

VOL VIII

Estudos em Ciências Agrárias e Ambientais

Eduardo Spers
(Organizador)



EDITORA
ARTEMIS

2026

VOL VIII

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 VIII [livro eletrônico] / Organizador Eduardo Eugênio Spers. – 1. ed. – Curitiba, PR: Editora Artemis, 2026.
il. color.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Edição bilíngue.

Inclui bibliografia.

ISBN 978-65-82858-32-1

DOI 10.37572/EdArt_250926321

1. Ciências agrárias. 2. Meio ambiente. 3. Sustentabilidade.
I. Spers, Eduardo Eugênio

CDD 630

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422



PRÓLOGO

Os desafios contemporâneos relacionados ao uso dos recursos naturais, à conservação da biodiversidade, às mudanças ambientais e à sustentabilidade dos sistemas produtivos exigem abordagens cada vez mais integradas. Nas Ciências Agrárias e Ambientais, essa integração se torna especialmente relevante diante da necessidade de conciliar produção, conservação, desenvolvimento territorial e uso responsável dos recursos, considerando tanto os processos ecológicos quanto as dimensões sociais e econômicas envolvidas.

O oitavo volume de ***Estudos em Ciências Agrárias e Ambientais*** reúne quatorze capítulos organizados em quatro eixos temáticos: **Território, mudanças ambientais e conservação; Solo, biodiversidade e agroecossistemas sustentáveis; Produção sustentável, manejo e organização dos sistemas produtivos; e Economia circular, transformações ambientais e história da agricultura.** Em conjunto, os trabalhos propõem um percurso que parte de questões ambientais e territoriais amplas e avança em direção ao funcionamento dos agroecossistemas, às estratégias de produção sustentável e às transformações históricas das relações entre agricultura, recursos e paisagem.

O primeiro eixo reúne estudos voltados às mudanças ambientais, à vulnerabilidade territorial, à soberania alimentar e à conservação de áreas naturais. As análises destacam como clima, uso da terra, planejamento territorial, políticas de desenvolvimento e participação comunitária interferem diretamente na relação entre sociedade e ambiente. A vulnerabilidade de áreas costeiras diante da elevação do nível do mar, por exemplo, envolve não apenas fatores físicos, mas também infraestrutura, uso do solo, planejamento e capacidade adaptativa. Da mesma forma, a soberania alimentar é discutida a partir das disputas pelo território, pela terra e pela água e das diferentes formas de organização da produção rural.

No segundo eixo, o olhar se volta ao solo, à biodiversidade e ao funcionamento dos agroecossistemas. A agricultura regenerativa é apresentada como uma abordagem sistêmica voltada à recuperação da saúde e da funcionalidade do solo, com princípios relacionados à redução da perturbação, à cobertura permanente, à diversidade e à integração planejada entre componentes do sistema produtivo. Os estudos sobre fungos micorrízicos, bactérias rizosféricas e recursos fitogenéticos ampliam essa discussão ao abordar diferentes dimensões da biodiversidade e de sua importância ecológica. As interações entre organismos e solo, a participação de microrganismos nos processos de transformação da matéria orgânica e a conservação da diversidade vegetal evidenciam a relevância dos recursos biológicos para o funcionamento dos ecossistemas e para o desenvolvimento de estratégias de conservação e uso sustentável.

O terceiro eixo aborda diferentes estratégias de aprimoramento dos sistemas produtivos, considerando aspectos técnicos, ecológicos e organizacionais. São discutidas alternativas como a utilização de microrganismos benéficos para reduzir a dependência da fertilização mineral, o emprego de alimentos vivos na aquicultura, o comportamento e o manejo de bovinos autóctones em sistemas extensivos de montanha e formas coletivas de organização e comercialização entre pequenos produtores. Os trabalhos demonstram que a sustentabilidade da produção depende não apenas da eficiência no uso dos recursos, mas também da adequação das práticas de manejo, da conservação da paisagem e das condições de organização econômica e social dos produtores.

Por fim, o quarto eixo estabelece um diálogo entre aproveitamento de recursos, transformação ambiental e história da agricultura. O estudo sobre a utilização da casca de noz para a produção de carvão ativado examina os requisitos técnicos e de investimento associados à valorização de resíduos agroindustriais, em consonância com os princípios da economia circular. Os dois capítulos seguintes ampliam a perspectiva temporal ao investigar as relações entre agricultura, clima, desmatamento e transformações sociopolíticas nas terras baixas maias, bem como os conhecimentos, as tecnologias de manejo da água e as intervenções sobre a paisagem desenvolvidos no contexto da agricultura andina e inca. Em conjunto, esses trabalhos permitem considerar diferentes formas de utilização e transformação dos recursos naturais, desde experiências históricas de organização agrícola até propostas contemporâneas de valorização de materiais e processos produtivos.

A diversidade dos capítulos reunidos neste volume evidencia que os desafios ambientais e agrícolas contemporâneos não podem ser compreendidos de forma isolada. Solo, água, biodiversidade, território, produção, tecnologia e organização social constituem dimensões interdependentes de sistemas em constante transformação.

Ao integrar estudos sobre conservação, sustentabilidade, produção e história da agricultura, este volume contribui para ampliar o debate sobre formas mais equilibradas de relação entre sociedade, sistemas produtivos e ambiente, valorizando tanto a inovação científica quanto o conhecimento acumulado ao longo do tempo.

Boa leitura!

Eduardo Eugênio Spers

SUMÁRIO

TERRITÓRIO, MUDANÇAS AMBIENTAIS E CONSERVAÇÃO

CAPÍTULO 1..... 1

VULNERABILITY DUE TO RISING SEA LEVELS IN THE COLOMBIAN CARIBBEAN

Johan Andrés Avendaño Arias

Leonardo Santana Bohorquez

Ivan Dario Camacho Puerto

Gustavo Enrique Ramírez Gómez

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2509263211

CAPÍTULO 2..... 33

CONFIGURACIÓN TERRITORIAL DE LA SOBERANÍA ALIMENTARIA: EXPLORANDO LAS TERRITORIALIDADES RURALES EN FONSECA, COLOMBIA

Elkis Peñaranda Pinto

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2509263212

CAPÍTULO 3..... 50

CREACIÓN Y DESARROLLO DE UN CENTRO DE PROMOCIÓN AMBIENTAL MATLALCUÉYATL PARA LA RECUPERACIÓN Y CONSERVACIÓN DE ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS: CASO: ZITLALTEPEC, TLAXCALA, MÉXICO

