

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.**

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

Conselho Editorial

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



Prof. Dr. David García-Martul, *Universidad Rey Juan Carlos de Madrid*, Espanha
Prof.ª Dr.ª Deuzimar Costa Serra, *Universidade Estadual do Maranhão*, Brasil
Prof.ª Dr.ª Dina Maria Martins Ferreira, *Universidade Estadual do Ceará*, Brasil
Prof.ª Dr.ª Edith Luévano-Hipólito, *Universidad Autónoma de Nuevo León*, México
Prof.ª Dr.ª Eduarda Maria Rocha Teles de Castro Coelho, *Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro*, Portugal
Prof. Dr. Eduardo Eugênio Spers, *Universidade de São Paulo (USP)*, Brasil
Prof. Dr. Eloi Martins Senhoras, *Universidade Federal de Roraima*, Brasil
Prof.ª Dr.ª Elvira Laura Hernández Carballido, *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*, México
Prof.ª Dr.ª Emilas Darlene Carmen Lebus, *Universidad Nacional del Nordeste*, Argentina
Prof.ª Dr.ª Erla Mariela Morales Morgado, *Universidad de Salamanca*, Espanha
Prof. Dr. Ernesto Cristina, *Universidad de la República*, Uruguay
Prof. Dr. Ernesto Ramírez-Briones, *Universidad de Guadalajara*, México
Prof. Dr. Fernando Hitt, *Université du Québec à Montréal*, Canadá
Prof. Dr. Gabriel Díaz Cobos, *Universitat de Barcelona*, Espanha
Prof.ª Dr.ª Gabriela Gonçalves, *Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP)*, Portugal
Prof.ª Dr.ª Galina Gumovskaya – *Higher School of Economics*, Moscow, Russia
Prof. Dr. Geoffroy Roger Pointer Malpass, *Universidade Federal do Triângulo Mineiro*, Brasil
Prof.ª Dr.ª Gladys Esther Leoz, *Universidad Nacional de San Luis*, Argentina
Prof.ª Dr.ª Glória Beatriz Álvarez, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina
Prof. Dr. Gonçalo Poeta Fernandes, *Instituto Politécnico da Guarda*, Portugal
Prof. Dr. Gustavo Adolfo Juarez, *Universidad Nacional de Catamarca*, Argentina
Prof. Dr. Guillermo Julián González-Pérez, *Universidad de Guadalajara*, México
Prof. Dr. Håkan Karlsson, *University of Gothenburg*, Suécia
Prof.ª Dr.ª Lara Lúcia Tescarollo Dias, *Universidade São Francisco*, Brasil
Prof.ª Dr.ª Isabel del Rosario Chiyon Carrasco, *Universidad de Piura*, Peru
Prof.ª Dr.ª Isabel Yohena, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina
Prof. Dr. Ivan Amaro, *Universidade do Estado do Rio de Janeiro*, Brasil
Prof. Dr. Iván Ramon Sánchez Soto, *Universidad del Bío-Bío*, Chile
Prof.ª Dr.ª Ivânia Maria Carneiro Vieira, *Universidade Federal do Amazonas*, Brasil
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz, *University of Miami and Miami Dade College*, Estados Unidos
Prof. Dr. Jesús Montero Martínez, *Universidad de Castilla - La Mancha*, Espanha
Prof. Dr. João Manuel Pereira Ramalho Serrano, *Universidade de Évora*, Portugal
Prof. Dr. Joaquim Júlio Almeida Júnior, *UNIFIMES - Centro Universitário de Mineiros*, Brasil
Prof. Dr. Jorge Ernesto Bartolucci, *Universidad Nacional Autónoma de México*, México
Prof. Dr. José Cortez Godinez, *Universidad Autónoma de Baja California*, México
Prof. Dr. Juan Carlos Cancino Diaz, *Instituto Politécnico Nacional*, México
Prof. Dr. Juan Carlos Mosquera Feijoo, *Universidad Politécnica de Madrid*, Espanha
Prof. Dr. Juan Diego Parra Valencia, *Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín*, Colômbia
Prof. Dr. Juan Manuel Sánchez-Yáñez, *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, México
Prof. Dr. Juan Porras Pulido, *Universidad Nacional Autónoma de México*, México



Prof. Dr. Júlio César Ribeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
Prof. Dr. Leiníg Antonio Perazolli, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil
Prof.ª Dr.ª Livia do Carmo, Universidade Federal de Goiás, Brasil
Prof.ª Dr.ª Luciane Spanhol Bordignon, Universidade de Passo Fundo, Brasil
Prof. Dr. Luis Fernando González Beltrán, *Universidad Nacional Autónoma de México*, México
Prof. Dr. Luis Vicente Amador Muñoz, *Universidad Pablo de Olavide*, Espanha
Prof.ª Dr.ª Macarena Esteban Ibáñez, *Universidad Pablo de Olavide*, Espanha
Prof. Dr. Manuel Ramiro Rodriguez, *Universidad Santiago de Compostela*, Espanha
Prof. Dr. Manuel Simões, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal
Prof.ª Dr.ª Márcia de Souza Luz Freitas, Universidade Federal de Itajubá, Brasil
Prof. Dr. Marcos Vinicius Meiado, Universidade Federal de Sergipe, Brasil
Prof.ª Dr.ª Mar Garrido Román, *Universidad de Granada*, Espanha
Prof.ª Dr.ª Margarida Márcia Fernandes Lima, Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil
Prof.ª Dr.ª María Alejandra Arecco, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina
Prof.ª Dr.ª Maria Aparecida José de Oliveira, Universidade Federal da Bahia, Brasil
Prof.ª Dr.ª Maria Carmen Pastor, *Universitat Jaume I*, Espanha
Prof.ª Dr.ª Maria da Luz Vale Dias – Universidade de Coimbra, Portugal
Prof.ª Dr.ª Maria do Céu Caetano, Universidade Nova de Lisboa, Portugal
Prof.ª Dr.ª Maria do Socorro Saraiva Pinheiro, Universidade Federal do Maranhão, Brasil
Prof.ª Dr.ª M^ªGraça Pereira, Universidade do Minho, Portugal
Prof.ª Dr.ª Maria Gracinda Carvalho Teixeira, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil
Prof.ª Dr.ª María Guadalupe Vega-López, *Universidad de Guadalajara*, México
Prof.ª Dr.ª Maria Lúcia Pato, Instituto Politécnico de Viseu, Portugal
Prof.ª Dr.ª Maritza González Moreno, *Universidad Tecnológica de La Habana*, Cuba
Prof.ª Dr.ª Mauriceia Silva de Paula Vieira, Universidade Federal de Lavras, Brasil
Prof. Dr. Melchor Gómez Pérez, Universidad del Pais Vasco, Espanha
Prof.ª Dr.ª Ninfa María Rosas-García, Centro de Biotecnología Genómica-Instituto Politécnico Nacional, México
Prof.ª Dr.ª Odara Horta Boscolo, Universidade Federal Fluminense, Brasil
Prof. Dr. Osbaldo Turpo-Gebera, *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*, Peru
Prof.ª Dr.ª Patrícia Vasconcelos Almeida, Universidade Federal de Lavras, Brasil
Prof.ª Dr.ª Paula Arcoverde Cavalcanti, Universidade do Estado da Bahia, Brasil
Prof. Dr. Rodrigo Marques de Almeida Guerra, Universidade Federal do Pará, Brasil
Prof. Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares, Universidade Federal do Piauí, Brasil
Prof. Dr. Sergio Bitencourt Araújo Barros, Universidade Federal do Piauí, Brasil
Prof. Dr. Sérgio Luiz do Amaral Moretti, Universidade Federal de Uberlândia, Brasil
Prof.ª Dr.ª Silvia Inés del Valle Navarro, *Universidad Nacional de Catamarca*, Argentina
Prof.ª Dr.ª Solange Kazumi Sakata, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN)- USP, Brasil
Prof.ª Dr.ª Stanislava Kashtanova, *Saint Petersburg State University*, Russia
Prof.ª Dr.ª Susana Álvarez Otero – Universidad de Oviedo, Espanha
Prof.ª Dr.ª Teresa Cardoso, Universidade Aberta de Portugal

