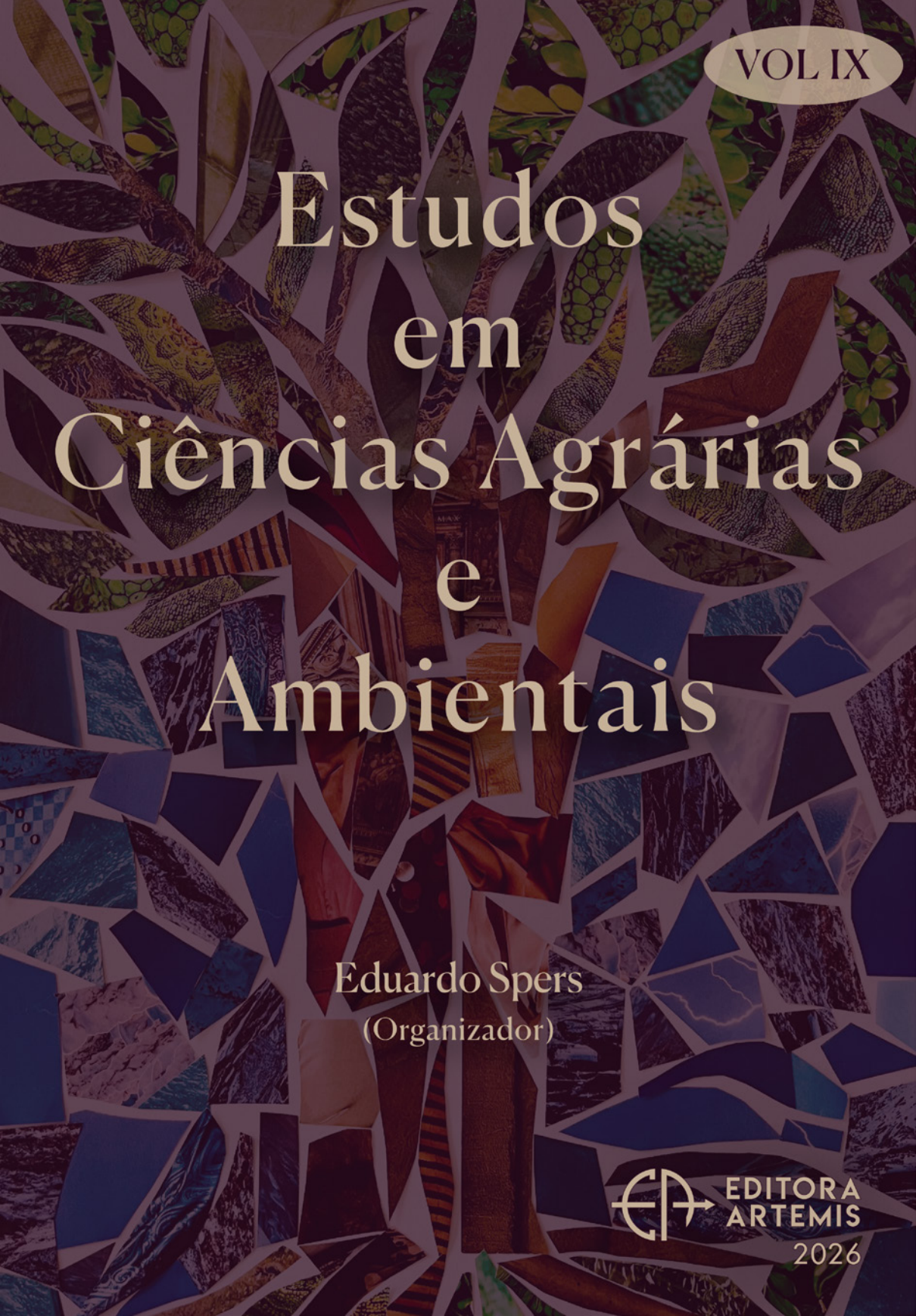




VOL IX

Estudos em Ciências Agrárias e Ambientais

Eduardo Spers
(Organizador)



EDITORA
ARTEMIS

2026

VOL IX

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.**

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

Conselho Editorial

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



Prof.^a Dr.^a Deuzimar Costa Serra, Universidade Estadual do Maranhão, Brasil

Prof.^a Dr.^a Dina Maria Martins Ferreira, Universidade Estadual do Ceará, Brasil

Prof.^a Dr.^a Edith Luévano-Hipólito, *Universidad Autónoma de Nuevo León*, México

Prof.^a Dr.^a Eduarda Maria Rocha Teles de Castro Coelho, Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Portugal

Prof. Dr. Eduardo Eugênio Spers, Universidade de São Paulo (USP), Brasil

Prof. Dr. Eloi Martins Senhoras, Universidade Federal de Roraima, Brasil

Prof.^a Dr.^a Elvira Laura Hernández Carballido, *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, México

Prof.^a Dr.^a Emilias 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 Iara Lúcia Tescarollo Dias, Universidade São Francisco, Brasil

Prof.^a Dr.^a Isabel del Rosario Chiyon Carrasco, *Universidad de Piura*, Peru

Prof.^a Dr.^a Isabel Yohena, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina

Prof. Dr. Ivan Amaro, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

Prof. Dr. Iván Ramon Sánchez Soto, *Universidad del Bío-Bío*, Chile

Prof.^a Dr.^a Ivânia Maria Carneiro Vieira, Universidade Federal do Amazonas, Brasil

Prof. Me. Javier Antonio 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 Godínez, Universidad Autónoma de Baja California, México

Prof. Dr. Juan Carlos Cancino Díaz, 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. Leinig Antonio Perazolli, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil

Prof.^a Dr.^a Livia do Carmo, Universidade Federal de Goiás, Brasil

Prof.^a Dr.^a Luciane Spanhol Bordignon, Universidade de Passo Fundo, Brasil

Prof. Dr. Luis Fernando González Beltrán, *Universidad Nacional Autónoma de México*, México

Prof. Dr. Luis Vicente Amador Muñoz, *Universidad Pablo de Olavide*, Espanha

Prof.^a Dr.^a Macarena Esteban Ibáñez, *Universidad Pablo de Olavide*, Espanha

Prof. Dr. Manuel Ramiro Rodriguez, *Universidad Santiago de Compostela*, Espanha

Prof. Dr. Manuel Simões, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal

Prof.^a Dr.^a Márcia de Souza Luz Freitas, Universidade Federal de Itajubá, Brasil

Prof. Dr. Marcos Vinicius Meiado, Universidade Federal de Sergipe, Brasil

Prof.^a Dr.^a Mar Garrido Román, *Universidad de Granada*, Espanha

Prof.^a Dr.^a Margarida Márcia Fernandes Lima, Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil

Prof.^a Dr.^a María Alejandra Arecco, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina

Prof.^a Dr.^a Maria Aparecida José de Oliveira, Universidade Federal da Bahia, Brasil

Prof.^a Dr.^a Maria Carmen Pastor, *Universitat Jaume I*, Espanha

Prof.^a Dr.^a Maria da Luz Vale Dias – Universidade de Coimbra, Portugal

Prof.^a Dr.^a Maria do Céu Caetano, Universidade Nova de Lisboa, Portugal

Prof.^a Dr.^a Maria do Socorro Saraiva Pinheiro, Universidade Federal do Maranhão, Brasil

Prof.^a Dr.^a M^aGraça Pereira, Universidade do Minho, Portugal

Prof.^a Dr.^a Maria Gracinda Carvalho Teixeira, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil

Prof.^a Dr.^a María Guadalupe Vega-López, *Universidad de Guadalajara*, México

Prof.^a Dr.^a Maria Lúcia Pato, Instituto Politécnico de Viseu, Portugal

Prof.^a Dr.^a Maritza González Moreno, *Universidad Tecnológica de La Habana*, Cuba

Prof.^a Dr.^a Mauriceia Silva de Paula Vieira, Universidade Federal de Lavras, Brasil

Prof. Dr. Melchor Gómez Pérez, Universidad del Pais Vasco, Espanha

Prof.^a Dr.^a Ninfa María Rosas-García, Centro de Biotecnología Genómica-Instituto Politécnico Nacional, México

Prof.^a Dr.^a Odara Horta Boscolo, Universidade Federal Fluminense, Brasil

Prof. Dr. Osbaldo Turpo-Gebera, *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*, Peru

Prof.^a Dr.^a Patrícia Vasconcelos Almeida, Universidade Federal de Lavras, Brasil

Prof.^a Dr.^a Paula Arcoverde Cavalcanti, Universidade do Estado da Bahia, Brasil

Prof. Dr. Rodrigo Marques de Almeida Guerra, Universidade Federal do Pará, Brasil

Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares, Universidade Federal do Piauí, Brasil

Prof. Dr. Sergio Bitencourt Araújo Barros, Universidade Federal do Piauí, Brasil

Prof. Dr. Sérgio Luiz do Amaral Moretti, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil

Prof.^a Dr.^a Silvia Inés del Valle Navarro, *Universidad Nacional de Catamarca*, Argentina

Prof.^a Dr.^a Solange Kazumi Sakata, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN)- USP, Brasil

Prof.^a Dr.^a Stanislava Kashtanova, *Saint Petersburg State University*, Russia

Prof.^a Dr.^a Susana Álvarez Otero – Universidad de Oviedo, Espanha

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

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

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

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

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

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

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

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

E82 Estudos em Ciências Agrárias e Ambientais IX [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 bilíngue.