Fernando Mohedano López

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2509263213

SOLO, BIODIVERSIDADE E AGROECOSSISTEMAS SUSTENTÁVEIS

CAPÍTULO 4..... 65

AGRICULTURA REGENERATIVA: PRINCIPIOS Y PRÁCTICAS PARA RECUPERAR EL SUELO Y FORTALECER LOS AGROECOSISTEMAS

Benigno Rivera-Hernández

José Jesús Obrador-Ólán

Eustolia García-López

José Francisco Juárez-López

Eugenio Carrillo-Ávila

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2509263214

CAPÍTULO 5..... 81

FUNCTIONAL ROLE OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI IN AGGREGATE FORMATION, BIODIVERSITY, AND EDAPHIC FUNCTIONING

Sud Sair Sierra

Raúl Hernando Posada

Johanna Santamaría

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2509263215

CAPÍTULO 6..... 108

ASLAMIENTO DE BACTERIAS DEGRADADORAS DE LIGNINA DE SUELO RIZOSFERICO DE *QUERCUS SPP.*

Iván Hernández Portillo

Yadira Cornejo Silva

María Yolanda Ríos Gómez

Ramiro Ríos Gómez

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2509263216

CAPÍTULO 7..... 115

PHYTOGENETIC RESOURCES OF THE GENUS *Lupinus* IN BAJA CALIFORNIA: EXPLORATION AND *in situ* CHARACTERIZATION STRATEGIES

Guadalupe Minerva Torres Alfaro

María Nancy Herrera-Moreno

Jesús Alicia Chávez-Medina

Kalina Bermúdez Torres

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2509263217

PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL, MANEJO E ORGANIZAÇÃO DOS SISTEMAS PRODUTIVOS

CAPÍTULO 8..... 120

MICROORGANISMOS BENEFICIOSOS COMO ESTRATEGIA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE LA FERTILIZACIÓN MINERAL EN EL CULTIVO DE ARROZ EN UN SUELO DE BAJA OFERTA NUTRICIONAL

Eliecer Miguel Cabrales Herrera

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2509263218

CAPÍTULO 9.....139

THE GREAT UNKNOWN: USE OF LIVE FOOD IN AQUACULTURE

Marco Polo Franco Archundia

Héctor Eduardo Franco-Cotero

Jimena Ramos

Luis Ángel Fabro-Leal

Fátima Getsemaní Osorio-Arce

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2509263219

CAPÍTULO 10 150

COMPORTAMENTO E MANEIO DE BOVINOS AUTÓCTONES NAS MONTANHAS DO NORTE DE PORTUGAL

Marco André de Almeida Fernandes

Gustavo Paixão

Joaquim Lima Cerqueira

José Pedro Araújo

 https://doi.org/10.37572/EdArt_25092632110

CAPÍTULO 11.....167

REMATE GANADERO DE PEQUEÑOS PRODUCTORES: MÉTODO DE EVALUACIÓN FODA

Félix Cavour Ferrari

María Elena Fretes

José Braulio Silvero

 https://doi.org/10.37572/EdArt_25092632111

ECONOMIA CIRCULAR, TRANSFORMAÇÕES AMBIENTAIS E HISTÓRIA DA AGRICULTURA

CAPÍTULO 12 175

INVERSIÓN TÉCNICA PARA LA ELABORACIÓN DE CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE CÁSCARA DE NUEZ EN DELICIAS, CHIHUAHUA

Marina Imelda Terrazas Gómez

Luisa Patricia Uranga Valencia

Sandra Pérez Álvarez

Víctor Hugo Villarreal Ramírez

 https://doi.org/10.37572/EdArt_25092632112

CAPÍTULO 13187

¿LA AGRICULTURA DESTRUYÓ A LOS MAYAS? SEQUÍAS, DEFORESTACIÓN Y COLAPSO EN LAS TIERRAS BAJAS MAYAS

Humberto Álvarez Sepúlveda

 https://doi.org/10.37572/EdArt_25092632113

CAPÍTULO 14 200

¿CULTIVARON LOS INCAS EN EL DESIERTO? AGRICULTURA, AGUA Y TRANSFORMACIÓN DEL PAISAJE EN EL IMPERIO INCA

Humberto Álvarez Sepúlveda

 https://doi.org/10.37572/EdArt_25092632114

SOBRE O ORGANIZADOR.....212

ÍNDICE REMISSIVO213

CAPÍTULO 8

MICROORGANISMOS BENEFICIOSOS COMO ESTRATEGIA PARA MEJORAR LA EFICIENCIA DE LA FERTILIZACIÓN MINERAL EN EL CULTIVO DE ARROZ EN UN SUELO DE BAJA OFERTA NUTRICIONAL

Data de submissão: 09/09/2026

Data de aceite: 21/09/2026

Eliecer Miguel Cabrales Herrera

PhD. Universidad de Córdoba

Docente Titular e Investigador

Carrera 6 No. 77- 305

Montería – Córdoba, Colombia

<https://orcid.org/0000-0002-6564-1664>

RESUMEN: El uso intensivo de fertilizantes minerales en el cultivo de arroz constituye un desafío para la sostenibilidad de los agroecosistemas, particularmente en suelos tropicales de baja fertilidad y limitada disponibilidad de nutrientes. En este contexto, se evaluó el efecto de microorganismos beneficiosos como estrategia complementaria para reducir la dependencia de la fertilización mineral en el cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.) en un suelo de baja oferta nutricional del Caribe colombiano. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con siete tratamientos y tres repeticiones. Los tratamientos T1–T5 correspondieron a 0, 25, 50, 75 y 100 % de la dosis de NPK, respectivamente, todos complementados con 20 L ha⁻¹ de un

biofertilizante constituido por microorganismos beneficiosos nativos. Además, se incluyeron un tratamiento con T6 (100 % de NPK sin biofertilizante) y T7 (control sin fertilización). Se evaluaron componentes del rendimiento, peso de 1000 granos y rendimiento de grano, así como indicadores económicos. Los componentes del rendimiento presentaron una respuesta relativamente estable frente al gradiente de fertilización mineral cuando esta se aplicó conjuntamente con el biofertilizante. El rendimiento mostró un incremento marcado entre 0 y 25 % de NPK, seguido de una respuesta de tipo meseta; T2 alcanzó 4.547,9 kg ha⁻¹, estadísticamente similar a T3, T4 y T5, que registraron 4.618,3, 4.615,4 y 4.625,4 kg ha⁻¹, respectivamente. El análisis económico identificó T2 como la alternativa de mayor eficiencia, con una utilidad de \$2.361.156 ha⁻¹ y una relación beneficio/costo de 1,50. Los resultados sugieren que la incorporación de microorganismos beneficiosos puede contribuir a mantener la productividad del arroz con una reducción sustancial de la fertilización mineral, bajo las condiciones edafoclimáticas y de manejo evaluadas. Se concluye que el manejo integrado de la nutrición constituye una alternativa promisorio para disminuir la dependencia de fertilizantes minerales en sistemas arroceros del Caribe colombiano.