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

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

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

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

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

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

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

E89 Estudos em ciências agrárias e ambientais VII [livro eletrônico] /
Organizador Eduardo Eugênio Spers. – 1. ed. – Curitiba, PR:
Editora Artemis, 2026.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Edição bilingue

Inclui bibliografia.

ISBN 978-65-82858-08-6

DOI 10.37572/EdArt_260626086

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

CDD 630

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422



PRÓLOGO

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

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

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

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

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

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

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

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

Eduardo Eugênio Spers

Esalq/USP

SUMÁRIO

RECURSOS NATURAIS, SUSTENTABILIDADE E SAÚDE AMBIENTAL

CAPÍTULO 1..... 1

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

María José de Dios Duarte

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2606260861

CAPÍTULO 2.....25

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

Catalina Vargas Ramos

Graciela Hernández Moreno

Ma. De la Cruz Galindo Ceja

Alan León González Almaguer

Jorge Alejandro Gallegos de la Cruz

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2606260862

PRODUÇÃO VEGETAL, INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE DOS SISTEMAS AGRÍCOLAS

CAPÍTULO 3..... 34

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

Eliecer Miguel Cabrales Herrera

Laura Sofia Osorio Barcenas

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2606260863

CAPÍTULO 4..... 50

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

Rosa María Yáñez Muñoz

Juan Manuel Soto Parra

Esteban Sánchez Chávez

Ana Lilia Santana Díaz

Laura Raquel Orozco Meléndez

Ramona Pérez Leal
Nubia Guadalupe Torres Beltrán
Julio César Oviedo Mireles

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2606260864

CAPÍTULO 5..... 69

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

Dhia Gharabi
Magheni Benchohra
Ahmed Bellhabib
Abdelkarim Hassani

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2606260865

CAPÍTULO 6.....87

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

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

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2606260866

CAPÍTULO 7.....97

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

Lourdes Mateos-Espejel

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2606260867

GENÉTICA, BIOTECNOLOGIA E MELHORAMENTO DE CULTIVOS

CAPÍTULO 8..... 113

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

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

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2606260868

CAPÍTULO 9.....122

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

Germán Fernando Gutiérrez-Hernández

José Luis Arellano-Vázquez

Estela Flores-Gómez

Aída Margarita Zamora-Contreras

Patricia Vázquez-Lozano

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2606260869

CAPÍTULO 10.....129

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

Germán Fernando Gutiérrez-Hernández

José Luis Arellano-Vázquez

Estela Flores-Gómez

Aída Margarita Zamora-Contreras

Patricia Vázquez-Lozano

 https://doi.org/10.37572/EdArt_26062608610

PRODUÇÃO ANIMAL, NUTRIÇÃO E SISTEMAS AQUÍCOLAS

CAPÍTULO 11.....136

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

Elmer Bonilla-Valverde

Juan Manuel Romo-Valdez

Jesús José Portillo-Loera

Ana Mireya Romo-Valdez

Laura Francisca Espinoza-Aguirre

Javier Alonso Romo-Rubio

 https://doi.org/10.37572/EdArt_26062608611

CAPÍTULO 12.....162

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

Jorge Castro Mejía

Germán Castro Mejía

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

 https://doi.org/10.37572/EdArt_26062608612

CAPÍTULO 13..... 175

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

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

 https://doi.org/10.37572/EdArt_26062608613

CAPÍTULO 14..... 190

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

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

 https://doi.org/10.37572/EdArt_26062608614

SOBRE O ORGANIZADOR.....205

ÍNDICE REMISSIVO206

CAPÍTULO 3

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

Data de submissão: 03/06/2026

Data de aceite: 16/06/2026

Eliecer Miguel Cabrales Herrera, PhD

Docente Investigador Titular
Universidad de Córdoba
Montería, Córdoba, Colombia

Laura Sofia Osorio Barcenas

Ingeniería Agronómica
Semillero Ciencias del Suelo
Universidad de Córdoba
Montería, Córdoba, Colombia
<https://orcid.org/0009-0003-4202-2427>

RESUMEN: El uso de fertilizantes de síntesis o químicos de forma continua en la producción de arroz (*Oryza sativa* L.) ha provocado una degradación progresiva de los suelos agrícolas y una baja eficiencia en el uso de nutrientes, problemas particularmente agudos en los agroecosistemas tropicales con bajo contenido de materia orgánica. Este escenario demanda estrategias agronómicas que integren la nutrición biológica para mejorar la sostenibilidad. El presente estudio evaluó el efecto de la mezcla de tres biofertilizantes (biol, purín y microorganismos eficientes), como sustituto parcial de la fertilización química convencional (NPK) sobre el rendimiento del arroz en un suelo de Montería, Colombia. Se

implementó un diseño de bloques completos al azar con siete tratamientos (0%, 25%, 50%, 75% y 100% de NPK más 20 litros de cada biofertilizante) y tres repeticiones, además de un control con 100% de NPK sin biofertilizante y un control absoluto (sin biofertilizantes y sin fertilización convencional). Se midieron los componentes de rendimiento (densidad de población, número de panículas/m², granos por panícula, peso de 1000 granos y rendimiento final en kg/ha). Los resultados indicaron que los tratamientos que no recibieron la biofertilización, no prosperaron hasta el ciclo de producción. Entre los tratamientos que recibieron la mezcla de biofertilizantes más la dosis parcial de NPK o fertilización convencional, hubo respuesta del cultivo significativamente en el rendimiento, el cual reveló un hallazgo que osciló entre 2726,6 y 4660,2 kg/ha: el tratamiento con 25% de la dosis de NPK más el biofertilizante (T2) alcanzó un rendimiento estadísticamente similar al del tratamiento con 100% de NPK más el biofertilizante (T5). Así mismo, se encontró una correlación lineal positiva y fuerte ($R^2 = 0,8886$) entre el rendimiento y las dosis de NPK en presencia del biofertilizante. Se concluye que la aplicación de la mezcla de los biofertilizantes Biol-Purin-EM permite reducir hasta en un 75% el uso de fertilizantes sintéticos sin comprometer la productividad del cultivo. Esta tecnología representa una alternativa viable y sostenible para optimizar la nutrición del arroz, reducir los costos de

producción y mitigar el impacto ambiental asociado a la agricultura convencional en el Caribe colombiano.

