobials and food preservatives.** *Frontiers In Microbiology*. 7:2161. ISSN:2371-9818. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.02161>

PAPATISIROS VG, Katsoulos PD, Koutoulis KC, Karatzia M, Dedousi A, Christodoulopoulos G. 2013. **Alternativas a los antibióticos para animales de granja.** *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*. 8(2):1-15. ISSN:1749-8848. <https://doi.org/10.1079/PAVSNR20138032>

PATEIRO M, Francisco B, Domínguez J, Sant A. 2018. **Essential oils as natural additives to prevent oxidation reactions in meat and meat products: A review.** *Food Research International*. 113:156-166. ISSN:1873-7145. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.07.014>

PERVEEN S. 2021. **Terpenos y terpenoides: avances recientes.** *En IntechOpen eBooks*; ISBN:978-1-83881-917-0. <https://doi.org/10.5772/intechopen.98261>

PLUSKE JR, Turpin DL, Sahibzada S, Pineda L, Han Y, Collins A. 2021. **Impacts of feeding organic acid-based feed additives on diarrhea, performance, and fecal microbiome characteristics of pigs after weaning challenged with an enterotoxigenic strain of *Escherichia coli*.** *Translational animal science*. 5:txab212. ISSN:2573-2102. <https://doi.org/10.1093/tas/txab212>

QAMAR A, Waheed J, Hamza A, Mohyuddin SG, Lu Z, Namula Z, Chenand Z, Chen JJ. 2020. **The role of intestinal of microbiota in chicken health, intestinal physiology and immunity.** *Journal of Animal and Plant Sciences*. 31(2):342-351. ISSN:2071-7024. <https://doi.org/10.36899/JAPS.2021.2.0221>

RATHNAYAKE D, Mun HS, Dilawar MA, Baek KS, Yang CJ. 2021. **Time for a paradigm shift in animal nutrition metabolic pathway: dietary inclusion of organic acids on the production parameters, nutrient digestibility, and meat quality traits of swine and broilers.** *Life*. 11(6):476. ISSN:2753-4952. <https://doi.org/10.3390/life11060476>

RESENDE M, Chaves RF, Garcia RM, Barbosa JA, Marques AS, Rezende LR, Peconick AP, Garbossa CAP, Mesa D, Silva CC, Barbosa FV, Falleiros DFT, de Souza CV. 2020. **Benzoic acid and essential oils modify the cecum microbiota composition in weaned piglets and improve growth performance in finishing pigs.** *Livestock Science*. 242:104311. ISSN:1878-0490. <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104311>

RODRIGUES LM, Neto TO d AL, Garbossa CAP, Martins CC d S, Garcez D, Alves LKS, de Abreu MLT, Ferreira RA, Cantarelli V d S. 2020. **Benzoic acid combined with essential oils can Be an alternative to the use of antibiotic growth promoters for piglets challenged with *E. coli* F4.** *Animals*. 10(11):1978. ISSN:2076-2615. <https://doi.org/10.3390/ani10111978>

SAKIA M, Seyed-Mohammadia S, Montazeria E, Siahpooshd A, Moosaviana M, Latifif S. 2020. **In vitro antibacterial properties of *Cinnamomum zeylanicum* essential oil against clinical extensively**

**drug-resistant bacteria.** *European Journal of Integrative Medicine.* 37:101146. ISSN:1876-3839. <https://doi.org/10.1016/j.eujim.2020.101146>

SAKKAS H, Papadopoulou C. 2017. **Antimicrobial activity of basil, oregano, and thyme essential oils.** *Journal of Microbiology and Biotechnology.* 27(3):429–438. ISSN:2320–3528. <https://doi.org/10.4014/jmb.1608.08024>

SALIM H M D, Haque-Beg M D A, Huque Khan-Shahidul Kamaruddin, Kazi M. 2018. **Global restriction of using antibiotic growth promoters and alternative strategies in poultry production.** *Science progress.* 101(1):52-75. ISSN:2047-7163. <https://doi.org/10.3184/003685018X15173975498947>