PALABRAS CLAVE: arroz; biofertilizantes; microorganismos beneficiosos; NPK; nutrición vegetal; eficiencia de fertilización; sostenibilidad.

BENEFICIAL MICROORGANISMS AS A STRATEGY TO ENHANCE MINERAL FERTILIZATION EFFICIENCY IN RICE GROWN IN LOW-NUTRIENT SOIL

ABSTRACT: The intensive use of mineral fertilizers in rice production represents a challenge for agroecosystem sustainability, particularly in tropical soils with low fertility and limited nutrient availability. This study evaluated the effect of beneficial microorganisms as a complementary strategy to reduce dependence on mineral fertilization in rice (*Oryza sativa* L.) grown on a soil with low nutrient supply in the Colombian Caribbean. A randomized complete block design was established with seven treatments and three replications. Treatments T1-T5 received 0, 25, 50, 75 and 100% of the recommended NPK rate, respectively, all supplemented with 20 L ha⁻¹ of a biofertilizer containing native beneficial microorganisms. In addition, a treatment receiving 100% NPK without biofertilizer and an unfertilized control were included. Yield components, 1000-grain weight, grain yield and economic indicators were evaluated. Yield components showed a relatively stable response to the mineral fertilization gradient when applied in combination with the biofertilizer. Grain yield increased markedly from 0 to 25% NPK and subsequently showed a plateau-type response. Treatment T2 reached 4,547.9 kg ha⁻¹, statistically similar to T3, T4 and T5, which produced 4,618.3, 4,615.4 and 4,625.4 kg ha⁻¹, respectively. Economic analysis identified T2 as the most efficient alternative, with a net utility of COP 2,361,156 ha⁻¹ and a benefit-cost ratio of 1.50. These results suggest that beneficial microorganisms may contribute to maintaining rice productivity while substantially reducing mineral fertilizer inputs under the edaphoclimatic and management conditions evaluated. Integrated nutrient management therefore represents a promising strategy to reduce dependence on mineral fertilizers in rice production systems in the Colombian Caribbean.

KEYWORDS: rice; biofertilizers; beneficial microorganisms; NPK; plant nutrition; fertilizer efficiency; sustainability.

1. INTRODUCCIÓN

El arroz (*Oryza sativa* L.) constituye uno de los principales cereales destinados a la alimentación humana y desempeña un papel estratégico en la seguridad alimentaria y en la economía de numerosos países tropicales. En Colombia, su producción se desarrolla bajo diferentes condiciones agroecológicas y sistemas de manejo, entre ellos el riego y el secano mecanizado. En el Caribe colombiano, particularmente en Córdoba, el cultivo presenta una importante participación dentro de los sistemas agrícolas regionales, donde la productividad está estrechamente relacionada con la distribución de las precipitaciones, las características del suelo y el manejo de la fertilización. La información sectorial de Fedearroz evidencia la importancia de esta región dentro de la producción arrocería nacional (Fedearroz, 2026).

En los sistemas de arroz de secano favorecido, la disponibilidad de agua y nutrientes durante el ciclo constituye un factor determinante; su aprovechamiento productivo depende también de la capacidad del suelo para suministrar los nutrientes

requeridos por la planta. El nitrógeno (N), el fósforo (P) y el potasio (K) participan en procesos metabólicos, estructurales y fisiológicos fundamentales para el crecimiento y la formación del grano en el cultivo de arroz. El N interviene en la síntesis de proteínas, clorofila y enzimas; el P participa en la transferencia de energía, el desarrollo radical y diferentes procesos metabólicos, mientras que el K interviene en la regulación osmótica, la actividad enzimática y el transporte de fotoasimilados (Du et al., 2021; Ma et al., 2022). Esto es, una disponibilidad insuficiente o un suministro desequilibrado de estos nutrientes puede limitar la acumulación de biomasa y afectar la formación de los componentes del rendimiento en los cultivos.

La respuesta del cultivo a la fertilización depende no solo de la cantidad de nutrientes aplicados, sino, de la eficiencia con la que el arroz toma y utiliza los elementos incorporados en una interacción entre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, las condiciones climáticas, el manejo del agua, el genotipo y la sincronización entre la oferta nutricional y la demanda del cultivo, es decir que la evaluación debe hacer de manera integral. Esta apreciación adquiere especial relevancia en suelos de baja oferta nutricional, donde contenidos reducidos de materia orgánica, baja disponibilidad de P, escasas reservas de bases intercambiables y otras restricciones químicas pueden limitar la productividad aun cuando la disponibilidad hídrica sea favorable.

La fertilización mineral constituye, en estas condiciones, una herramienta fundamental para corregir deficiencias y mantener la productividad. Pero su efectividad no guarda proporcionalidad con las dosis aplicadas, ya que una fracción del N se puede perder mediante volatilización, lixiviación, desnitrificación o escorrentía, mientras que el P puede quedar retenido o formar compuestos inaprovechables para la planta, y el K puede experimentar procesos de fijación o lixiviación, entre otros. Por esta razón, incrementar la eficiencia de uso de los nutrientes constituye uno de los principales desafíos de la agricultura contemporánea. En arroz, estrategias orientadas a mejorar la distribución y disponibilidad del N en la zona radical han demostrado que es posible incrementar simultáneamente la absorción del nutriente, el crecimiento radical y el rendimiento, resaltando la importancia de la forma y oportunidad de suministro además de la dosis aplicada (Liu et al., 2024).