PALABRAS CLAVE: agricultura sostenible; uso de biofertilizantes; producción de arroz; suelos de Montería; nutrición sostenible; rendimiento de arroz; salud del suelo.

BIOFERTILIZERS AS A PARTIAL SUBSTITUTE IN THE CONVENTIONAL FERTILIZATION OF RICE CROPS IN THE COLOMBIAN CARIBBEAN

ABSTRACT: The continuous use of synthetic or chemical fertilizers in rice (*Oryza sativa* L.) production has caused a progressive degradation of agricultural soils and a low nutrient use efficiency, problems that are particularly severe in tropical agroecosystems with low organic matter content. This scenario demands agronomic strategies that integrate biological nutrition to improve sustainability. The present study evaluated the effect of a mixture of three biofertilizers (biol, slurry, and effective microorganisms) as a partial substitute for conventional chemical fertilization (NPK) on rice yield in a soil from Montería, Colombia. A randomized complete block design was implemented with seven treatments (0%, 25%, 50%, 75%, and 100% of NPK plus 20 liters of each biofertilizer) and three replications, in addition to a control with 100% NPK without biofertilizer and an absolute control (without biofertilizers and without conventional fertilization). Physiological variables (plant height, number of leaves, and leaf area) and yield components (plant population density, number of panicles m^{-2} , grains per panicle, 1000-grain weight, and final yield in $kg\ ha^{-1}$) were measured. The results indicated that physiological variables showed no statistically significant differences among treatments receiving biofertilizers, regardless of the NPK dose, suggesting that biological inputs effectively compensated for the reduction of chemical inputs in maintaining plant vigor. However, yield analysis revealed a more significant finding and ranged from 2726.6 to 4660.2 $kg\ ha^{-1}$: the treatment with 25% of the NPK dose plus biofertilizer (T2) achieved a yield statistically similar to that obtained with 100% NPK plus biofertilizer (T5). Likewise, a strong positive linear correlation ($R^2 = 0.8886$) was found between yield and increasing NPK doses in the presence of the biofertilizer. It is concluded that the application of the Biol - Manure Slurry - EM biofertilizer mixture allows a reduction of up to 75% in the use of synthetic fertilizers without compromising crop productivity. This technology represents a viable and sustainable alternative to optimize rice nutrition, reduce production costs, and mitigate the environmental impact associated with conventional agriculture in the Colombian Caribbean.

KEYWORDS: sustainable agriculture; biofertilizer use; rice production; Montería soils; sustainable nutrition; rice yield; soil health.

1. INTRODUCCIÓN

La intensificación de la agricultura para satisfacer la creciente demanda alimentaria mundial ha dependido históricamente de un alto consumo de insumos sintéticos o químicos y entre ellos, los fertilizantes. Esta estrategia ha impulsado la productividad de cultivos claves como el arroz (*Oryza sativa* L.), su aplicación continua

y excesiva ha desencadenado una degradación multifactorial del recurso suelo. Este proceso deteriora la sostenibilidad de los agroecosistemas a través de múltiples mecanismos interconectados. En primer lugar, acelera la mineralización de la materia orgánica del suelo, agotando las reservas de nitrógeno nativo y comprometiendo la estructura y biología edáfica (Bijay-Singh, 2024; Pandey et al., 2023).

Este problema se agrava por la inherente ineficiencia en el uso del nitrógeno de los sistemas de arroz inundado, que típicamente se sitúa entre el 30 – 40% con prácticas convencionales (Mondal et al., 2023; He et al., 2024). Consecuentemente, una fracción mayoritaria del nitrógeno aplicado (60-70%) no es absorbida por el cultivo y se pierde en el ambiente a través de la volatilización de amoníaco, la desnitrificación y la lixiviación (Qiu et al., 2022). Esta fuga de nutrientes representa no solo una pérdida económica directa para el agricultor, sino también una fuente significativa de contaminación ambiental, contribuyendo a la eutrofización de cuerpos de agua y a la emisión de gases de efecto invernadero (Cui et al., 2020; Park et al., 2023).

El desafío es aún más crítico en los agroecosistemas tropicales, como los del Caribe colombiano, caracterizados por una baja fertilidad inherente y, de manera crucial, por un bajo contenido de materia orgánica (<2%) (Barlóg et al., 2022). La escasa materia orgánica limita drásticamente la capacidad de intercambio catiónico y la retención de agua, exacerbando las pérdidas de nutrientes y atrapando a los agricultores en un ciclo de dependencia de dosis crecientes de fertilizantes para compensar la baja eficiencia, lo que a su vez acelera la degradación del suelo.

Frente a este panorama, emerge la necesidad de validar soluciones agronómicas integradas que restauren la salud del suelo y mejoren la eficiencia de los recursos. En este sentido, los biofertilizantes, formulados a partir de recursos orgánicos locales y consorcios microbianos, representan una alternativa prometedora.

Las enmiendas orgánicas líquidas derivadas de estiércol aportan nutrientes, mejoran la estructura del suelo y estimulan la biomasa microbiana, lo que contribuye en el incremento del rendimiento del arroz entre un 5 y 22% (Iqbal et al., 2020; Gao et al., 2023). El componente de purín, en particular, dinamiza los ciclos biogeoquímicos al aumentar la abundancia de microorganismos funcionales claves (Iqbal et al., 2022; Xing et al., 2023).

El tercer pilar, los microorganismos eficientes (EM), introduce un componente biotecnológico clave. Consorcios de bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR) que mejoran la capacidad para solubilizar fósforo inmovilizado y mejorar la absorción de nutrientes en suelos hostiles (Barbosa et al., 2024; Cozzolino et al., 2021).

Las enmiendas orgánicas actúan como un sustrato y vehículo para estos inoculantes, mientras que los microorganismos, a su vez, aceleran la descomposición de

la materia orgánica, creando un ciclo virtuoso que rompe el patrón de degradación (Zhao et al., 2021; Gui et al., 2023).

Con base en lo antes expuesto, este estudio se centra en la evaluación de una formulación integrada por tres biofertilizantes (BIOL-PURIN-EM), los cuales combinan estratégicamente enmiendas orgánicas líquidas (biol y purín) con microorganismos eficientes (EM). La evidencia científica respalda el potencial sinérgico de esta combinación.