SATTERLEE T, McDonough CM, Gold SE, Chen C, Glenn AE, Pokoo-Aikins A. 2023. **Synergistic effects of essential oils and organic acids against *Aspergillus flavus* contamination in poultry feed.** *Toxins.* 15:635. ISSN:2072-6651. <https://doi.org/10.3390/toxins15110635>

SHREAZ S, Wani WA, Behbehani JM, Raja V, Irshad M, Karched M, Ali I, Siddiqi WA, Hun LT. 2016. **Cinnamaldehyde and its derivatives, a novel class of antifungal agents.** *Fitoterapia.* 112(4):116-131. ISSN:0367-326X. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2016.05.016>

STAMILLA A, Messina A, Sallemi S, Condorelli L, Antoci F, Puleio R, Loria GR, Cascone G, Lanza M. 2020. **Effects of microencapsulated blends of organics acids (OA) and essential oils (EO) as a feed additive for broiler chicken. A focus on growth performance, gut morphology and microbiology.** *Animals.* 10(3):442. ISSN:2076-2615. <https://doi.org/10.3390/ani10030442>

STEVANOVIC ZD, Sieniawska E, Glowniak K, Obradovic N, y Pajic-Lijakovic I. 2020. **Natural macromolecules as carriers for essential oils: from extraction to biomedical application.** *Frontiers In Bioengineering and Biotechnology.* 8:563. ISSN:2296-4185. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2020.00563>

STRATFORD M, Eklund T. 2003. **Organic acids and esters.** In: Russell NJ, Gould GW. (eds) Food preservatives. *Springer, Boston, MA.*, Pp. 48-84. ISBN:978-0-387-30042-9. [https://doi.org/10.1007/978-0-387-30042-9\\_4](https://doi.org/10.1007/978-0-387-30042-9_4)

SUGIHARTO S. 2016. **Role of nutraceuticals in gut health and growth performance of poultry.** *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences.* 15(2):99-111. ISSN:1658-077X. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2014.06.001>

SUIRYANRAYNA MV, Ramana JV. 2015. **A review of the effects of dietary organic acids fed to swine.** *Journal of animal science and biotechnology.* 6(45):1-11. ISSN:2049-1891. <https://doi.org/10.1186/s40104-015-0042-z>

TARIQ S, Wani S, Rasool W, Bhat MA, Prabhakar A, Shalla AH, Rather MA. 2019. **A comprehensive review of the antibacterial, antifungal and antiviral potential of essential oils and their chemical constituents against drug-resistant microbial pathogens.** *Microbial Pathogenesis.* 134:103580. ISSN:1096-1208. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2019.103580>

TOSO F, Mestorino N, Ardoino S. 2023. **Aceites esenciales como alternativa a los antibióticos promotores de crecimiento en pollos de engorde.** *Investigación Joven.* 10:444–445. ISSN:2314-3991. <https://revistas.unlp.edu.ar/lnvJov/article/view/15477/14673>

TUGNOLI N, Giovagnoni N, Piva N, Grilli N. 2020. **From acidifiers to intestinal health enhancers: how organic acids can improve growth efficiency of pigs.** *Animals.* 10(1):134. ISSN:2076-2615. <https://doi.org/10.3390/ani10010134>

VAN LIEFFERINGE E, Forte C, Degroote J, Ovary A, Van Noten N, Mangelinckx S, Michiels J. 2022. **In vitro and in vivo antimicrobial activity of cinnamaldehyde and derivatives towards the intestinal bacteria of the weaned piglet.** *Italian Journal of Animal Science*. 21(1):493–506. ISSN:1828-051X. <https://doi.org/10.1080/1828051X.2022.2041113>

WALIA K, Argüello H, Lynch H, Leonard F C, Grant J, Yearsley D, Kelly S, Duffy G, Gardiner G E, Lawlor P G. 2016. **Effect of strategic administration of an encapsulated blend of formic acid, citric acid, and essential oils on Salmonella carriage, seroprevalence, and growth of finishing pigs.** *Preventive Veterinary Medicine*. 137(17): 28-35. ISSN:0167-5877. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2016.12.007>