Inclui bibliografia.

ISBN 978-65-82858-34-5

DOI 10.37572/EdArt_250926345

1. Ciências agrárias. 2. Ciências ambientais. 3. Agricultura
– Pesquisa. I. Spers, Eduardo Eugênio.

CDD 630

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422



PRÓLOGO

A produção agropecuária contemporânea depende de uma compreensão cada vez mais precisa das relações entre organismos, ambiente, manejo, nutrição e tecnologia. O desenvolvimento de sistemas produtivos mais eficientes exige não apenas aumentar rendimentos, mas compreender os mecanismos fisiológicos que condicionam a adaptação das plantas, aprofundar o conhecimento sobre os fatores relacionados à ocorrência de pragas e doenças, aprimorar a nutrição animal e incorporar práticas capazes de favorecer o bem-estar, a reprodução e a saúde dos animais.

O nono volume de ***Estudos em Ciências Agrárias e Ambientais*** reúne quatorze capítulos organizados em três eixos temáticos: **Produção vegetal, fisiologia e adaptação; Sanidade vegetal e manejo de pragas e doenças; e Produção, nutrição, bem-estar e saúde animal**. Essa organização acompanha diferentes dimensões da produção agropecuária, partindo das respostas fisiológicas e produtivas das plantas, passando pelos fatores que afetam sua sanidade e chegando aos processos relacionados à produção animal.

O primeiro eixo reúne investigações sobre produção vegetal, adaptação e respostas fisiológicas diante de diferentes condições de cultivo e fatores ambientais. A interação entre genótipos de milho e ambientes de produção evidencia a importância de compreender a estabilidade e a adaptabilidade dos materiais vegetais diante de diferentes condições de semeadura e disponibilidade hídrica. Outros estudos analisam os efeitos do estresse salino em oliveiras, as respostas fisiológicas de *Zinnia elegans* cultivada em sistema hidropônico e as alterações fenotípicas e fitoquímicas de *Agave salmiana* submetido ao estresse por zinco. O eixo contempla ainda a aplicação da técnica in vitro de duplo-haploide como estratégia para acelerar a obtenção de linhagens homozigóticas e apoiar o melhoramento de plantas cultivadas. Em conjunto, esses estudos evidenciam como fatores ambientais, nutricionais, fisiológicos e biotecnológicos podem contribuir para a compreensão e o aprimoramento da produção vegetal.

O segundo eixo concentra-se na sanidade vegetal e no manejo de pragas e doenças. O controle microbiológico da broca-do-café por meio de *Beauveria bassiana* exemplifica a aplicação de agentes biológicos no manejo fitossanitário. O estudo epidemiológico do manchado de cálice de jamaica investiga as relações entre patógenos, condições climáticas e severidade da doença, enquanto a análise da abundância de *Oebalus spp.* em cultivos de arroz relaciona dinâmica populacional, temperatura e monitoramento como suporte ao manejo integrado de pragas. Esses trabalhos evidenciam a importância de conhecer tanto os agentes causadores de danos quanto as condições ambientais que favorecem sua ocorrência.

O terceiro eixo amplia o olhar para a produção animal, reunindo estudos sobre nutrição, metabolismo, desempenho produtivo, bem-estar, reprodução e saúde. As pesquisas sobre absorção e retenção de fósforo em ovinos e sobre a utilização de fontes gluconeogênicas diante do estresse térmico abordam processos metabólicos associados à eficiência nutricional e à adaptação dos animais. A utilização de cúrcuma na alimentação de cuyes é investigada como alternativa para melhorar o desempenho produtivo, enquanto o estudo realizado com galinhas poedeiras compara sistemas de criação a partir de indicadores de bem-estar animal.

O eixo também incorpora abordagens relacionadas à biotecnologia reprodutiva e à medicina veterinária. A avaliação de um diluidor quimicamente definido, originalmente desenvolvido para sêmen equino, na conservação refrigerada de sêmen caprino evidencia o potencial das tecnologias reprodutivas para o aprimoramento dos programas de inseminação artificial e a conservação de recursos zoogenéticos. Já o estudo clínico e *post mortem* de *Coendou rufescens* amplia o escopo do volume ao campo da medicina de fauna silvestre, demonstrando a relevância do diagnóstico clínico e anatomopatológico também para espécies não domésticas.

Os capítulos que compõem este volume evidenciam a diversidade de fatores biológicos, ambientais e tecnológicos que interferem na produção vegetal e animal. Ao reunir pesquisas experimentais, revisões e estudos aplicados provenientes de diferentes contextos, Estudos em Ciências Agrárias e Ambientais IX oferece um panorama de diferentes frentes de investigação, desde as respostas fisiológicas das plantas e os desafios fitossanitários até a nutrição, o bem-estar, a reprodução e a saúde animal. Essa diversidade reafirma a importância da produção científica para a compreensão dos processos que sustentam os sistemas agropecuários e para o aprimoramento contínuo das práticas de produção, manejo e conservação.

Boa leitura!

Eduardo Eugênio Spers

SUMÁRIO

PRODUÇÃO VEGETAL, FISIOLOGIA E ADAPTAÇÃO

CAPÍTULO 1..... 1

INTERACCIÓN GENOTIPO - AMBIENTE EN MAÍZ EN EL VALLE DE TOLUCA, MÉXICO

Micaela de la O Olán
Alfredo Josué Gámez Vázquez
Miguel Angel Avila Perches
Francisco Paúl Gámez Vázquez
Mirna Hernández Pérez
Mirna Bobadilla-Meléndez
Juan Francisco Buenrostro Rodríguez
Rocio Edelmira Hernández Caldera



https://doi.org/10.37572/EdArt_2509263451

CAPÍTULO 2..... 16

FOLIAR BEHAVIOR OF OLIVE TREES (*Olea europaea* L.) GRAFTED AND CUT UNDER THE EFFECT OF SALT STRESS

Dhia Gharabi
Maghni Benchohra
Muhammad Arif
Salih Karabörklüb
Teggar Naima
Naceur Benamor
Samira Kacha
Laidia Zerkaoui
Mohamed Abdelhaq Abbes
Boulenouar Houari
Malika Zoubeidi
Imane Derouiche



https://doi.org/10.37572/EdArt_2509263452

CAPÍTULO 3..... 33

COMPONENTES FISIOLÓGICOS DE ZINNIA (*Zinnia elegans* L.) EN HIDROPONÍA BAJO EL MÉTODO KRATKY

Edgar Javier Morales Morales
Itzel Guadalupe Núñez Andrade

Gabriela Berenice Vilchis Granados

Edgar Jesús Morales Rosales

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2509263453

CAPÍTULO 4..... 43

EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL ESTRÉS POR ZINC EN EL PERFIL FENOTÍPICO Y FITOQUÍMICO DE AGAVE SALMIANA CULTIVADO EN SISTEMAS DE INMERSIÓN TEMPORAL

Jorge Quiroz Casanova

Ian Abigail Estrada Castilla

Ivanna Guillen Barraza

Karla Lizbeth Chávez Rivera

César Armando Puente Garza

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2509263454

CAPÍTULO 5..... 56

MEJORANDO LAS PLANTAS CON LA TÉCNICA IN VITRO DE DOBLE HAPLOIDE (DH)

Lisi Cerna-Rebaza

Eswin Hernandez-Obregón

Luis Gonzales-Llontop

Luis Llenque-Díaz

Julio Chico Ruiz

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2509263455

SANIDADE VEGETAL E MANEJO DE PRAGAS E DOENÇAS

CAPÍTULO 6..... 85

CONTROL MICROBIOLÓGICO DE LA BROCA DE CAFÉ (*Hypothenemus hampei* (FERRARI) CON *Beauveria bassiana* (BALSAMO) VUILLEMIN