Se trabajó con la siguiente hipótesis: la sinergia entre los componentes orgánicos y microbianos de esta mezcla de biofertilizantes puede mejorar la disponibilidad de nutrientes y la salud del suelo a tal punto que permite una reducción sustancial de la fertilización química sin afectar negativamente la productividad del cultivo.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. LOCALIZACIÓN

Este proyecto se realizó en la finca La Ilusión en el corregimiento de Buenos Aires Municipio de Montería, clima cálido, precipitaciones que oscilan entre 1500 a 2000 mm/año, temperatura promedio de 27,5°C, es una zona de transición de bosque húmedo y bosque seco, según escala de Holdridge (MADR, 2006). El predio es de características edáficas franco con arenas finas a muy finas (43,9% de Arena, 31,7% Limo y 24,4% arcilla) de poca oferta nutricional (Tabla 1).

Tabla 1. Características fisicoquímicas del suelo donde se hizo el ensayo.

pH	CO	MO	S	P	Ca	Mg	K	Na	Al	Cu	Fe	Zn	Mn	B
1:1	%		mg/kg		cmol(+)/kg					mg/kg				
4,62	0,70		9,6	1,2	1,01	0,47	0,12	2,24	2,24		12,9	0,56	19,7	0,14

Físicamente estos suelos de acuerdo con el triángulo textural están en el grupo de los suelos de textura franca, son suelo muy bien drenados, con abundante arena fina, los cuales en época de lluvia son poco firmes y en época seca son muy duros, dando apariencia de cementación.

Son suelos de posición fisiográfica en planicie, de topografía al igual que la vecina, casi plana cuya pendiente es menor del 2%, nivel freático profundo (más de 1 m), sin evidencia de erosión, con explotación en ganadería extensiva, aunque en la zona se puede encontrar pequeñas áreas sembradas en cultivos de plátano, yuca, ajonjolí, ñame, entre otros.

Estos suelos son profundos sin ninguna limitante física, fueron mecanizados (3 pases de rastra pesada) hace más de 10 años. El drenaje es rápido, suelos con un epipedón

ótrico sobre un cámbico de colores claros, con buena actividad de macroorganismos como Lombriz de tierra y de insectos como hormiga negra y candelilla, entre otros.

Al momento del estudio, hubo presencia de raíces vivas en los primeros 50 cm de profundidad con distribución normal, de estas el 85 – 90% estaban vivas. Es de resaltar, el lote se encontraba en potreros, los cuales no son fertilizados química ni orgánicamente. Este lote no tiene limitantes para uso y pudiera ser utilizado en cultivos como: Hortalizas, frutales, cultivos semestrales, cereales, plátano, yuca, ñame, entre otros. Para hacer de este más eficiente, una nivelación podría ayudar a distribuir mejor el agua lluvia y riego si se llegase a establecer.

2.2. TRATAMIENTOS

Se evaluaron siete (7) tratamientos en total (Tabla 2). La mezcla de los biofertilizantes en dosis de 60 l/ha (20 litros de cada uno), se hizo aspersión al suelo y foliar. Estos tratamientos llevaron dosis de fertilización química NPK de 0-25-50-75-100% de la dosis total. Como fuente de estos elementos se utilizaron los productos comerciales Urea, DAP y KCl para N, P y K, respectivamente. En virtud de que el DAP tiene N en su composición, esta se tuvo en cuenta para el cálculo de la dosis de N.

Tabla 2. Descripción de los tratamientos aplicados en el ensayo.

Tratamiento	Descripción de los tratamientos	
	Mezcla de biofertilizantes (l/ha)	Fertilizantes NPK (%)
T1	60	0
T2	60	25
T3	60	50
T4	60	75
T5	60	100
T6	0	100
T7	0	0

Los biofertilizantes utilizados (biol, Purín y Microorganismos eficientes) son de preparación local, con materiales de la zona. Las dosis usadas fueron de 20 litros de cada uno mezclados para un total de 60 l/ha. La caracterización biológica de estos biofertilizantes se hizo solamente para hongos y bacterias totales, los cuales se encontraron en poblaciones de 3×10^5 y $3,5 \times 10^9$ UFC, respectivamente.

2.3. PREPARACIÓN DE SUELOS Y SIEMBRA

Se hizo dos pases de rastra pesada y una liviana (pulida), labranza tradicional y la siembra se hizo con semilla de arroz FEDEARROZ 70 en forma manual y en hileras separadas a 25 cm entre sí, y en la hilera se establecieron 5 sitios/metro lineal, depositando de 3-5 semillas/sitio.

2.4. FERTILIZACIÓN

La fertilización química o convencional (FC) hace referencia a la aplicación de NPK cuyas dosis fueron: 150 kg de N (260 kg de urea) 80 kg de P (174 kg de DAP) y 120 kg de K (200 kg KCl), siendo esta la dosis del 100%. A partir de esta dosis se plantearon los tratamientos: 0-25-50-75-100% de la dosis. Para el caso de la biofertilización (BF), en este ensayo se usó la mezcla de microorganismos beneficiosos (2 litros), biol (2 litros) y purines (2 litros) por aspersora de 20 litros, es decir 20 litros de cada uno/ha, es decir una dosis total de 60 l/ha de la mezcla.

La fertilización química (NPK) se fraccionó en 3 momentos: 15-25-35 días después de la emergencia, aplicando el 20-30-50% de la cantidad aplicada. Para suplementar elementos menores y macronutrientes secundarios se utilizó una fuente comercial de aplicación foliar en dosis de 1 litro/ha. Mientras que aplicación de la mezcla de los biofertilizantes se hizo a los 15 y 35 días después de la emergencia.

2.5. MANEJO DE ARVENSES

Esta se realizó con Propanil en dosis de 5 L/ha, se hizo cuando el arroz tenía 25 días y se repitió a los 60 días, con un control superior al 85%.

2.6. MANEJO DE PLAGAS Y ENFERMEDADES

Se hizo manejo de plagas con Cipermetrina en dosis de 400 ml/ha para trozadores de plántulas y para control de comedores de follaje y chupadores. Para las enfermedades, no fue necesario hacer control, no se presentaron enfermedades de interés económico.

Cosecha. Se hizo en forma manual cuando el grano manifestó madurez fisiológica, para lo cual se cosechó 1 m² del centro de cada parcela o unidad experimental.

2.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Con el programa estadístico SAS versión 9.4 se realizó el análisis de varianza (ANOVA), previa comprobación de los supuestos para dicho análisis. Se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey con un nivel de significancia del 95%.

2.8. VARIABLES DEL ENSAYO

Se evaluaron los componentes del rendimiento: densidad de población, número de espiguillas por panícula, número de granos por panícula (NGP), número de granos vanos (GV), número de granos llenos (GLL), porcentaje de granos vanos, peso de 1000 granos (W1000) y Rendimiento de grano (RTO), todas estas variables se hicieron al finalizar el ensayo.