Esta problemática adquiere mayor importancia cuando la fertilización mineral constituye la principal estrategia para compensar una baja oferta natural de nutrientes. Una reducción excesiva de las dosis puede ocasionar disminuciones del crecimiento y rendimiento; y mantener niveles elevados de fertilización tampoco garantiza una respuesta productiva proporcional. El desafío agronómico consiste, no solo en aplicar menores cantidades de fertilizante, sino en aumentar la proporción de nutrientes que

permanece disponible y que sea efectivamente aprovechada por la planta. En este sentido, Coggins et al. (2025) señalaron la existencia de oportunidades para mejorar la eficiencia del N en sistemas arroceros mediante un manejo más racional de las aplicaciones de los fertilizantes.

Una alternativa para avanzar en esta dirección consiste en incorporar procesos biológicos al manejo de la fertilidad. Los microorganismos beneficiosos asociados al suelo y a la rizosfera pueden participar en procesos relacionados con la fijación biológica de N, solubilización o movilización de P y otros nutrientes, producción de sustancias promotoras del crecimiento y modificación de las condiciones de la rizosfera. Asimismo, determinados grupos microbianos participan en la descomposición de residuos y en la transformación de nutrientes contenidos en compuestos orgánicos. Estas funciones permiten plantear que la actividad microbiana puede mejorar el aprovechamiento de nutrientes presentes en el suelo y los que se aplican en los planes de fertilización (Timofeeva et al., 2023).

La evidencia experimental respalda el potencial de la biofertilización, pero también demuestra que su respuesta depende del ambiente. Un metaanálisis global encontró efectos positivos de la biofertilización sobre el rendimiento y la eficiencia de uso de N y P, con respuestas variables según clima, propiedades del suelo y grupo microbiano utilizado (Schütz et al., 2018). Más recientemente, estudios en arroz han encontrado respuestas favorables cuando determinados microorganismos se combinan con reducciones parciales de fertilización mineral. Li et al. (2024), por ejemplo, observaron cambios favorables en la disponibilidad de N y P y en las comunidades microbianas de la rizosfera tras la inoculación de una bacteria fijadora de N. Muthukrishnan et al. (2024) también encontraron respuestas favorables al combinar microorganismos con fertilización mineral reducida.

El interés actual se orienta cada vez más hacia estrategias de manejo integrado de nutrientes, en las cuales los fertilizantes minerales proporcionan nutrientes disponibles de manera relativamente inmediata, mientras que los componentes biológicos pueden contribuir a mejorar su movilización, adquisición y utilización. Este enfoque no implica considerar los microorganismos como sustitutos absolutos de N, P y K, sino como un componente complementario dentro del sistema de nutrición vegetal. La efectividad de esta estrategia dependerá de las características del suelo, la composición microbiana, el cultivar, el manejo y las condiciones ambientales.

Esta problemática resulta particularmente pertinente para los sistemas arroceros del Caribe colombiano, donde pueden coexistir suelos de baja oferta nutricional y una marcada dependencia de la fertilización mineral externa y extrema. Resulta necesario establecer si una reducción significativa de NPK, acompañada por una dosis constante

de microorganismos beneficiosos, permite mantener la productividad del arroz sin comprometer la formación de sus principales componentes de rendimiento.

En este contexto, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de cinco niveles de fertilización mineral NPK (0, 25, 50, 75 y 100 % de la dosis total) combinados con 20 L ha⁻¹ de un biofertilizante nativo constituido por microorganismos beneficiosos (siete tratamientos en total), sobre el comportamiento productivo del arroz bajo condiciones de secano favorecido en un suelo de baja oferta nutricional del Caribe colombiano. La dosis correspondiente al 100 % estuvo constituida por 150 kg N, 80 kg P y 120 kg K ha⁻¹. Se planteó como hipótesis que la incorporación de microorganismos beneficiosos podría mejorar el aprovechamiento de los nutrientes disponibles y permitir una reducción parcial de la fertilización mineral sin afectar significativamente la productividad.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

El estudio se realizó en la Finca La Ilusión, corregimiento Buenos Aires, municipio de Montería, Córdoba, Colombia. La zona presenta clima cálido, precipitación anual entre 1500 y 2000 mm, temperatura media de 27,5 °C y altitud aproximada de 150 m s. n. m.; de acuerdo con la clasificación de Holdridge corresponde a una zona de transición entre bosque húmedo y bosque seco (MADR, 2006). El terreno presentó topografía plana, pendiente inferior al 2 %, nivel freático profundo y ausencia de erosión evidente.

El suelo presentó textura franca, con 43,9 % de arena, 31,7 % de limo y 24,4 % de arcilla. El pH fue de 4,62, con 1,2 % de materia orgánica, 1,2 mg kg⁻¹ de P, 1,01 cmol(+) kg⁻¹ de Ca, 0,47 cmol(+) kg⁻¹ de Mg y 0,12 cmol(+) kg⁻¹ de K, condiciones que caracterizan un suelo de baja oferta nutricional.

2.2. TRATAMIENTOS Y BIOFERTILIZANTE

Se evaluaron siete tratamientos bajo un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones. Los tratamientos T1-T5 recibieron 20 L ha⁻¹ del biofertilizante, combinado con 0, 25, 50, 75 y 100 % de la dosis total de NPK, respectivamente. T6 recibió 100 % de NPK sin biofertilizante y T7 no recibió fertilización mineral ni biofertilizante.

La dosis completa correspondió a 150 kg N, 80 kg P y 120 kg K ha⁻¹, suministrados mediante urea, DAP y KCl. La contribución de N procedente del DAP fue considerada en el cálculo de la dosis total de N.

El biofertilizante estuvo constituido por una suspensión de microorganismos beneficiosos nativos, cuya extracción y multiplicación se realizaron localmente. La caracterización microbiológica disponible correspondió a hongos y bacterias totales, con poblaciones de 3×10^5 y $3,5 \times 10^9$ UFC, respectivamente. La aplicación fue fraccionada en dos momentos, a los 15 y 35 días después de la emergencia, mediante aplicaciones foliares y edáficas de 10 L ha^{-1} en cada oportunidad.

2.3. ESTABLECIMIENTO Y MANEJO DEL CULTIVO

Se realizó preparación convencional del suelo mediante dos pases de rastra pesada y uno de rastra liviana. Se utilizó arroz FEDEARROZ 70, sembrado manualmente en hileras separadas 25 cm, con cinco sitios por metro lineal y entre tres y cinco semillas por sitio.

La fertilización mineral se fraccionó en tres aplicaciones, a los 15, 25 y 35 días después de la emergencia, correspondientes al 20, 30 y 50 % de la dosis calculada para cada tratamiento. Se aplicó además una fuente comercial de micronutrientes y elementos secundarios a razón de 1 L ha^{-1} . El manejo de arvenses se realizó con propanil a 5 L ha^{-1} y el control de plagas mediante cipermetrina a 400 mL ha^{-1} . No fue necesario efectuar control de enfermedades.