Antonio Gutiérrez-Martínez

Diana Jaren Cruz González

Jesús Antonio Gutiérrez Utrilla

Ramiro Eleazar Ruiz Nájera

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2509263456

CAPÍTULO 7..... 105

EPIDEMIOLOGÍA DEL MANCHADO DE CÁLIZ DE JAMAICA EN GUERRERO

David Heriberto Noriega Cantú

Roció Toledo Aguilar

José Luis Arispe Vázquez

Romualdo Vásquez Ortiz

Régulo Jiménez Guillen

Rafael Ariza Flores

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2509263457

CAPÍTULO 8..... 114

ESTIMACIÓN DE LA ABUNDANCIA DE *Oebalus* spp. (Hemiptera: Pentatomidae) EN CULTIVOS COMERCIALES DE ARROZ DEL LITORAL ECUATORIANO

María Esmeralda Cuzco Cruz

William Eribert Vasquez Ledesma

Luis Damiani Sánchez Campoverde

Eulices Orlando Mendoza Carriel

María Leticia Vivas Vivas

Amalia Marisol Vera Oyague

Nicolás Alberto Vasconcellos Fernández

Fabian Alberto Gordillo Manssur

María Gabriela Delgado Macías

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2509263458

PRODUÇÃO, NUTRIÇÃO, BEM-ESTAR E SAÚDE ANIMAL

CAPÍTULO 9..... 131

ABSORCIÓN Y RETENCIÓN DE FÓSFORO EN CORDEROS SUPLEMENTADOS CON FÓSFORO Y COLECALCIFEROL

Ignacio Mejía Haro

Dennis R. Brink

Iván Mejía Devora

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2509263459

CAPÍTULO 10.....143

FUENTES GLUCONEOGÉNICAS PARA CONTRARRESTAR LOS EFECTOS DEL ESTRÉS TÉRMICO EN EL BALANCE ENERGÉTICO NEGATIVO EN OVINOS DE PELO

Cinthia Daniela Noriega-Espinoza

Jehieli Hanani Montes-Hernández

Emma Victoria Sánchez-Rivera

Jesús David Urías-Estrada

Elizama Ponce-Barraza

Ana Mireya Romo-Valdez

Jesús José Portillo-Loera

Javier Alonso Romo-Rubio

 https://doi.org/10.37572/EdArt_25092634510

CAPÍTULO 11.....158

EFFECTO DE DIFERENTES NIVELES DE CÚRCUMA (*Curcuma longa*) EN EL DESEMPEÑO PRODUCTIVO DE CUYES (*Cavia porcellus*)

Verónica de los Ángeles Bónifaz Ramos

Ketty Beatriz Murillo Cano

John Javier Arellano Gómez

Yesenia Ivonne Malta García

Silvia Verónica Tinoco Cabrera

María José Salinas Hinojosa

 https://doi.org/10.37572/EdArt_25092634511

CAPÍTULO 12174

BIENESTAR ANIMAL EN GALLINAS PONEDORAS EN SISTEMAS DE PRODUCCIÓN PISO Y PASTOREO EN EL MAGDALENA MEDIO SANTANDEREANO

Yazmin Andrea Calvo Rodríguez

Darwin Antonio García Rojas

Elkin Orlando Romero Cárdenas

Neidy Canchila Roa

Ricci Terraza Martínez

 https://doi.org/10.37572/EdArt_25092634512

CAPÍTULO 13.....187

EVALUATION OF A CHEMICALLY DEFINED EQUINE SEMEN EXTENDER FOR
PROLONGED REFRIGERATED PRESERVATION OF BUCK SEMEN

Elvira Matilla-Pinto

Andreia Agostinho

Gema Vara

Isaac Torrado

Olvido Blanco

Andrés Domingo

Carolina Silva

 https://doi.org/10.37572/EdArt_25092634513

CAPÍTULO 14.....215

PRESENTACIÓN CLÍNICA Y POST MORTEM DE *COENDOU RUFESCENS* CON
PERITONITIS SÉPTICA Y LESIONES MULTIORGÁNICAS

Oscar Daniel Zapata-Zapata

Juliana Jaramillo-Cárdenas

Camilo Muñoz-Collazos

Jesús David Echeverri-López

Viviana Elena Castillo-Vanegas

Laura María Laverde-Trujillo

 https://doi.org/10.37572/EdArt_25092634514

SOBRE O ORGANIZADOR..... 227

ÍNDICE REMISSIVO228

CAPÍTULO 4

EVALUACIÓN DEL EFECTO DEL ESTRÉS POR ZINC EN EL PERFIL FENOTÍPICO Y FITOQUÍMICO DE AGAVE SALMIANA CULTIVADO EN SISTEMAS DE INMERSIÓN TEMPORAL¹

Data de submissão: 10/09/2026

Data de aceite: 21/09/2026

Jorge Quiroz Casanova

Tecnologico de Monterrey
Escuela de Ingeniería y Ciencias
Monterrey, Nuevo León, México
<https://orcid.org/0009-0007-7098-3312>

Ian Abigail Estrada Castilla

Tecnologico de Monterrey
Escuela de Ingeniería y Ciencias
Monterrey, Nuevo León, México

Ivanna Guillen Barraza

Tecnologico de Monterrey
Escuela de Ingeniería y Ciencias
Monterrey, Nuevo León, México

Karla Lizbeth Chávez Rivera

Tecnologico de Monterrey
Escuela de Ingeniería y Ciencias
Monterrey, Nuevo León, México
<https://orcid.org/0009-0006-5351-7742>

César Armando Puente Garza

Tecnologico de Monterrey
Escuela de Ingeniería y Ciencias
Monterrey, Nuevo León, México
<https://orcid.org/0000-0001-9911-2325>

¹ Este trabajo es producto de una estancia de investigación y supone un estudio exploratorio derivado del trabajo doctoral de Karla Lizbeth Chávez Rivera, bajo la asesoría del Dr. César Armando Puente Garza.

RESUMEN: Una estrategia importante para la conservación de las plantas del género *Agave* (Asparagaceae) reside en la diversificación de sus usos y su industria. Trabajos previos han posicionado a *A. salmiana* como una fuente prometedora de compuestos bioactivos de interés, como saponinas y flavonoles. El presente estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto del estrés por zinc en el perfil fenotípico y fitoquímico de *A. salmiana* cultivado en sistemas de inmersión temporal. Para ello, se indujo estrés en las plantas por medio de diferentes concentraciones de ZnSO_4 en el medio de cultivo (0, 50, 100 y 200 mM) y distintos tiempos de inmersión (1 y 5 min) durante 21 días. Posteriormente se tomaron mediciones físicas de las plantas. Se estimó su contenido de clorofila por medio de análisis de imagen. Por último, se prepararon extractos de las plantas y se evaluó su actividad antioxidante por ORAC, así como su contenido de saponinas y flavonoides por HPLC-ELSD-DAD. El crecimiento y desarrollo de las plantas se vio fuertemente inhibido por las concentración de ZnSO_4 . Asimismo, el contenido de clorofila de las plantas se redujo casi a la mitad al verse expuesta al zinc. La actividad antioxidante mostró ser 1.1 veces superior en el tratamiento de mayor exposición a zinc (200 mM y 5 min) respecto al promedio. No se consiguió evidencia suficiente para demostrar un cambio significativo en el contenido de flavonoles entre tratamientos. Respecto a las saponinas, estas disminuyeron drásticamente su contenido en al menos 28.9

% en las plantas sometidas a estrés. Este estudio realizó anotaciones sobre el umbral de toxicidad del zinc en *A. salmiana*. A partir de esta referencia, se pueden buscar concentraciones menos agresivas para elicitación.

PALABRAS CLAVE: Agave; sistemas de inmersión temporal; metabolismo secundario; morfología, estrés abiótico.