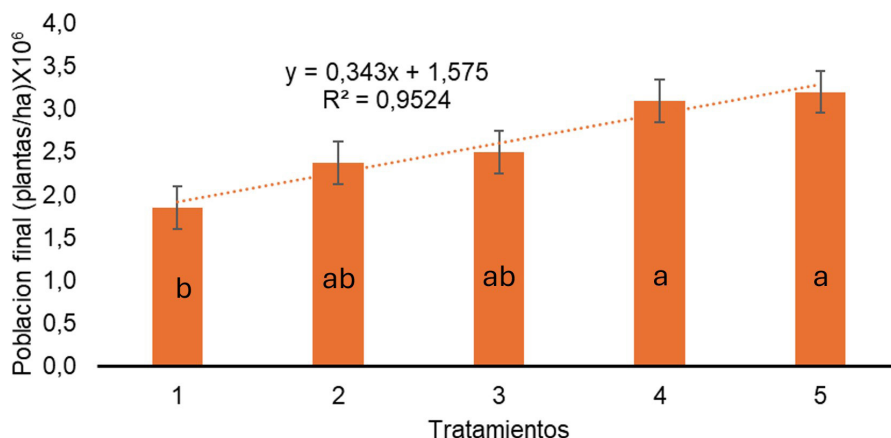
3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Para el análisis de estas variables solo se tuvo en cuenta los tratamientos que recibieron la mezcla de biofertilizantes, toda vez que los tratamientos T6 (sin FC y sin BF) y T7 (100% FC y sin BF), no prosperaron quizás por el largo periodo de sequía que se presentó desde los 70 días del cultivo, sin embargo, los tratamientos que recibieron la mezcla de biofertilizantes todos prosperaron en más del 70% en población.

3.1. DENSIDAD DE POBLACIÓN

La densidad de población presentó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Figura 1), con valores entre $1,85 \times 10^6$ plantas ha^{-1} en T1 (0% FC + BF) y $3,20 \times 10^6$ plantas ha^{-1} en T5 (100% FC + BF). Se observó una tendencia creciente de la población final a medida que aumentó la dosis de fertilización convencional (FC), alcanzando los mayores valores en los tratamientos T4 y T5.

Figura 1. Densidad de población final de plantas de arroz con distintas dosis de fertilización convencional y la mezcla de biofertilizantes: microorganismos beneficiosos, bioles y purines.



La respuesta observada en la figura sugiere que a mayor aplicación de nutrientes se favorece el establecimiento y supervivencia de plantas durante el ciclo del cultivo. Asimismo, el coeficiente de determinación ($R^2 = 0,952$) indicó una fuerte asociación entre la densidad poblacional y las dosis crecientes de NPK aplicadas bajo una condición constante de biofertilización (biol+purín+EM).

Desde el punto de vista agronómico, una mayor densidad de población incrementa el potencial de producción de panículas por unidad de superficie y, por consiguiente, el rendimiento potencial del cultivo. Sin embargo, los valores obtenidos fueron inferiores a los reportados por Calero et al. (2021), quienes registraron densidades entre 3,2 y 3,5 millones de plantas ha^{-1} en arroz bajo siembra manual. Esta diferencia podría estar asociada al período de déficit hídrico registrado durante el desarrollo de nuestro ensayo, que posiblemente afectó la supervivencia de plantas y la población final del cultivo. Incluso, los tratamientos que no recibieron la mezcla de biofertilizantes no llegaron a etapa de producción.

3.2. NÚMERO DE ESPIGUILLAS POR PANÍCULA

El número de espiguillas por panícula osciló entre 11,00 y 12,33, sin presentar diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tabla 3). Los mayores valores se registraron en T1 (0% FC + BF), T3 (50% FC + BF) y T5 (100% FC + BF), mientras que el menor promedio correspondió a T2 (25% FC + BF).

La ausencia de diferencias significativas y la falta de asociación entre las dosis de fertilización convencional y esta variable indican que el número de espiguillas por panícula presentó baja respuesta a los niveles de NPK evaluados bajo una misma dosis de biofertilización. Este comportamiento sugiere una mayor influencia de las características genéticas del cultivar sobre este componente del rendimiento. Estudios recientes indican que el número de espiguillas por panícula es un carácter cuantitativo altamente heredable y controlado por múltiples genes relacionados con el desarrollo de la panícula y la diferenciación de espiguillas, lo cual bajo las condiciones del ensayo no hubo respuesta para su variabilidad (Lu et al., 2022).

Los valores obtenidos fueron consistentes con los reportados en otros estudios de arroz bajo diferentes condiciones de manejo nutricional, lo que refuerza la estabilidad de esta variable frente a cambios moderados en los planes de fertilización (Hernández et al., 2021).

3.3. GRANOS POR PANÍCULA

El número total de granos por panícula varió entre 93,33 (T1 = 0% FC + BF) y 150,67 (T3 = 50% FC + BF) granos. Sin embargo, no se presentaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados (Tabla 3), lo que indica que las dosis de fertilización convencional evaluadas, bajo una condición constante de biofertilización, no modificaron significativamente esta variable.

Aunque se observó una diferencia numérica importante entre los tratamientos extremos, el elevado coeficiente de variación (24,37%) sugiere una alta variabilidad entre unidades experimentales, lo que pudo limitar la detección de diferencias estadísticas. De igual forma, no se encontró una relación consistente entre las dosis crecientes de NPK y el número de granos por panícula.

Estos resultados sugieren que este componente del rendimiento presentó una baja respuesta a los tratamientos de fertilización evaluados. Diversos estudios han señalado que el número de granos por panícula depende de la interacción entre factores genéticos y ambientales, siendo influenciado por las condiciones de crecimiento durante la diferenciación y desarrollo de la panícula (Yoshida, 1981; Lu et al., 2022). En el presente estudio, la ausencia de respuesta significativa indica que los diferentes niveles de fertilización no alteraron sustancialmente el potencial de formación de granos por panícula del cultivar evaluado en las condiciones edafoclimáticas del Caribe colombiano.

Tabla 3. Promedio de número de espiguillas/panícula, número de granos/panículas, número de granos llenos y vanos, porcentaje de granos vanos en función de la dosis de fertilización convencional más mezcla de biofertilizantes en el Caribe colombiano.

TTO	NESPT	Número de granos			G. Vanos (%)	W1000G
		Panícula	Llenos	Vanos		
1	12,33 a	93,33 a	59,00 a	34,33 a	50,97 a	25,4 a
2	11,00 a	106,33 a	81,67 a	24,66 a	25,00 a	22,58 a
3	12,33 a	150,67 a	118,67 a	32,00 a	23,00 a	23,62 a
4	11,66 a	104,33 a	88,67 a	15,66 a	15,13 a	24,61 a
5	12,33 a	122,00 a	73,33 a	48,66 a	42,95 a	23,19 a
CV (%)	15,26 a	24,37	36,21	38,03	59,87	8,24

3.4. NÚMERO DE GRANOS LLENOS Y VANOS

El número de granos llenos por panícula osciló entre 59,00 y 118,67 granos, correspondiendo el menor valor al tratamiento T1 (0% FC + BF) y el mayor a T3 (50% FC + BF). Sin embargo, no se presentaron diferencias estadísticas significativas

entre los tratamientos evaluados (Tabla 3), lo que indica que las dosis de fertilización convencional evaluadas, bajo una condición constante de biofertilización, no modificaron significativamente esta variable. El elevado coeficiente de variación ($CV = 36,21\%$) sugiere una alta variabilidad experimental, lo que pudo apocar la presencia de diferencias estadísticas entre tratamientos.