La cosecha se realizó manualmente en 1 m^2 ubicado en el centro de cada unidad experimental, cuando el grano alcanzó la madurez fisiológica.

2.4. DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos fueron analizados mediante ANOVA utilizando SAS versión 9.4, previa comprobación de los supuestos del análisis. Las medias se compararon mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia del 5 %. Se evaluaron densidad de población final, número de espiguillas por panícula, número de granos por panícula, granos llenos, granos vanos, porcentaje de granos vanos, peso de 1000 granos y rendimiento de grano paddy.

Los tratamientos T6 y T7 no fueron incluidos en el análisis estadístico de las variables finales debido a que no alcanzaron la cosecha, por ende el rendimiento fue nulo. A partir de los 70 días de siembra, se presentó una sequía prolongada y el aunque se hizo riego, este no fue suficiente para que estos dos tratamientos permanecieran hasta el final de cosecha. Su comportamiento se presenta únicamente como observación complementaria del ensayo.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. DENSIDAD DE POBLACIÓN FINAL

La densidad de población final varió entre $1,52 \times 10^6$ y $2,60 \times 10^6$ plantas ha^{-1} en T1 y T5, respectivamente. El ANOVA detectó diferencias entre tratamientos y la prueba de Tukey mostró que T5 presentó una densidad significativamente superior a T1, mientras que T2, T3 y T4 ocuparon posiciones intermedias (Tabla 1).

Tabla 1. Comparación de media de densidad de población y características de panícula y granos de arroz con distintas dosis de fertilización química y biofertilizado con microorganismos benéficos.

TTO	DENSIDAD DE POBLACION 10^6	PANICULA		NUMERO GRANOS		GRANOS VANOS (%)	Peso 1000 granos (g)
		NÚMERO ESPIGUILLAS	NUMERO DE GRANOS	LLENOS	VANOS		
1	1,52 b	13,33	126,66 a	63,00 a	63,66 a	50,26 a	23,17 a
2	2,49 ab	13,33	145,99 a	75,33 a	70,66 a	48,40 a	23,47 a
3	2,4 ab	13,33	149,42 a	76,66 a	72,66 a	48,66 a	24,54 a
4	2,36 ab	14,66	126,66 a	84,33 a	42,33 a	33,42 a	24,39 a
5	2,6 a	15,33	130,33 a	88,00 a	42,33 a	32,48 a	24,73 a
CV (%)	15,71	14,77	7,58	12,45	25,81	19,49	10,24

El incremento de la población final con mayores dosis de NPK puede relacionarse con una mayor disponibilidad de nutrientes durante las primeras etapas del cultivo, particularmente N, cuya participación en el crecimiento vegetativo y desarrollo de macollas puede modificar la estructura de la población. Tian et al. (2017) señalaron que la relación entre disponibilidad de N y densidad de plantas influye en la productividad de la población arroceras, por lo tanto es un factor importante a tener en cuenta en el análisis de resultados en el rendimiento del cultivo de arroz.

Debido a que todos los tratamientos T1-T5 recibieron la misma dosis de biofertilizante, la mayor densidad observada en T5 no debe atribuirse al componente biológico de manera aislada, pero si de manera integral. El resultado indica más bien que, sobre una condición constante de biofertilización, una mayor disponibilidad de NPK favoreció el mantenimiento de una población más elevada hasta el final del ciclo.

Desde el punto de vista agronómico, una mayor población no implica un incremento proporcional del rendimiento, debido a la capacidad de compensación del arroz mediante el macollamiento y la modificación de otros componentes productivos (Harrell & Blanche, 2010). Aunque T5 presentó la mayor densidad, la interpretación del rendimiento debe considerar conjuntamente la formación de panículas, fertilidad de las espiguillas, peso de grano y capacidad de llenado.

3.2. NÚMERO DE ESPIGUILLAS POR PANÍCULA

El número de espiguillas por panícula osciló entre 13,33 y 15,33, correspondientes a T1 y T5, respectivamente. Aunque se observó una tendencia numérica hacia mayores valores con 75 y 100 % de NPK, el análisis estadístico no detectó diferencias significativas entre tratamientos (CV = 14,77 %) (Tabla 1).

La ausencia de diferencias estadísticas indica que, bajo las condiciones experimentales, el número de espiguillas por panícula presentó relativa estabilidad frente al gradiente de fertilización mineral cuando todos los tratamientos recibieron 20 L ha⁻¹ del biofertilizante. Este comportamiento puede relacionarse con el fuerte componente genético de la arquitectura de la panícula. Bai et al. (2016) y Rebolledo et al. (2016) identificaron regiones genéticas asociadas con la arquitectura de la panícula y el número de espiguillas en arroz.

Esta estabilidad no implica independencia absoluta de la nutrición. Zhou et al. (2017) demostraron que la aplicación de N durante etapas tardías puede incrementar el número de espiguillas diferenciadas y supervivientes, evidenciando que la respuesta depende tanto de la cantidad de N como de su disponibilidad durante las etapas críticas del desarrollo reproductivo.

En el presente estudio, el NPK fue fraccionado y acompañado permanentemente por el componente biológico, por lo que la respuesta observada representa el comportamiento conjunto del sistema de nutrición. El ligero incremento numérico observado en T4 y T5 debe verse como una tendencia, pero como no evidencia un efecto estadísticamente diferencial.

3.3. NÚMERO DE GRANOS POR PANÍCULA

El número de granos por panícula presentó valores entre 126,66 y 149,42, correspondientes a T1 y T3, respectivamente. El CV fue de apenas 7,58 %, lo que evidencia una variabilidad relativamente baja; por ende, no se detectaron diferencias estadísticas entre tratamientos (Tabla 1).

El mayor valor numérico observado en T3 refleja una respuesta específica al 50 % de NPK, debido a que todas las medias pertenecieron al mismo grupo estadístico. Bajo las condiciones del ensayo, la reducción de la fertilización mineral no modificó significativamente este componente cuando se mantuvo constante la aplicación de microorganismos beneficiosos.

La literatura demuestra que la formación de espiguillas y granos por panícula depende de la interacción entre genotipo, disponibilidad de N y momento de aplicación.