EVALUATION OF THE EFFECT OF ZINC STRESS ON THE PHENOTYPIC AND PHYTOCHEMICAL PROFILE IN AGAVE SALMIANA CULTIVATED IN TEMPORARY IMMERSION SYSTEMS

ABSTRACT: An important strategy on conservation of *Agave* (Asparagaceae) plants resides on the diversification of its uses and its industry. Previous works have positioned *A. salmiana* as a promising source of bioactive compounds of interest, such as saponins and flavonols. This study aimed to evaluate the effect of zinc stress on the phenotypical and phytochemical profile of *A. salmiana* plants grown on temporary immersion systems. For that, stress was induced in plants through different ZnSO_4 concentrations in culture media (0, 50, 100, 200 mM) and distinct immersion times (1 and 5 min) for 21 days. After that, physical measurements of plants were taken. Their chlorophyll content was estimated by image analysis. Lastly, extracts of the plants were prepared and analyzed for antioxidant capacity by ORAC, as well as for their saponin and flavonol content by HPLC-ELSD-DAD. Growth and development of plants seemed to be severely inhibited due to ZnSO_4 concentration. Furthermore, chlorophyll content was reduced almost by half when plants were exposed to zinc. Antioxidant activity showed to be 1.1 times higher in the treatment with the most exposure (200 mM and 5 min) than the average. There was not enough evidence to demonstrate any significant change in flavonol content among treatments. Regarding saponins, their content diminished drastically by at least 28.9 % in stressed plants. This study made annotations about the toxicity threshold of zinc in *A. salmiana*. With this reference, now it is possible to look for less aggressive concentrations for elicitation.

KEYWORDS: Agave; temporary immersion systems; secondary metabolism; morphology; abiotic stress.

1. INTRODUCCIÓN

El género *Agave* (Asparagaceae) engloba a más de 200 especies de plantas, llamadas indistintamente “magueyes”, que se caracterizan por sus hojas alargadas y puntiagudas, acomodadas en forma de roseta, y por sus adaptaciones a los climas áridos (Rowell, 2008). México es considerado centro de origen y domesticación de los magueyes y alberga cerca del 75 % de su diversidad en el mundo (García-Mendoza, 2002). A pesar de su cercanía con la historia y tradición del país, múltiples especies se encuentran amenazadas por su endemismo, su mal manejo agrícola y por la pérdida de usos y costumbres alrededor de la planta (Alducin-Martínez *et al.*, 2023; Robles y Cruz, 2023). La diversificación de la agroindustria de *Agave* ha sido un importante enfoque para

su conservación (Nava-Cruz *et al.*, 2014), buscando formas innovadoras de aprovechar cada especie y sus componentes.

Estudios previos han posicionado al maguey pulquero (*Agave salmiana* Otto ex Salm-Dyck) como una fuente prometedora de compuestos bioactivos de interés, especialmente saponinas y flavonoles. *A. salmiana* es una especie originaria de México con gran importancia cultural, económica y gastronómica (Higuera-Orbe *et al.*, 2025). Es la planta por excelencia empleada en la elaboración del pulque, una bebida ancestral resultante de la fermentación de la savia o aguamiel del tallo o piña del maguey (Rodríguez-Vera *et al.*, 2025). Fuera de su uso tradicional, se ha reportado que, cuando son cultivadas *in vitro*, las plantas de *A. salmiana* pueden acumular concentraciones de saponinas hasta 36 veces mayores que aquéllas crecidas *in situ*; de igual modo, presentan aumentos de fenólicos totales en al menos 30 % (Puente-Garza *et al.*, 2015). Otros trabajos se han centrado en aumentar o modular el contenido compuestos bioactivos en esta especie implementando elicitores abióticos en su crecimiento *in vitro*, tales como el estrés hídrico y el estrés salino (Puente-Garza *et al.*, 2017b; Puente-Garza *et al.*, 2021).

Existe evidencia para suponer que otras fuentes de estrés abiótico, como los metales pesados, podrían estimular en el metabolismo secundario de *A. salmiana*. El uso de zinc (Zn) como elicitador está ampliamente documentado en otras especies. En concentraciones regulares, el papel del Zn a nivel celular y fisiológico en las plantas es crítico. Funge como cofactor de múltiples enzimas en sus seis clasificaciones y como componente estructural de otras varias proteínas, estando por tanto involucrado en diversas rutas metabólicas y procesos biológicos como la transcripción, la traducción, la fotosíntesis y la respuesta a especies reactivas de oxígeno (ROS) (Stantotn *et al.*, 2022). Sin embargo, el exceso de Zn puede inducir de manera indirecta estrés oxidativo como secuela de la estimulación de enzimas productoras de ROS, la competencia con otros metales esenciales y la inhibición enzimática (Balafrej *et al.*, 2021). La elicitación se da al inducir de forma controlada estas forma de estrés y, como resultado, promover la acumulación de metabolitos secundarios de respuesta (Mubeen *et al.*, 2025). La presentación de Zn más estudiada en el ámbito son las nanopartículas de ZnO, que han demostrado provocar incrementos en la concentración de metabolitos secundarios de especies como *Lilium candelium* y *Trigonella foenum-graecum*, entre otras (Palka *et al.*, 2023; Tariverdizadeh *et al.*, 2021). Otras sales de Zn, como el sulfato de zinc (ZnSO_4), también han sido evaluadas como elicitores en especies poco emparentadas, lo que podría indicar de una respuesta generalizable. En cultivos en suspensión de *Capsicum annuum* se ha observado que la adición de ZnSO_4 al medio de cultivo en concentraciones

de 0.1-0.4 M puede incrementar significativamente el contenido total de fenólicos (İşlek *et al.*, 2020). De forma consistente, Tian *et al.* (2025) han reportado en mijo de dedo (*Eleusine coracana* L.) un aumento significativo en la acumulación de flavonoides y en la actividad antioxidante de las plantas sometidas a estrés con ZnSO_4 .

Adicionalmente, la implementación de sistemas de inmersión temporal (SIT) como formato de cultivo *in vitro* en *A. salmiana* permanece escasamente estudiada, y es aún más incierto su efecto sobre la acumulación de saponinas y flavonoides. Una revisión de De Carlo *et al.* (2021) agrupa trabajos en los que se comparó la producción de compuestos bioactivos en plantas medicinales entre SIT y otras modalidades de cultivo, como semisólido o en suspensión, mostrando una larga lista de especies para las cuales los SIT obtuvieron rendimientos significativa y sustancialmente mayores a sus contrapartes. Esto posiblemente se atribuye a su mejor transferencia de oxígeno, su bajo estrés de corte, su disponibilidad de nutrientes y a la disminución de la hiperhidricidad (De Carlo *et al.*, 2021). Las aplicaciones de los SIT en especies de *Agave* son escasas y se han limitado a la micropropagación, sin ahondar en su efecto sobre el perfil fitoquímico de la planta. Entre estos estudios, se han realizado anotaciones para *A. tequilana*, *A. marmorata*, *A. guiengola*, *A. potatorum* y *A. angustifolia* (Vázquez-Martínez *et al.*, 2021; Mancilla-Álvarez *et al.*, 2024; Chávez-Ortiz *et al.*, 2021; Moreno-Hernández *et al.*, 2024; Monja-Mio *et al.*, 2021).

Debido al gran potencial de *A. salmiana* como fuente de compuestos bioactivos de interés, y a la limitada información al respecto, el objetivo de este trabajo fue investigar nuevas formas de modular su concentración. Para ello, se evaluó el perfil fenotípico y fitoquímico de plantas cultivadas en SIT de *A. salmiana* bajo estrés por Zn, variando su exposición a través de la concentración de ZnSO_4 en el medio de cultivo y el tiempo de inmersión.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. PREPARACIÓN DE EXPLANTES

Se recolectaron semillas de una planta de *A. salmiana* de la Laguna de Sánchez, en Santiago, Nuevo León, México (25.346524, -100.285577), en febrero del 2024. Las semillas se almacenaron en un espacio seco y sin luz hasta su uso en agosto del 2025. Para su desinfección, fueron lavadas con agua bidestilada adicionada con Tween 20 ($0.4 \mu\text{L L}^{-1}$) por 5 min. Dentro de una campana de flujo laminar (SterilchemGARD, The Baker Company Inc.), se continuó con lavados de etanol al 70 % (v/v) por 5 min, hipoclorito de sodio (Cloralex®, > 4 %) al 5 % (v/v) por 15 min y un último enjuague con agua destilada

estéril. Todos los lavados se realizaron con agitación manual y descartando el líquido de por medio.