Por su parte, el número de granos vanos varió entre 15,66 y 48,66 granos por panícula, registrándose el menor valor en T4 (75% FC + BF) y el mayor en T5 (100% FC + BF), sin diferencias estadísticas significativas (Tabla 3). De igual forma, el porcentaje de granos vanos osciló entre 15,13 y 50,97%, mostrando una amplia variación numérica entre tratamientos, aunque sin respuesta estadística al incremento de las dosis de NPK aplicados en los tratamientos.

Los altos porcentajes de granos vanos observados en el ensayo podrían estar asociados al déficit hídrico registrado durante la fase reproductiva y de llenado de grano. Diversos estudios han demostrado que el estrés por sequía durante estas etapas reduce el llenado de granos, incrementa la esterilidad de espiguillas y disminuye el rendimiento final del cultivo de arroz (Hassan et al., 2023; Panja et al., 2024). En consecuencia, las condiciones ambientales posiblemente tuvieron una mayor influencia sobre estas variables que los diferentes planes de fertilización evaluados en dicho ensayo.

3.5. PESO DE 1000 GRANOS (W1000G)

Esta variable osciló entre 22,58 y 25,40 g, sin presentar diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos (Tabla 3). El menor valor se registró en T2 (25% FC + BF) y el mayor en T1 (0% FC + BF), evidenciando una baja variabilidad de esta característica entre los diferentes niveles de fertilización evaluados.

La ausencia de diferencias significativas indica que las dosis de fertilización convencional (FC) aplicadas bajo una condición constante de biofertilización (BF) no modificaron el peso individual de los granos. Este comportamiento sugiere que el peso del grano estuvo determinado principalmente por las características genéticas del cultivar y, en menor medida, por los tratamientos nutricionales evaluados. Diversos estudios han señalado que este componente del rendimiento presenta una alta heredabilidad y una menor sensibilidad a cambios en el manejo agronómico en comparación con otros componentes del rendimiento, como el número de panículas o el número de granos por panícula (Li et al., 2018; Zuo y Li, 2014).

Los valores obtenidos se encuentran dentro del rango reportado para cultivares comerciales de arroz y fueron similares a los observados en otros estudios realizados

bajo diferentes condiciones de fertilización, lo que confirma la estabilidad de esta variable frente a variaciones moderadas en el suministro de nutrientes (Zuo & Li, 2014).

3.6. RENDIMIENTO DE GRANO

Esta variable presentó diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, con valores comprendidos entre 2726,6 y 4660,2 kg ha⁻¹. El menor rendimiento se obtuvo en T1 (0% FC + BF), mientras que el mayor correspondió a T5 (100% FC + BF). Sin embargo, los tratamientos T2 (25% FC + BF), T3 (50% FC + BF), T4 (75% FC + BF) y T5 (100% FC + BF) conformaron un mismo grupo estadístico, lo que indica que reducciones de hasta el 75% de la dosis de fertilización convencional no afectaron significativamente el rendimiento cuando se mantuvo la aplicación de biofertilizantes (Figura2).

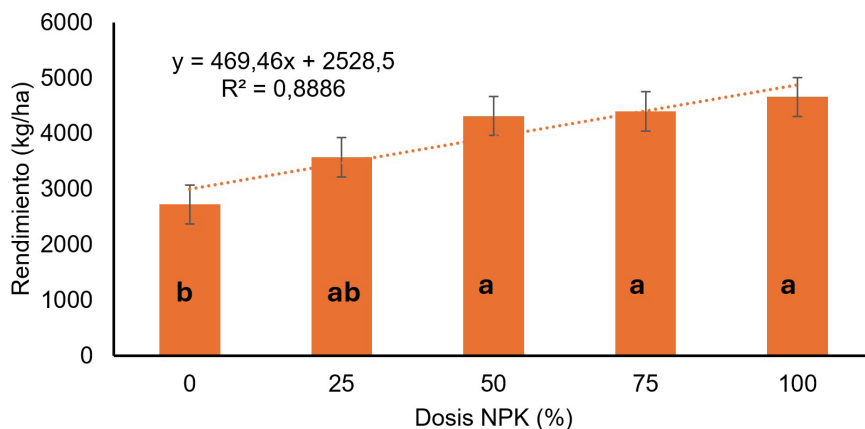
Este resultado reviste gran importancia desde el punto de vista agronómico y económico, ya que sugiere que la combinación de biofertilizantes con dosis reducidas de fertilización mineral permitió mantener rendimientos comparables a los obtenidos con la dosis completa de NPK. Particularmente, los tratamientos T2 y T3 alcanzaron rendimientos equivalentes al tratamiento con fertilización convencional plena, lo que evidencia una mayor eficiencia en el uso de los nutrientes aplicados. Diversos estudios han reportado que los biofertilizantes favorecen la disponibilidad y absorción de nutrientes mediante la estimulación de la actividad microbiana del suelo, el incremento del crecimiento de las raíces y la solubilización de nutrientes, contribuyendo a mejorar la eficiencia agronómica de los fertilizantes minerales (Backer et al., 2018; Chandini et al., 2019).

La respuesta del rendimiento a las dosis crecientes de NPK siguió una tendencia positiva, descrita por el modelo $Y = 2528,5 + 469,46X$, con un coeficiente de determinación ($R^2 = 0,886$), indicando que el 88,6% de la variación observada en el rendimiento estuvo asociada a los niveles de fertilización evaluados. No obstante, el porcentaje restante podría atribuirse a otros factores que influyen sobre la productividad del cultivo, tales como las condiciones climáticas, las propiedades del suelo, la disponibilidad hídrica y el manejo agronómico.

Los mayores rendimientos obtenidos en T4 y T5 fueron cercanos al rendimiento promedio mundial de arroz reportado por FAOSTAT para 2022, estimado en aproximadamente 4,5 t ha⁻¹. Este resultado adquiere especial relevancia considerando que el ensayo estuvo sometido a períodos de déficit hídrico durante parte del ciclo del cultivo, condición que pudo limitar la expresión del potencial productivo. En este contexto, la capacidad de los tratamientos con biofertilización y dosis intermedias de NPK para

mantener rendimientos competitivos constituye una alternativa promisorio para reducir costos de producción y disminuir la dependencia de fertilizantes de síntesis, contribuyendo a una agricultura más eficiente y ambientalmente sostenible.

Figura 2. Rendimiento del cultivo de arroz con distintas dosis de fertilización convencional y la mezcla de biofertilizantes: microorganismos beneficiosos, bioles y purines.