Yoshiaki et al. (2011) encontraron que el N disponible durante el desarrollo de la panícula puede aumentar el número de espiguillas, mientras que Zhou et al. (2017) observaron incrementos asociados con aplicaciones tardías de N.

Una posible interpretación de la estabilidad encontrada es que el componente biológico pudo contribuir a reducir las diferencias en la disponibilidad efectiva de nutrientes entre las dosis minerales, dado que la investigación no incluyó tratamientos con diferentes dosis de biofertilizante, por lo tanto, es solo una hipótesis y no un mecanismo demostrado.

3.4. GRANOS LLENOS, GRANOS VANOS Y PORCENTAJE DE GRANOS VANOS

El número de granos llenos varió entre 63,00 y 88,00 por panícula, mientras que los granos vanos oscilaron entre 42,33 y 72,66. El porcentaje de granos vanos presentó valores entre 32,48 y 50,26 %. Aunque se observaron tendencias numéricas favorables con mayores niveles de NPK, no se detectaron diferencias estadísticas entre tratamientos (Tabla 1, Figura 1).

T5 presentó el mayor número de granos llenos y T4 y T5 los menores valores numéricos de granos vanos. No obstante, la ausencia de diferencias estadísticas indica que estas variaciones no pueden atribuirse de manera concluyente a las dosis de NPK.

La fertilidad de las espiguillas depende de múltiples factores: el estado nutricional puede influir en la formación y mantenimiento del aparato fotosintético y en la disponibilidad de fotoasimilados, mientras que el K interviene en procesos relacionados con regulación estomática y transporte de asimilados. Xu et al. (2023) encontraron que la interacción N-K puede modificar la dinámica de llenado de las espiguillas y contribuir al rendimiento del cultivo.

En el presente estudio debe otorgarse especial importancia al comportamiento hídrico. El cultivo fue establecido bajo condiciones de secano favorecido y durante el ciclo se presentó un periodo de déficit hídrico, particularmente hacia las fases finales. El arroz es altamente sensible al déficit hídrico durante la fase reproductiva, debido a que el estrés puede afectar la antesis, la dehiscencia de las anteras, la fertilización y el posterior llenado de los granos (He & Serraj, 2012; Tsuda, 1993).

La elevada proporción de granos vanos observada, especialmente en T1-T3, no debería atribuirse exclusivamente a la disponibilidad de NPK. Es más apropiado interpretarla como resultado de la interacción entre nutrición, disponibilidad hídrica, estado fisiológico de la planta y capacidad de suministro de fotoasimilados. Kobata et al. (2013) señalaron que la esterilidad de las espiguillas puede incrementarse cuando la disponibilidad de asimilados resulta insuficiente frente a una elevada demanda reproductiva.

Es importante para interpretar la respuesta productiva del ensayo: una mayor disponibilidad de nutrientes no garantiza un buen rendimiento, ya que el cultivo depende de otras variables del medio (humedad, manejo del cultivo, etc.). El comportamiento de los granos llenos y vanos refuerza la necesidad de interpretar la fertilización dentro del contexto integral de manejo del cultivo.

Al expresar los resultados como porcentaje de granos vanos, los valores oscilaron entre 32,48 y 50,26 %, correspondientes a T5 y T1, respectivamente. Aunque T5 presentó una reducción numérica cercana al 35,4 % respecto a T1, las diferencias no fueron estadísticamente significativas. Esta variación observada como una tendencia agronómica, no debe explicar con base en la fertilización mineral.

El porcentaje de granos vanos integra procesos relacionados con la fertilidad de las espiguillas y el llenado del grano, los cuales dependen de la disponibilidad de asimilados durante la etapa reproductiva. Kobata et al. (2013) señalaron que una disponibilidad insuficiente de asimilados alrededor de la floración puede incrementar la esterilidad de las espiguillas, particularmente en las posiciones inferiores de la panícula. Así, Fu et al. (2019) encontraron que una elevada disponibilidad de N no siempre mejora el llenado del grano, debido a que pueden persistir limitaciones en la distribución de asimilados hacia determinadas espiguillas. Estos antecedentes indican que la respuesta del vaneamiento frente a la fertilización no obedece a un modelo matemático específico.

En el presente ensayo, la elevada proporción de granos vanos, especialmente en T1, se debe quizás a que el cultivo estuvo sometido a déficit hídrico durante la etapa reproductiva y de llenado, condición que puede afectar la fertilidad de las espiguillas y la translocación de asimilados. Los valores obtenidos fueron superiores a los reportados por Hernández et al. (2021), quienes registraron entre 10,43 y 22,28 granos vanos por panícula en arroz F-2000 bajo condiciones de manejo de micronutrientes. Esta diferencia puede estar relacionada con el genotipo, las condiciones edáficas y nutricionales y, particularmente, con el régimen hídrico de ambos ensayos.

Aunque T5 presentó simultáneamente el mayor número de granos llenos y uno de los menores valores de granos vanos, T4 y T5 no difirieron estadísticamente. El comportamiento observado sugiere que el incremento de NPK por encima del 75 % no produjo una mejora comprobable en la fertilidad de las panículas. La presencia constante del biofertilizante en T1-T5 también debe considerarse: su efecto individual no puede separarse de las dosis de NPK con este diseño, aunque su participación como componente complementario de la nutrición podría haber contribuido a mantener relativamente estable la respuesta reproductiva.

En conjunto, el porcentaje de granos vanos no respondió significativamente a las dosis de NPK evaluadas en presencia del biofertilizante. La variación numérica observada sugiere una posible mejora del llenado con mayores niveles de fertilización, pero su expresión estuvo probablemente condicionada por factores ambientales, particularmente la disponibilidad hídrica durante la fase reproductiva. Este comportamiento ayuda a explicar por qué las diferencias en algunos componentes de la panícula no se tradujeron necesariamente en respuestas proporcionales del rendimiento.

3.5. PESO DE 1000 GRANOS

El peso de 1000 granos osciló entre 23,17 y 24,73 g, correspondientes a T1 y T5, respectivamente. No se detectaron diferencias estadísticas entre tratamientos y el CV fue de 10,24 % (Tabla 1).

Aunque se observó una tendencia numérica hacia un incremento del peso de grano con mayores dosis de NPK, la diferencia entre T1 y T5 fue de apenas 1,56 g y no estuvo respaldada por significancia estadística. Bajo las condiciones que se hizo el ensayo, la reducción de la fertilización mineral acompañada por microorganismos beneficiosos no produjo una disminución estadísticamente demostrable del peso individual de los granos.