Para su germinación, las semillas se transfirieron a una solución de peróxido de hidrógeno al 10 % (v/v), trabajando en condiciones de asepsia y oscuridad. Luego, se colocaron en una incubadora (Sheldon Manufacturing, Inc., Cornelius, OR) a 27 ± 1 °C y en completa oscuridad por 3 días. Transcurrido el tiempo, se seleccionaron las semillas que presentasen una radícula blanca, indicando germinación. Las semillas se sembraron individualmente en tubos de ensayo con 5 mL de medio de acondicionamiento. Dicho medio consistió en medio basal de Murashige y Skoog (1962) (4.4 g L^{-1} , PhytoTec) (MS) adicionado con sacarosa (30 g L^{-1}). El medio fue ajustado a $\text{pH } 5.8 \pm 0.05$ antes de añadir Phytigel™ (4 g L^{-1} , PhytoTec) como gelificante. Los tubos con medio fueron previamente esterilizados en una autoclave (Yamato) a 121 °C y 15 psi durante 15 min. Las semillas se llevaron a un cuarto de cultivo a 27 ± 1 °C con luz blanca y fotoperíodo 16:8 h de luz:oscuridad con intensidad de 6,600 Lux.

Después de cinco semanas, las plántulas se transfirieron a frascos con medio de acondicionamiento fresco. Se dejaron crecer bajo las mismas condiciones durante tres semanas más.

2.2. INDUCCIÓN DE ESTRÉS

Se preparó el medio de estrés, que constó de MS (4.4 g L^{-1}) y sacarosa (30 g L^{-1}) ajustado a un pH de 5.8 ± 0.05 , al que posteriormente se agregó ZnSO_4 en tres distintas concentraciones según el tratamiento: 50 mM ($T_{50\text{mM}}$), 100 mM ($T_{100\text{mM}}$) y 200 mM ($T_{200\text{mM}}$), más un control sin ZnSO_4 ($T_{0\text{mM}}$). Se colocaron 30 mL de medio de estrés en frascos de vidrio acoplados por un SIT de tipo BioCoupler™. Los SIT con medio fueron esterilizados en la autoclave bajo los parámetros ya descritos.

Para la siembra, se extrajeron las plántulas de *A. salmiana* del medio semisólido y se les realizaron incisiones en la base para remover sus raíces. Posteriormente se colocaron dentro del SIT. Se sembraron 3 SIT por cada tratamiento ($n = 3$), con cinco plántulas por SIT.

Los SIT se llevaron al cuarto de cultivo, bajo las condiciones de crecimiento ya descritas. Se realizaron inmersiones con una frecuencia de 24 h y con dos diferentes duraciones: 1 min ($T_{1\text{min}}$) y 5 min ($T_{5\text{min}}$). Durante la inmersión, se procuró que todas las plántulas estuviesen en contacto con el medio y que este último no empapase el filtro de aire del BioCoupler™. El estrés se mantuvo durante 21 días.

2.3. EVALUACIÓN FENOTÍPICA

Las plantas se retiraron de los SIT y se enjuagaron en agua destilada para remover restos de medio. Se dejaron secar y posteriormente se registraron el número de raíces primarias y de hojas, así como su longitud. También se midió la masa fresca de las plantas (OHAUS Pioneer). Todas las plantas fueron fotografiadas (Canon EOS) previo a almacenarse en un ultracongelador a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2.4. CUANTIFICACIÓN DE CLOROFILA

Se estimó el contenido de clorofila en las plantas de acuerdo con el método no destructivo propuesto por Liang *et al.* (2017). Brevemente, se realizaron correcciones de color en las fotografías y se procesaron en el *software* ImageJ 1.50. Después se emplearon los *plugins* «RGB_measure» y «Chlorophyll_Imager», provistos por el mismo trabajo, para traducir los datos de color a contenido de clorofila. Los datos se registraron en ng mm^{-2} .

2.5. PREPARACIÓN DE EXTRACTOS

Se secaron las plantas en un desecador durante 5 días. Posteriormente se llevaron a un horno de convección (Memmert) a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 72 h. Una vez retirada toda la humedad, se midió el peso seco (PS) de las plantas (OHAUS, Pioneer) y se molieron con un mortero de porcelana hasta obtener un polvo fino. En ausencia de luz, se pesaron 50 mg de muestra y se suspendieron en 500 μL de metanol al 80 % (v/v). Los extractos incubaron (Labnet, Vortemp 1550) a $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ y 150 rpm durante 2 h. Acto seguido se centrifugaron (DLAB, D2012 Plus) a 3,000 rpm por 5 min y se recuperó su sobrenadante, que luego se llevó a secar en el mismo horno de convección a $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 48 h. Por último, se resuspendieron las pastillas en 1 mL de metanol al 50 % (v/v). Los extractos se almacenaron a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta su uso.

2.6. EVALUACIÓN DE ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

La actividad antioxidante (AOX) de los extractos se determinó por ensayo de Capacidad de Absorción de Radicales de Oxígeno (ORAC, en inglés), utilizando trolox como estándar y solución *buffer* de fosfatos (PBS, en inglés) pH 7.4, 75 mM como blanco. Se colocaron 25 μL de muestra en una microplaca negra de 96 pozos. En un lector de microplatos (BioTek, Synergy HTX) se realizaron inyecciones de 150 μL de fluoresceína 4 μM con una incubación de 30 min. Después se inyectaron 25 μL de diclorhidrato de 2,2'-azobis(2-amidinopropano) (AAPH) 153 mM y se midió la fluorescencia individual de

los pozos cada 2 min durante 1 h. La reacción se mantuvo a 37 °C y se empleó PBS pH 7.4, 75 mM como solvente en todas las soluciones. Los resultados se expresaron como μmol equivalentes de trolox (ET) por gPS.

2.7. CUANTIFICACIÓN DE SAPONINAS Y FLAVONOLES

El contenido de saponinas y flavonoles de los extractos se cuantificó por HPLC (Agilent Technologies) acoplada a un detector de arreglo de diodos (DAD) y a un detector de dispersión de luz evaporativa (ELSD), empleando una columna Zorbax Eclipse XDB-C18, 4.6 $\times$ 150 mm (5 μm) (Agilent Technologies). El programa consistió en una fase móvil A (agua adicionada con 0.1 % (v/v) de ácido fórmico) y una fase B (acetonitrilo adicionado con 0.1 % (v/v) de ácido fórmico). El volumen de inyección de muestra fue de 10 μL . Las saponinas se obtuvieron como equivalentes de protodioscina (EP) (Sigma-Aldrich). Para los flavonoles, se recolectaron datos a 340 nm empleando quercetina y kaemferol como estándares (Sigma-Aldrich). Las muestras de extracto fueron filtradas con un filtro de jeringa de 0.22 μm (LEACSA) previo a su inyección.

2.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El experimento consistió en un diseño factorial 4 $\times$ 2 con interacciones, por triplicado. Los resultados fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey con confianza del 95 % ($p < 0.05$) en Minitab® 21.4. Los cromatogramas fueron procesados y analizados en RStudio versión 4.5.1 utilizando la paquetería *chromatographR* versión 0.7.5.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. MEDICIONES FENOTÍPICAS

La concentración de ZnSO_4 mostró tener un efecto significativo en la masa seca de las plantas, su porcentaje de humedad, su número de raíces y hojas y su longitud promedio de hoja (**Tabla 1**). Los resultados indicaron, de forma general, un detrimento en el crecimiento y desarrollo de las plantas ante la presencia de Zn. Algunos de los indicadores típicos de intoxicación por Zn en las plantas incluyen la inhibición del desarrollo radicular y del crecimiento (Balafrej *et al.*, 2020). Adicionalmente, el estrés por metales pesados está asociado con la disminución del contenido de agua en las plantas, en parte por las afectaciones al crecimiento, pero también por el desequilibrio osmótico (Rucinska-Sobkowiak, 2016). Por tanto, es presumible que las concentraciones empleadas rebasaron el umbral de elicitación hasta provocar toxicidad severa.

Por su parte, el tiempo de inmersión provocó diferencias significativas en el porcentaje de humedad, en el número de hojas y en la longitud promedio de hoja. Mientras que el tiempo de inmersión de 1 min mostró plantas mejor desarrolladas en cuanto a humedad y número de hojas, presentó hojas de menor tamaño respecto al tiempo de inmersión de 5 min. Otros trabajos con SIT han reportado mejor desempeño en plantas de *A. salmiana* con inmersiones de 5 min cada 12 h (Ontiveros-Villa, 2013) y en *A. marmorata* 2 min cada 8 h (Moreno-Hernández *et al.*, 2024). Sin embargo, el foco de estos trabajos radicaba en la generación de brotes y no se contemplaba ninguna inducción de estrés.