4. ANÁLISIS DE COSTOS

La sostenibilidad económica de un sistema productivo agrícola depende de la optimización de los costos de producción en relación con los ingresos generados. En este ensayo donde se evaluó el comportamiento financiero de siete tratamientos (T1 a T7) que varían en sus niveles de fertilización sintética o convencional (NPK) y la inclusión de una mezcla de biofertilizantes (BF). En este análisis se buscaba el punto de equilibrio donde la inversión en insumos maximiza la utilidad Bruta, permitiendo al productor tomar decisiones basadas en evidencia científica y financiera.

El análisis de costos mostró una progresión lineal esperada en los tratamientos que incluyen biofertilizantes (T1 a T5): T1 (0% FC + BF): Presenta un costo base de \$3.948.990 y fue el tratamiento con el de menor costo de producción, mientras que el tratamiento T5 (100% FC + BF) fue el de mayor valor con \$6.987.030 (Tabla 4).

Un hallazgo crítico se observa al comparar el T5 con el T6 (100% FC - BF), la eliminación del componente biológico reduce el costo total en aproximadamente un 11,15% (de 6.987.030 a 6.208.000). Sin embargo, como veremos más adelante, este ahorro en costos se traduce en un desastre financiero debido a la ausencia total de ingresos registrados en el T6 durante este ciclo evaluativo: las plantas no llegaron a producción, producto quizás de una prolongada sequía que se presentó en la zona.

El análisis del efecto de la Biofertilización (BF) muestra la diferencia entre el T1 (Ingresos: 4.231.683,2) y los tratamientos con mayor carga de NPK (FC) sugiere que el biofertilizante (BF) por sí solo logra establecer una base de producción. No obstante, es la interacción con el NPK lo que potencia el resultado. El salto más significativo en ingresos ocurre entre el T2 (\$5.550.883,2) y el T3 (\$6.699.673,6), donde un incremento del 25% en la dosis de NPK genera un aumento sustancial en el flujo de caja.

Tabla 4. Análisis de costo del ensayo.

Detalle	Unidad	Costo	0%	25%	50%	75%	100%	100% FC-	0% FC-BF
			FC+BF	FC+BF	FC+BF	FC+BF	FC+BF	BF	FC-BF
Tratamiento			T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Arriendo	Ha	700.000	700.000	700.000	700.000	700.000	700.000	700.000	700.000
Adecuación del lote	Ha	300.000	300.000	300.000	300.000	300.000	300.000	300.000	300.000
Herbicidas antes del cultivo+ aplicación	Ha	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000	150.000
Semilla	kg	350.000	350.000	350.000	350.000	350.000	350.000	350.000	350.000
Siembra	Jornal	1.200.000	1.200.000	1.200.000	1.200.000	1.200.000	1.200.000	1.200.000	1.200.000
Urea+ aplicación	Bulto	988.000	-	247.000	494.000	741.000	988.000	988.000	-
KCl+ aplicación	Bulto	920.000	-	230.000	460.000	690.000	920.000	920.000	-
DAP +aplicación	Bulto	840.000	-	210.000	420.000	630.000	840.000	840.000	-
Mezcla biofertilizantes +aplicación	Ha	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000	80.000	-	-
Control insectos	ha	160.000	160.000	160.000	160.000	160.000	160.000	160.000	160.000
Manejo malezas+ aplicación	ha	300.000	300.000	300.000	300.000	300.000	300.000	300.000	300.000
Riego	Ha	300.000	300.000	300.000	300.000	300.000	300.000	300.000	300.000
Recolección			408.990	536.490	647.520	660.600	699.030	-	-
total costos de producción	Ha		3.948.990	4.763.490	5.561.520	6.261.600	6.987.030	6.208.000	3.460.000
Rendimiento			2.727	3.577	4.317	4.404	4.660	-	-
Ingresos			4.231.683	5.550.883	6.699.674	6.835.008	7.232.630	-	-
Utilidad Bruta			282.693	787.393	1.138.154	573.408	245.600	-6.208.000	-3.460.000

Se infiere que la utilidad bruta es el indicador más sincero de este estudio. A pesar de que el T5 genera el mayor ingreso bruto (\$7.232.630,4), no es el tratamiento

más rentable. Sin embargo, el Tratamiento 3 (50% FC + BF) se posiciona como el “punto óptimo” económico. Con una utilidad de \$1.138.153,6, supera con creces a todos los demás escenarios.

Este análisis sugiere que, después del 50% de aplicación de NPK en presencia de biofertilizantes, el sistema entra en una zona de rendimientos decrecientes o ineficiencia fisiológica que no justifica el gasto adicional en insumos químicos.

Para el caso de los tratamientos T6 (100% FC - BF) y T7 (Control negativo: 0% FC - BF) arrojan resultados críticos con utilidades negativas de -\$6.208.000 y -\$3.460.000 respectivamente, esto indica que, bajo las condiciones del estudio, la ausencia de biofertilizantes en dosis altas de NPK (T6) o la ausencia total de nutrición (T7) resultan en una pérdida total de la producción comercializable (Ingresos nulos).

5. CONCLUSIONES

La aplicación de la mezcla de biofertilizantes (BIOL-PURIN-EM) demostró ser una estrategia altamente eficaz para reducir la dependencia de fertilizantes químicos en el cultivo de arroz. El hallazgo principal de este estudio es que la aplicación de solo el 25% de la dosis convencional de NPK, en combinación con la mezcla de biofertilizantes, logró un rendimiento final estadísticamente equivalente al obtenido con las dosis mayores e incluso la del 100% de NPK más la mezcla de biofertilizantes.

Existe un claro efecto sinérgico entre la fertilización química y la mezcla de los biofertilizantes. El rendimiento del cultivo mostró una fuerte correlación lineal positiva ($R^2 > 0.88$) con el aumento de la dosis de NPK en presencia de los aportes biológicos, sugiriendo que el biofertilizante no solo aporta nutrientes, sino que también optimiza la eficiencia de uso de los fertilizantes sintéticos aplicados.

REFERENCIAS

Backer, R., Rokem, J. S., Llangumaran, G., Lamont, J., Praslickova, D., Ricci, E., Subramanian, S., & Smith, D. L. (2018). Plant growth-promoting rhizobacteria: Context, mechanisms of action, and roadmap to commercialization of biostimulants for sustainable agriculture. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1473. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01473>

Barbosa, A., Reyes, I., Valery, A., Labrador, C. C., Martínez, O., & Alonso, M. F. (2024). The use of phosphate rock and plant growth promoting microorganisms for the management of *Urochloa decumbens* (Stapf.) R.D. Webster in acidic soils. *PeerJ*, 12, e18610. <https://doi.org/10.7717/peerj.18610>

Bartóg, P., Grzebisz, W., & Łukowiak, R. (2022). Fertilizers and Fertilization Strategies Mitigating Soil Factors Constraining Efficiency of Nitrogen in Plant Production. *Plants*, 11(14), Article 14. <https://doi.org/10.3390/plants11141855>