La estabilidad de esta variable puede relacionarse con el fuerte componente genético que caracteriza el peso del grano. Zhang et al. (2013) y Huang et al. (2015) manifiestan que esta variable tiene un alto carácter genético, pero responde a las condiciones de manejo del cultivo, mientras que Kato (1999) destacó la importancia de la interacción entre características genéticas y condiciones ambientales durante el proceso de llenado.

El resultado también coincide con Masni y Wasli (2019), quienes encontraron que el peso de 1000 granos no presentó diferencias significativas ante diferentes niveles de NPK. Estos autores señalaron que el peso individual del grano está fuertemente condicionado por la variedad y que mayores dosis de fertilizantes no siempre redundan en mayor peso del grano.

Es importante señalar que el comportamiento del peso de 1000 granos indica que las diferencias observadas posteriormente en el rendimiento no estuvieron determinadas principalmente por cambios en el peso individual del grano, sino por la interacción entre población, fertilidad de las espiguillas y cantidad de grano efectivamente cosechado.

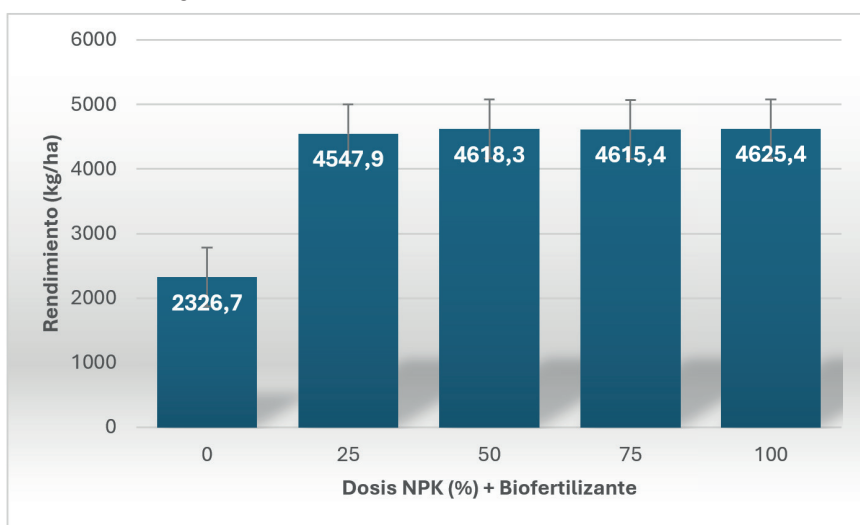
3.6. RENDIMIENTO DE GRANO

El rendimiento constituyó la respuesta productiva de mayor relevancia del ensayo. Se observaron diferencias altamente significativas entre tratamientos, con valores de

2.326,7 kg ha⁻¹ en T1 y 4.625,4 kg ha⁻¹ en T5. T2, T3, T4 y T5 no presentaron diferencias estadísticas entre sí y todos superaron significativamente a T1, que fue el tratamiento que recibió la menor dosis de NPK.

El comportamiento de las medias revela un incremento marcado entre T1 y T2: el rendimiento pasó de 2.326,7 a 4.547,9 kg ha⁻¹, equivalente a un aumento aproximado de 95 %. A partir del 25 % de NPK, aunque la respuesta se estabilizó. T3, T4 y T5 alcanzaron 4.618,3, 4.615,4 y 4.625,4 kg ha⁻¹, respectivamente. Gráficamente se puede apreciar que incrementos adicionales de NPK no produjeron ventajas productivas estadísticamente comprobables (Figura 1).

Figura 1. Rendimiento del cultivo de arroz en función a distintas dosis de fertilización química (NPK) en presencia de biofertilización con microorganismos beneficiosos nativos.



Particularmente relevante fue la comparación entre T2 y T5. El tratamiento con apenas 25 % de la dosis de NPK alcanzó 98,3 % del rendimiento máximo registrado en el ensayo. La diferencia entre ambos tratamientos fue de solo 77,5 kg ha⁻¹, inferior al 2 %, y estadísticamente no significativa.

Este comportamiento evidencia una respuesta de tipo meseta, más que una relación lineal entre dosis de fertilizante y rendimiento. Bajo las condiciones del suelo evaluado, la aplicación inicial de NPK, acompañada por el biofertilizante, generó una respuesta productiva marcada; sin embargo, una vez alcanzado determinado nivel de disponibilidad nutricional, cantidades adicionales de NPK tuvieron una contribución productiva limitada.

Esta respuesta es particularmente relevante en un suelo de baja oferta nutricional. T1, que recibió únicamente biofertilizante, produjo 2.326,7 kg ha⁻¹, mientras

que la incorporación de una dosis reducida de NPK permitió prácticamente duplicar el rendimiento. Estos resultados no respaldan la idea de que el biofertilizante pueda sustituir completamente la fertilización mineral. Por el contrario, respaldan un modelo de complementariedad, donde los microorganismos beneficiosos pueden contribuir al aprovechamiento de una cantidad reducida de nutrientes minerales.

Esta interpretación coincide con la literatura reciente, Li et al. (2024) quienes observaron que la inoculación con una bacteria fijadora de N favoreció la disponibilidad de N y P en la rizosfera y el crecimiento del arroz. Muthukrishnan et al. (2024) también encontraron respuestas favorables al combinar microorganismos con fertilización mineral reducida. Khan et al. (2023) destacan que la contribución de las bacterias beneficiosas a la nutrición vegetal depende de las condiciones del suelo, la composición microbiana y el ambiente.

Además, Ríos-Ruiz et al. (2025) señalan que los microorganismos promotores del crecimiento vegetal pueden intervenir mediante diversos mecanismos relacionados con la toma de nutrientes, producción de compuestos bioactivos y modificación de la rizosfera. Estos mecanismos ofrecen una explicación plausible para la respuesta observada; pero debe tenerse cuidado, ya que la caracterización microbiológica realizada correspondió únicamente a poblaciones totales de hongos y bacterias y no se determinaron las funciones metabólicas individuales.

Es de anotar que los mecanismos de acción incluyen procesos descritos para microorganismos promotores del crecimiento vegetal, pero tales funciones no fueron caracterizadas individualmente en el consorcio utilizado en este estudio. Por ello, es mejor hablar de un posible efecto complementario sobre la eficiencia nutricional que atribuir directamente el incremento del rendimiento a fijación de N, solubilización de P o producción hormonal específica.