Tabla 1. Resultados fenológicos de las plántulas de *A. salmiana* tras 21 días de estrés.

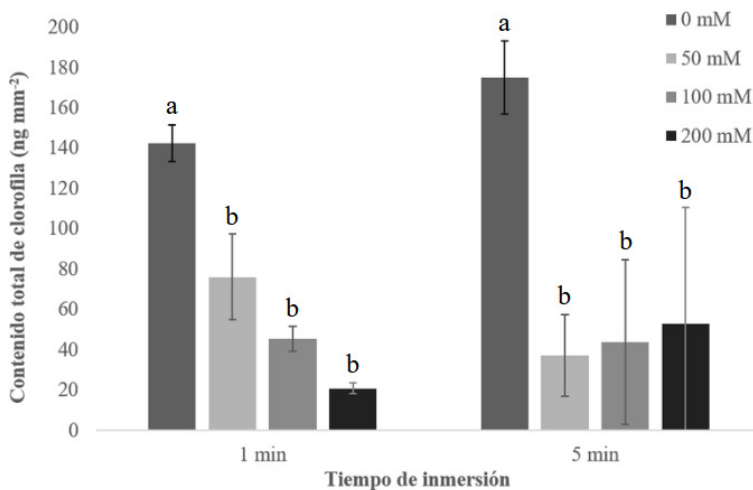
Tratamiento	Masa seca (mg _{ps})	Humedad (%)	Número de hojas	Largo promedio de hoja (cm)	Número de raíces primarias
<i>Concentración de ZnSO₄</i>					
0mM	211.71 ± 78.09 ^a	88.89 ± 3.89 ^a	4.13 ± 0.40 ^a	2.71 ± 0.33 ^a	2.14 ± 0.45 ^a
50mM	167.52 ± 57.30 ^{ab}	87.98 ± 1.46 ^{ab}	3.27 ± 0.68 ^b	2.20 ± 0.35 ^b	0.00 ± 0.00 ^b
100mM	142.03 ± 54.89 ^b	87.33 ± 2.33 ^{ab}	3.23 ± 0.80 ^b	2.07 ± 0.23 ^b	0.06 ± 0.15 ^b
200mM	138.86 ± 51.89 ^b	86.52 ± 1.38 ^b	3.20 ± 0.49 ^b	2.04 ± 0.28 ^b	0.20 ± 0.20 ^b
<i>Tiempo de inmersión</i>					
1min	166.08 ± 47.13 ^a	89.21 ± 2.06 ^a	3.38 ± 0.44 ^a	2.10 ± 0.35 ^a	0.61 ± 0.96 ^a
5min	167.32 ± 88.37 ^a	85.71 ± 1.79 ^b	3.03 ± 0.74 ^b	2.51 ± 0.35 ^b	0.76 ± 1.04 ^a
<i>Concentración de ZnSO₄ – Tiempo de inmersión</i>					
0mM - 1min	146.80 ± 48.39 ^b	92.22 ± 0.49 ^a	4.30 ± 0.38 ^a	2.54 ± 0.22 ^{ab}	2.15 ± 0.59 ^a
50mM -1 min	195.23 ± 45.82 ^{ab}	88.79 ± 0.94 ^b	3.65 ± 0.41 ^{abc}	2.04 ± 0.30 ^{bc}	0.00 ± 0.00 ^b
100mM - 1min	161.90 ± 50.22 ^b	88.87 ± 0.66 ^{ab}	3.85 ± 0.19 ^{ab}	1.93 ± 0.19 ^c	0.10 ± 0.20 ^b
200mM - 1min	161.38 ± 49.49 ^b	86.96 ± 0.70 ^b	3.50 ± 0.35 ^{bc}	1.87 ± 0.24 ^c	0.20 ± 0.23 ^b
0mM - 5min	276.63 ± 25.50 ^a	85.55 ± 2.33 ^b	3.95 ± 0.38 ^{ab}	2.87 ± 0.38 ^a	2.14 ± 0.37 ^a
50mM - 5min	112.10 ± 30.12 ^b	86.35 ± 0.08 ^b	2.50 ± 0.14 ^d	2.51 ± 0.20 ^{abc}	0.00 ± 0.00 ^b
100mM - 5min	115.53 ± 58.43 ^b	85.28 ± 2.15 ^b	2.40 ± 0.20 ^d	2.25 ± 0.13 ^{abc}	0.00 ± 0.00 ^b
200mM - 5min	110.17 ± 47.38 ^b	85.93 ± 2.03 ^b	2.80 ± 0.35 ^{cd}	2.28 ± 0.03 ^{abc}	0.20 ± 0.20 ^b

*Todos los resultados están representados como promedio ± desviación estándar.
 **Letras diferentes denotan grupos estadísticamente distintos por prueba de Tukey (p < 0.05).

3.2. CONTENIDO DE CLOROFILA

El contenido de clorofila disminuyó drásticamente en los tratamientos bajo estrés por Zn (**Fig. 1**). Los tratamientos control mostraron al menos el doble de contenido de clorofila por unidad de área respecto al resto. Precisamente, el síntoma más evidente de toxicidad por Zn en las plantas es el amarillamiento de las hojas o clorosis (Balafrej *et al.*, 2020). El exceso de Zn se traduce en una competencia contra otros metales como Fe, Mg y Mn, lo cual interfiere con la síntesis de clorofila y, por tanto, con la fotosíntesis (Vassilev *et al.*, 2011). De ahí la pérdida de vigor de las plantas y su coloración amarillenta. Esto va alineado con los síntomas de toxicidad previamente descritos en el fenotipo de las plantas.

Figura 1. Contenido de clorofila de las plantas de *A. salmiana* tras 21 días de cultivo bajo diferentes concentraciones de ZnSO_4 (0-200 mM) y diferentes tiempos de inmersión (1 y 5 min). Letras diferentes denotan grupos estadísticamente diferentes por prueba de Tukey ($p < 0.05$).

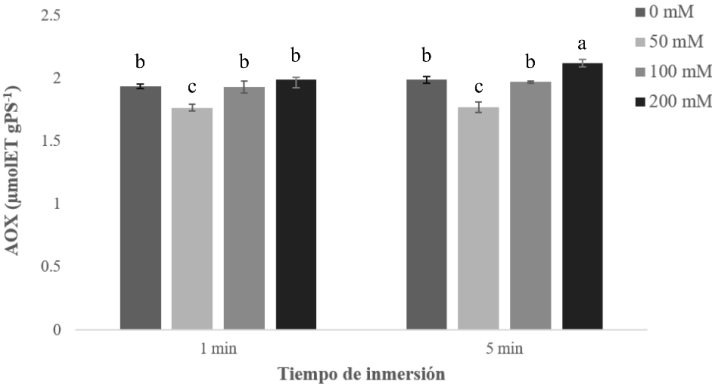


3.3. ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

La concentración de ZnSO_4 , el tiempo de inmersión y su interacción provocaron diferencias significativas en la AOX de los extractos de las plantas (**Fig. 2**). Se observó la mayor AOX en el tratamiento con mayor exposición al Zn, de 200 mM con tiempo de inmersión de 5 min, con $2.1 \mu\text{mol ET gPS}^{-1}$. En contraste, los tratamientos con ZnSO_4 50 mM presentaron la AOX más baja, siendo de $1.77 \mu\text{mol ET gPS}^{-1}$ en ambos, independientemente del tiempo de inmersión. No obstante, la AOX en todas las muestras resultó ser sustancialmente menor que la reportada en extractos vegetales en otros estudios. Puente-Garza *et al.* (2017b) reportaron AOX en extractos de *A. salmiana* superiores a 146

$\mu\text{molET gPS}^{-1}$. Por su parte, para extractos de grano de algunas variedades de maíz (*Zea mays*) se han publicado AOX de entre 95.4 y 156.8 $\mu\text{molET gPS}^{-1}$ (Harakotr *et al.*, 2014).

Figura 2. Actividad antioxidante de los extractos de los diferentes tratamientos. Letras diferentes denotan grupos estadísticamente distintos por prueba de Tukey ($p < 0.05$).