- Bijay-singh. (2024). Long-term fertilizer nitrogen management – Soil health conundrum. *Pedosphere*, 34(1), 23-25. <https://doi.org/10.1016/j.pedsph.2023.09.013>
- Calero, A., Pérez, Y., Gómez, M., & Hernández, J. (2021). Densidad de población y rendimiento del cultivo de arroz bajo condiciones de producción en Cuba. *Cultivos Tropicales*, 42(3), 45–53.
- Chandini, Kumar, R., & Prakash, O. (2019). The impact of chemical fertilizers on our environment and ecosystem. En *Research Trends in Environmental Sciences*. <https://doi.org/10.22271/ed.book.593>
- Cozzolino, V., Monda, H., Savy, D., Di Meo, V., Vinci, G., & Smalla, K. (2021). Cooperation among phosphate-solubilizing bacteria, humic acids and arbuscular mycorrhizal fungi induces soil microbiome shifts and enhances plant nutrient uptake. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*, 8(1), 31. <https://doi.org/10.1186/s40538-021-00230-x>
- Cui, N., Cai, M., Zhang, X., Abdelhafez, A. A., Zhou, L., Sun, H., Chen, G., Zou, G., & Zhou, S. (2020). Runoff loss of nitrogen and phosphorus from a rice paddy field in the east of China: Effects of long-term chemical N fertilizer and organic manure applications. *Global Ecology and Conservation*, 22, e01011. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2020.e01011>
- Gao, P., Zhang, T., Lei, X., Cui, X., Lu, Y., Fan, P., Long, S., Huang, J., Gao, J., Zhang, Z., & Zhang, H. (2023). Improvement of soil fertility and rice yield after long-term application of cow manure combined with inorganic fertilizers. *Journal of Integrative Agriculture*, 22(7), 2221-2232. <https://doi.org/10.1016/j.jia.2023.02.037>
- Gui, Y., Gu, C., Xiao, X., Gao, Y., & Zhao, Y. (2023). Microbial Inoculations Promoted the Rice Plant Growth by Regulating the Root-Zone Bacterial Community Composition and Potential Function. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23(4), 5222-5232. <https://doi.org/10.1007/s42729-023-01394-1>
- Hassan, M. A., Dahu, N., Hongning, T., Qian, Z., Yueming, Y., Yiru, L., & Shimei, W. (2023). Drought stress in rice: Morpho-physiological and molecular responses and marker-assisted breeding. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1215371. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1215371>
- He, S., Zhang, Y., Yang, X., Li, Q., Li, C., & Yao, T. (2024). Effects of Microbial Inoculants Combined with Chemical Fertilizer on Growth and Soil Nutrient Dynamics of Timothy (*Phleum pratense* L.). *Agronomy*, 14(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/agronomy14051016>
- He, X., Zhu, H., Shi, A., & Wang, X. (2024). Optimizing Nitrogen Fertilizer Management Enhances Rice Yield, Dry Matter, and Nitrogen Use Efficiency. *Agronomy*, 14(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/agronomy14050919>
- Hernández Quiñónez, J, Salazar mercado, s y Rodriguez Araujo, E. (2021). Efecto de los elementos menores en la calidad molinera del arroz (*Oryza sativa* L.) variedad F2000. Mutis. <http://repositorio.ufps.edu.co/handle/ufps/904>.
- Iqbal, A., Ali, I., Yuan, P., Khan, R., Liang, H., Wei, S., & Jiang, L. (2022). Combined Application of Manure and Chemical Fertilizers Alters Soil Environmental Variables and Improves Soil Fungal Community Composition and Rice Grain Yield. *Frontiers in Microbiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.856355>
- Iqbal, A., He, L., Ali, I., Ullah, S., Khan, A., Khan, A., Akhtar, K., Wei, S., Zhao, Q., Zhang, J., & Jiang, L. (2020). Manure combined with chemical fertilizer increases rice productivity by improving soil health, post-anthesis biomass yield, and nitrogen metabolism. *PLOS ONE*, 15(10), e0238934. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238934>

- Li, N., Xu, R., & Li, Y. (2018). Molecular networks of seed size control in plants. *Annual Review of Plant Biology*, 69, 435–463. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-042817-040247>
- Lu, Y., Chuan, M., Wang, H., Chen, R., Tao, T., Zhou, Y., Xu, Y., Li, P., Yao, Y., Xu, C., & Yang, Z. (2022). Genetic and molecular factors in determining grain number per panicle of rice. *Frontiers in Plant Science*, 13, 964246. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.964246>
- Mondal, S., Kumar, R., Mishra, J. S., Dass, A., Kumar, S., Vijay, K. V., Kumari, M., Khan, S. R., & Singh, V. K. (2023). Grain nitrogen content and productivity of rice and maize under variable doses of fertilizer nitrogen. *Heliyon*, 9(6). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17321>
- Pandey, A., Eldridge, S. M., Weatherley, A., Willett, I. R., Myint, A. K., Oo, A. N., Ngwe, K., Mang, Z. T., & Chen, D. (2023). High fertilizer nitrogen input increases nitrogen mining in sandy paddy soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 125(1), 77-88. <https://doi.org/10.1007/s10705-022-10257-7>
- Panja, S., Gupta, A. D., & Dey, N. (2024). Impact of drought stress on grains filling in rice and its management: A review. *Agricultural Reviews*, 45(2), 282–289. <https://doi.org/10.18805/ag.R-2369>
- Park, J.-R., Jang, Y.-H., Kim, E.-G., Lee, G.-S., & Kim, K.-M. (2023). Nitrogen Fertilization Causes Changes in Agricultural Characteristics and Gas Emissions in Rice Field. *Sustainability*, 15(4), Article 4. <https://doi.org/10.3390/su15043336>
- Qiu, H., Yang, S., Jiang, Z., Xu, Y., & Jiao, X. (2022). Effect of Irrigation and Fertilizer Management on Rice Yield and Nitrogen Loss: A Meta-Analysis. *Plants*, 11(13), Article 13. <https://doi.org/10.3390/plants11131690>
- Xing, Y., Wang, C., Li, Z., Chen, J., & Li, Y. (2023). Effect and Mechanism of Rice-Pasture Rotation Systems on Yield Increase and Runoff Reduction under Different Fertilizer Treatments. *Agronomy*, 13(3), Article 3. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030866>
- Yoshida, S. (1981). *Fundamentals of rice crop science*. International Rice Research Institute (IRRI).
- Zhao, Y., Sun, Y., Pei, M., Fu, J., Ji, H., Zhao, L., & Xiao, X. (2021). Enhanced rice yields are related to pronounced shifts in soil resident bacterial community structures in response to *Rhodospseudomonas palustris* and *Bacillus subtilis* inoculation. *Journal of Soils and Sediments*, 21(6), 2369-2380. <https://doi.org/10.1007/s11368-021-02929-8>
- Zuo, J., & Li, J. (2014). Molecular genetic dissection of quantitative trait loci regulating rice grain size. *Annual Review of Genetics*, 48, 99–118. <https://doi.org/10.1146/annurev-genet-120213-092138e>

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



**EDITORA
ARTEMIS**

2026