WANG S, Wang W, Jin Z, Du B, Ding Y, Ni T, Jiao F. 2013. **Screening and diversity of plant growth promoting endophytic bacteria from peanut.** *African Journal of Microbiology Research*. 7(10):875-884. ISSN:1996-0808. [http://refhub.elsevier.com/S2405-6545\(17\)30123-3/sref160](http://refhub.elsevier.com/S2405-6545(17)30123-3/sref160)

WEI HK, Xue HX, Zhou ZX, Peng J. 2017. **A carvacrol–thymol blend decreased intestinal oxidative stress and influenced selected microbes without changing the messenger RNA levels of tight junction proteins in jejunal mucosa of weaning piglets.** *Animal*. 11(2):193–201. ISSN:2165-8110. <https://doi.org/10.1017/S1751731116001397>

WENDAKOON C N, Sakaguchi M. 1995. **Inhibition of amino acid decarboxylase activity of Enterobacter aerogenes by active components in spices.** *Journal of Food Protection*. 58(3):280-283. ISSN:1944-9097. [http://refhub.elsevier.com/S2405-6545\(17\)30123-3/sref164](http://refhub.elsevier.com/S2405-6545(17)30123-3/sref164)

WOAH (World Organization for Animal Health). 2023. **Uso de antimicrobianos como promotores de crecimiento.** <https://www.woah.org/app/uploads/2024/01/es-omsa-declaraciondeposicion-agp.pdf>

YANG H, Paruch L, Chen X, van Eerde A, Skomedal H, Wang Y, Liu D, Clarke J L. 2019. **Antibiotic application and resistance in swine production in China: current situation and future perspectives.** *Frontiers in veterinary science*. 6(136):1-8. ISSN:2297-1769. <https://doi.org/10.3389/fvets.2019.00136>

ZENG ZK, Xu X, Zhang Q, Li P, Zhao PF, Li Q, Liu J, Piao X. 2014. **Effects of essential oil supplementation of a Low-Energy diet on performance, intestinal morphology and microflora, immune properties, and antioxidant activities in weaned pigs.** *Animal Science Journal*. 83(3):279-285. ISSN:1740-0929. <https://doi.org/10.1111/asj.12277>

ZENG Z, Zhang S, Wang H, Piao X. 2015. **Essential oil and aromatic plants as feed additives in non-ruminant nutrition: a review.** *Journal of Animal Science and Biotechnology*. 6(1):7. ISSN:2049-1891. <https://doi.org/10.1186/s40104-015-0004-5>

ZENTEK J, Ferrara F, Pieper R, Tedin L, Meyer W, Vahjen W. 2013. **Effects of dietary combinations of organic acids and medium chain fatty acids on the gastrointestinal microbial ecology and bacterial metabolites in the digestive tract of weaning piglets.** *Journal of Animal Science*. 91(7):3200–3210. ISSN:1525-3163. <https://doi.org/10.2527/jas.2012-5673>

ZHAI H, Liu H, Wang S, Wu J, Kluefer AM. 2018. **Potential of essential oils for poultry and pigs.** *Animal Nutrition*. 4(2):179–186. ISSN:2405-6383. <https://doi.org/10.1016/j.aninu.2018.01.005>

ZHENG C, Chen Z, Yan X, Xiao G, Qiu T, Ou J, Cen M, Li W, Huang Y, Cao Y, Zhang H. 2023. **Effects of a combination of lauric acid monoglyceride and cinnamaldehyde on growth performance, gut morphology, and gut microbiota of yellow-feathered broilers.** *Poultry Science*. 102(8):102825. ISSN:1525-3171. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.102825>

ZHOU F, Ji B, Zhang H, Jiang H, Yang Z, Li J, Li J, Ren Y, Yan W. 2007. **Synergistic effect of thymol and carvacrol combined with chelators and organic acids against Salmonella Typhimurium.** *Journal of Food Protection*. 70(7):1704–1709. ISSN:1944-9097. <https://doi.org/10.4315/0362-028x-70.7.1704>

## 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 pulex 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



**EDITORIA  
ARTEMIS**

**2026**