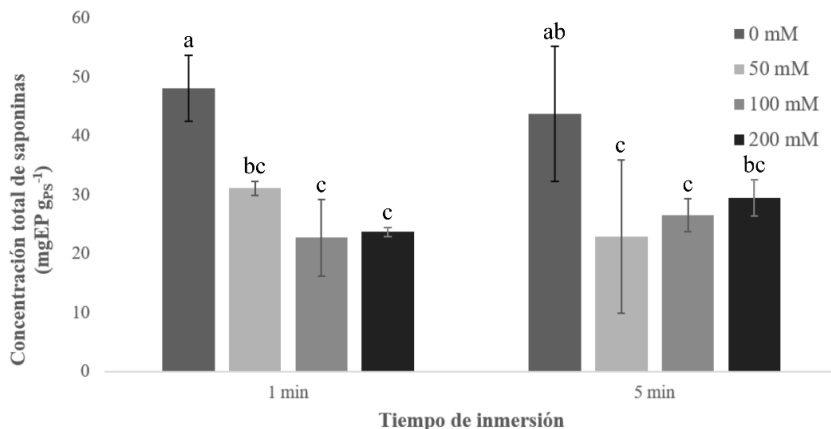
3.4. CONTENIDO DE FLAVONOLES

No se hallaron diferencias significativas entre tratamientos para el contenido total de flavonoles. Su concentración se situó entre 0.05 y 1.62 mg equivalentes de quercetina (EQ) por gPS. Los estudios sobre elicitación por Zn en plantas suelen presentar aumentos significativos en el contenido total de flavonoides, incluyendo flavonoles (Tian *et al.*, 2025; İşlek *et al.*, 2020; Khan *et al.*, 2021). En este caso, se observó mucha variabilidad entre muestras.

3.5. CONTENIDO DE SAPONINAS

La concentración de ZnSO_4 resultó ser el único factor con un efecto significativo sobre el contenido total de saponinas (**Fig. 3**). Las plantas bajo estrés por Zn mostraron disminuciones de al menos 28.9 % respecto a los controles (43.9-48.1 mgEP gPS⁻¹). La tendencia anterior coincide con el trabajo de Puente-Garza *et al.* (2021), donde se reportó que otros metales pesados, como el cobalto, en concentraciones menores a 1.0 mM pueden provocar disminuciones agresivas en el contenido de saponinas de *A. salmiana* cultivado *in vitro*. En *Paris polyphylla* se han reportado disminuciones de varios tipos de saponinas en plantas expuestas a diversos metales pesados, incluido el Zn (Li *et al.*, 2023). Por lo anterior, se observa que la concentración de ZnSO_4 empleada, lejos de estimular la producción de saponinas, la limitó por su presumible efecto tóxico.

Figura 3. Concentración total de saponinas entre los diferentes tratamientos. Letras diferentes denotan grupos estadísticamente distintos por prueba de Tukey ($p < 0.05$).



4. CONCLUSIONES

Se concluyó que las concentraciones de ZnSO_4 empleadas en el medio de cultivo resultaron tóxicas para las plantas de *A. salmiana*. Su crecimiento se vio fuertemente inhibido, al igual que su producción y acumulación de clorofila y saponinas. Sin embargo, los extractos mostraron una máxima actividad antioxidante ante una mayor exposición al Zn, lo cual parece indicar una acumulación de otras especies antioxidantes en respuesta a este tipo de estrés. Debido a su alta variabilidad, no fue posible identificar cambios significativos en el contenido de flavonoles entre tratamientos.

Este estudio supone un acercamiento a la elucidación del efecto del estrés por Zn en *A. salmiana* en el formato de cultivo por SIT. A partir de este precedente, es seguro probar niveles más bajos de Zn para conseguir una concentración elicitora que estimule la producción de metabolitos secundarios de interés. De igual modo, plantea la posibilidad del uso del Zn como herramienta de modulación de saponinas.

REFERENCIAS

- Alducin-Martínez, C., Ruiz Mondragón, K. Y., Jiménez-Barrón, O., Aguirre-Planter, E., Gasca-Pineda, J., Eguiarte, L. E., y Medellín, R. A. (2023). Uses, Knowledge and Extinction Risk Faced by Agave Species in Mexico. *Plants*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/plants12010124>
- Balafrej, H., Bogusz, D., Triqui, Z.A., Guedira, A., Bendaou, N., Smouni, A. y Fahr, M. (2020) Zinc Hyperaccumulation in Plants: A Review. *Plants*, 9(5):562. [10.3390/plants9050562](https://doi.org/10.3390/plants9050562). PMID: 32365483; PMCID: PMC7284839.
- Chávez-Ortiz, L. I., Morales-Domínguez, J. F., Rodríguez-Sahagún, A. y Pérez-Molphe-balch, E. (2021). In Vitro Propagation of *Agave guiengola* Gentry Using Semisolid Medium and Temporary Immersion Bioreactors. *Phyton-International Journal of Experimental Botany*, 90(3), 1003-1013. <https://doi.org/10.32604/PHYTON.2021.012862>

de Carlo, A., Tarraf, W., Lambardi, M. y Benelli, C. (2021). Temporary immersion system for production of biomass and bioactive compounds from medicinal plants. *Agronomy*, 11(12). <https://doi.org/10.3390/agronomy11122414>

García-Mendoza, A. (2002) Distribution of Agave (Agavaceae) in Mexico. *Journal of the Cactus and Succulent Society of America*, 74, 177-186.

Harakotr, B., Suriharn, B., Tangwongchai, R., Scott, M.P. y Lertrat, K. (2014). Anthocyanins and antioxidant activity in coloured waxy corn at different maturation stages. *J. Funct. Foods*, 9, 109-118. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.04.012>

Higuera-Orbe, C. L., García-Barrón, S. E. y Moreno-Vilet, L. (2025). La importancia del maguey pulquero (Agave salmiana) en la alimentación y soberanía alimentaria. *Enfoques Transdisciplinarios: Ciencia Y Sociedad*, 3(1), 235-248. <https://revistaenfoques.ciatej.mx/index.php/revistaenfoques/article/view/64>

İşlek, C., Türkylmaz Ünal, B. y Aydın, S. (2020). Elisitör Olarak Kullanılan Çinko Sülfatın Biber Kalluslarının Süperoksit Dismutaz, Peroksidaz ve Toplam Fenolik Bileşikleri Üzerine Etkileri. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 8(12), 2780-2784. <https://doi.org/10.24925/turjaf.v8i12.2780-2784.4121>

Khan, A. K., Kousar, S., Tungmunthum, D., Hano, C., Abbasi, B. H. y Anjum, S. (2021). Nano-Elicitation as an Effective and Emerging Strategy for In Vitro Production of Industrially Important Flavonoids. *Applied Sciences*, 11(4), 1694. <https://doi.org/10.3390/app11041694>

Liang, Y., Urano, D., Liao, K. L., Hedrick, T. L., Gao, Y. y Jones, A. M. (2017). A nondestructive method to estimate the chlorophyll content of *Arabidopsis* seedlings. *Plant Methods*, 13(1). <https://doi.org/10.1186/s13007-017-0174-6>

Li, H. L., Yan, C. P., Qi, J. S., Zhang, S., Guo, D. Q., Gu, W. C., Wu, Y. M., Wu, Y. y Zhou, N. (2023). Analysis of the heavy metal contents' effect on steroidal saponins and the anti-breast cancer activity of *Paris polyphylla* var. *yunnanensis*. *Frontiers in pharmacology*, 14, 1277395. <https://doi.org/10.3389/fphar.2023.1277395>

Mancilla-Álvarez, E., Spinoso-Castillo, J.L., Schettino-Salomón, S.S. *et al.* Temporary immersion systems induce photomixotrophism during in vitro propagation of agave Tobalá. *3 Biotech* 14, 74 (2024). <https://doi.org/10.1007/s13205-024-03928-5>

Monja-Mio, K.M., Olvera-Casanova, D., Herrera-Alamillo, M.Á., Sánchez-Teyer, F.L. y Robert, M.L. (2021). Comparison of conventional and temporary immersion systems on micropropagation (multiplication phase) of *Agave angustifolia* Haw. 'Bacanora'. *Biotech*, 11(2):77. [10.1007/s13205-020-02604-8](https://doi.org/10.1007/s13205-020-02604-8).

Moreno-Hernández, M.R., Mancilla-Álvarez, E., Aguilar-Jiménez, D. y Bello-Bello, J.J. (2024). In Vitro Multiplication of Agave (*A. marmorata* and *A. potatorum*) by Temporary Immersion in SETIS™ Bioreactor. In Micropropagation Methods in Temporary Immersion Systems. *Methods in Molecular Biology*, 2759, 69-76. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-3654-1_7

Mubeen, B., Murtaza, S., Yaqoob, S., Aregbe, A. Y., Boasiako, T. A., Xiong, Y. Q. y Ma, Y. K. (2025). Harnessing plant defense: Elicitors, hormones and immunity-driven production of medicinally valuable secondary metabolites. *South African Journal of Botany*, 179, 280-292. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2025.02.018>

Murashige, T. and Skoog, F. (1962), A Revised Medium for Rapid Growth and Bio Assays with Tobacco Tissue Cultures. *Physiologia Plantarum*, 15: 473-497. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>

Nava-Cruz, N. Y., Medina-Morales, M. A., Martinez, J. L., Rodriguez, R. y Aguilar, C. N. (2015). Agave biotechnology: an overview. *Critical Reviews in Biotechnology*, 35(4), 546-559. <https://doi.org/10.3109/07388551.2014.923813>

Ontiveros-Villa, F. (2013). Análisis de la eficiencia de diferentes sistemas de cultivo in vitro en la propagación de agave [Tesis de maestría]. Universidad Autónoma de Aguascalientes. <http://hdl.handle.net/11317/2753>

Pałka, P., Muszynska, B., Szewczyk, A. y Pawłowska, B. (2023). Elicitation and Enhancement of Phenolics Synthesis with Zinc Oxide Nanoparticles and LED Light in *Lilium candidum* L. Cultures In Vitro. *Agronomy*, 13, 1437. 10.3390/agronomy13061437.

Puente-Garza, C. A., Espinosa-Leal, C. A. y García-Lara, S. (2021). Effects of saline elicitors on saponin production in *Agave salmiana* plants grown in vitro. *Plant Physiology and Biochemistry*, 162, 476–482. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.03.017>

Puente-Garza, C. A., García-Lara, S. y Gutiérrez-Urbe, J. A. (2017a). Enhancement of saponins and flavonols by micropropagation of *Agave salmiana*. *Industrial Crops and Products*, 105, 225–230. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.05.014>

Puente-Garza, C. A., Gutiérrez-Mora, A. y García-Lara, S. (2015). Micropropagation of *Agave salmiana*: Means to production of antioxidant and bioactive principles. *Frontiers in Plant Science*, 6(NOVEMBER), 1–9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.01026>

Puente-Garza, C. A., Meza-Miranda, C., Ochoa-Martínez, D. y García-Lara, S. (2017b). Effect of in vitro drought stress on phenolic acids, flavonols, saponins, and antioxidant activity in *Agave salmiana*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 115, 400–407. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.04.012>

Robles-Arias, M. y Cruz-Guerrero, A. (2023). Agave: importancia y aplicaciones en México. *CienciaCierta*, 76. <https://revistas.uadec.mx/CienciaCierta/article/view/535/407>

Rodríguez-Vera, D., Rivera Pérez, R., Arciniega-Martínez, I. M., Soriano-Ursúa, M. A., Reséndiz-Albor, A. A., Magdaleno-Durán, F., García-Machorro, J. y Morales-González, J. A. (2025). Pulque: Beverage Transcending Historical Boundaries. *Histories*, 5(3), 41. <https://doi.org/10.3390/histories5030041>

Rowell, R. M. (2008). Natural fibres: types and properties. *Properties and Performance of Natural-Fibre Composites*, 3–66. <https://doi.org/10.1533/9781845694593.1.3>

Rucińska-Sobkowiak, R. (2016). Water relations in plants subjected to heavy metal stresses. *Acta Physiologiae Plantarum*. 38. 10.1007/s11738-016-2277-5.

Stanton, C., Sanders, D., Krämer, U. y Podar, D. (2022). Zinc in plants: Integrating homeostasis and biofortification. *Molecular Plant*, 15(1), 65–85. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2021.12.008>

Tariverdizadeh, N., Mohebodini, M., Chamani, E. y Ebadi, A. (2021). Iron and zinc oxide nanoparticles: An efficient elicitor to enhance trigonelline alkaloid production in hairy roots of fenugreek. *Industrial Crops and Products*, 162, 113240. <https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2021.113240>

Tian, X., Zhang, J., Ye, Z., Fang, W., Ding, X. y Yin, Y. (2025). Zinc Sulfate Stress Enhances Flavonoid Content and Antioxidant Capacity from Finger Millet Sprouts for High-Quality Production. *Foods*, 14(15), 2563. <https://doi.org/10.3390/foods14152563>

Vassilev, A., Nikolova, A., Koleva, L. y Lidon, F. (2011). Effects of Excess Zn on Growth and Photosynthetic Performance of Young Bean Plants. *Journal of Phytology*, 3(6). www.scholarjournals.org/www.journal-phytology.com

Vázquez-Martínez, O., Núñez-Palenius, H., Balch, E., Valencia-Posadas, M., Pérez-Moreno, L., Ruiz-Aguilar, G. y Gómez-Lim, M. (2021). In Vitro-Propagation of *Agave tequilana* Weber cv. azul in a Temporary Immersion System. *Phyton-International Journal of Experimental Botany*. 91. 83-96. 10.32604/phyton.2022.017281.

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

Absorción 40, 48, 131, 132, 134, 135, 136, 140, 144, 152

Ácido giberélico 33, 34, 36, 39, 40, 41, 42

Agave 43, 44, 45, 46, 53, 54, 55

Alfalfa 32, 152, 159

Alimentación 42, 54, 91, 117, 125, 126, 133, 137, 145, 150, 158, 159, 160, 162, 163, 169, 172, 173, 175, 177, 178

B

Beauveria bassiana 85, 86, 88, 89, 99, 101, 102, 103, 104

Bienestar animal 152, 174, 175, 176, 177, 178, 185, 186

C

Café 68, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103

Callo córneo 216, 217, 218, 221, 223, 224

Cinco libertades 175, 176

Componentes principales 2, 3, 5, 7, 9, 11, 161

Coniella 105, 106, 109, 110, 111, 112

Conservação seminal 188

Corynespora 105, 106, 109, 110, 111, 112

Cultivo in vitro 46, 55, 56, 62, 64, 74, 76

Cúrcuma 158, 159, 161, 162, 163, 164, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173

Cuyes 158, 159, 160, 162, 163, 169, 170, 172, 173

D

Diluidor 187, 188

Doble haploide 56, 64, 81

Duplicación cromosómica 56, 58, 60, 68, 79, 80

E

Estrés abiótico 44, 45, 57

Estrés por calor 143, 144, 149, 152, 157

F

Fauna silvestre 215, 216, 217, 218, 224, 225

G

Gallinas ponedoras 174, 175, 176, 177, 178, 185, 186

H

Haploides 56, 57, 58, 60, 63, 64, 65, 66, 67, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 79, 80, 81, 82

Hibiscus sabdariffa 105, 106, 113

Homocigosis 56, 57, 58, 79, 80, 82

Hypothenemus hampei 85, 86, 90, 102, 103, 104

M

Mejoramiento vegetal 56, 74, 80

Metabolismo secundario 44, 45

Minerales 39, 131, 139

Monitoreo de Oebalus 115

Morfología 44, 67, 79, 108, 171

N

Nutrición vegetal 34, 38, 42

O

Olive-tree 17

P

Parâmetros climáticos 115, 119, 121, 122, 123

Parâmetros productivos 158, 159, 161, 169, 172, 173, 185

Propilenglicol 143, 144, 145, 147, 152, 155

Propionato 143, 144, 145, 147, 149, 150, 151, 152, 153, 154

Puercoespín 216, 217

R

Refrigeração 188

Rendimiento de grano 3, 5, 8, 82

Reprodução assistida 188

Rumiantes 132, 135, 137, 144, 145, 146, 147, 149, 150, 151, 154
RWC 17, 19, 21, 22, 25, 27, 28, 29, 30

S

Salt stress 16, 17, 18, 19, 21, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32
Sémen caprino 187, 188
Sistema de pastoreo 174, 175, 177, 180, 181, 182, 183, 184, 185
Sistema de piso 174, 175, 179, 180, 181, 183, 184, 185
Sistemas de inmersión temporal 43, 44, 46
Solución steiner 33, 34, 35, 36, 37, 40, 42
SREG 2, 3, 4, 7, 15
Stomatal density 17, 22, 23, 24, 28, 29

U

Úlcera duodenal 216, 221
Umbrales de tratamiento 115, 119, 126, 127

V

Varieties 17, 18, 19, 21, 24, 25, 26, 28, 29, 30
Vitamina D 131, 132, 135, 138, 139

W

Wax rate 17, 20, 22, 24, 27

Z

Zea Mays L. 3



EDITORA
ARTEMIS

2026