Los resultados adquieren mayor relevancia al considerar la respuesta de T1. La aplicación de microorganismos sin NPK no alcanzó los rendimientos obtenidos con la combinación de biofertilizante y fertilización mineral. Esto indica que, bajo las condiciones de un suelo de baja oferta nutricional, la fuente biológica por sí sola no proporcionó una oferta nutricional suficiente para satisfacer completamente la demanda del cultivo. Por ende, el valor agronómico del biofertilizante es fundamental en este tipo de suelos y funciona de manera íntegra con una dosis reducida de fertilización mineral.

Estudios recientes han mostrado que la combinación de biofertilizantes con fertilización mineral puede mantener el rendimiento con menor utilización de fertilizantes. En un ensayo de campo de varios años, Hu et al. (2024) encontraron que el uso de

biofertilizantes permitió reducir la fertilización nitrogenada manteniendo el rendimiento del arroz y disminuyendo pérdidas de N.

Es de anotar que los resultados obtenidos con T2 no debe usarse como una recomendación universal de aplicar un 25 % de NPK. Lo que demuestra el experimento es que bajo las condiciones específicas del suelo, cultivar, clima, manejo hídrico, tipo y dosis de biofertilizante y fertilización utilizadas, una reducción sustancial de NPK permitió mantener un rendimiento estadísticamente equivalente al obtenido con las dosis superiores.

4. ANÁLISIS ECONÓMICO

El análisis económico evidenció diferencias importantes entre las estrategias de fertilización mineral en combinación con la biofertilización. Los costos totales de producción de los tratamientos biofertilizados aumentaron desde \$3.909.005 ha⁻¹ en T1 hasta \$6.073.810 ha⁻¹ en T5, debido principalmente al incremento de los costos asociados con la fertilización mineral y la recolección del mayor volumen de grano (Tabla 2). El incremento de los costos no estuvo acompañado por un aumento proporcional del rendimiento. T2 produjo 4.547,9 kg ha⁻¹, mientras que T3, T4 y T5 alcanzaron valores muy similares, entre 4.615,4 y 4.625,4 kg ha⁻¹.

Tabla 2. Análisis económico de la evaluación del uso de biofertilizantes como sustituto parcial de la fertilización química del cultivo de arroz en un suelo de baja oferta nutricional.

Tratamientos			T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Detalle	Unidad	Costo	0 NPK+BF	25%NPK +BF	50%NPK +BF	75%NPK +BF	100%NPK +BF	100%NPK- BF	(0%NPK- BF)
Costos producción a cosecha	ha	5.380.000	3.560.000	4.015.000	4.470.000	4.925.000	5.380.000	6.208.000	3.460.000
Costo recolección	kg	150	349.005	682.185	692.745	692.310	693.810	-	-
Rendimiento			2.327	4.548	4.618	4.615	4.625	-	-
Total costos de producción	ha	5.380.150	3.909.005	4.697.185	5.162.745	5.617.310	6.073.810	6.208.000	3.460.000
Ingresos brutos	kg		3.611.038	7.058.341	7.167.602	7.163.101	7.178.621	0	0
Utilidad Bruta			-297.967	2.361.156	2.004.857	1.545.791	1.104.811	-6.208.000	-3.460.000
Relación Beneficio/costo			0,9237	1,5026	1,3883	1,2751	1,1818	0	0

El tratamiento T2 presentó la mayor utilidad, con \$2.361.156 ha⁻¹, y la mayor relación beneficio/costo, con 1,50. T3, T4 y T5 presentaron relaciones beneficio/costo de 1,39, 1,28 y 1,18, respectivamente. El descenso progresivo de este indicador demuestra que el incremento de la inversión en fertilización mineral por encima del 25 % de NPK no generó un retorno económico proporcional.

La comparación entre T2 y T5 resulta particularmente ilustrativa. T2 alcanzó el 98,3 % del rendimiento de T5, pero presentó un costo total \$1.376.625 ha⁻¹ menor, equivalente a una reducción de aproximadamente 22,7 %. El incremento de cuatro veces en la dosis de NPK entre T2 y T5 generó solamente 77 kg ha⁻¹ adicionales de arroz, bajo las condiciones del experimento.

El costo de producción por kilogramo también favoreció a T2, con aproximadamente \$1.033 kg⁻¹, frente a \$1.118, \$1.217 y \$1.313 kg⁻¹ para T3, T4 y T5, respectivamente. T1 presentó el mayor costo unitario entre los tratamientos productivos, aproximadamente \$1.680 kg⁻¹, debido principalmente a su menor rendimiento. Los valores económicos y productivos se encuentran consignados en la información original del ensayo.

Estos resultados muestran que la menor dosis de fertilizante podría ser la alternativa económicamente más eficiente, T1, a pesar de presentar menores costos de fertilización, produjo un rendimiento insuficiente para generar rentabilidad. La eficiencia económica surgió de la combinación entre reducción de NPK y mantenimiento de un nivel elevado de productividad.

Los tratamientos T6 y T7 presentaron rendimiento nulo y, por lo tanto, relaciones beneficio/costo de cero. Debe señalarse, que ambos tratamientos no alcanzaron la cosecha durante el periodo de déficit hídrico ocurrido aproximadamente desde los 70 días después de la emergencia. Este comportamiento constituye una observación complementaria del ensayo y no permite atribuirle la mortalidad de las plantas a la ausencia del biofertilizante.

Esta precaución es particularmente importante, el hecho de que T6 recibiera 100 % de NPK y no alcanzara producción indica que una mayor inversión en fertilización mineral no garantiza por sí sola un rendimiento elevado cuando existen restricciones ambientales severas. El resultado sugiere una posible interacción entre nutrición y disponibilidad hídrica, pero el experimento no fue diseñado específicamente para evaluar tolerancia al déficit hídrico, pero fue notorio que los tratamientos que recibieron la biofertilización pudieron prosperar hasta el final del ensayo.

De manera integral, el análisis económico identifica a T2 (25 % NPK + biofertilizante) como la alternativa de mayor eficiencia agronómica y económica bajo las condiciones

del ensayo. Esta combinación permitió alcanzar un rendimiento cercano al máximo experimental con una inversión considerablemente menor, lo que respalda el potencial de la biofertilización como estrategia complementaria para reducir la dependencia de fertilizantes minerales.

5. CONCLUSIONES

1. La incorporación de microorganismos beneficiosos en combinación con fertilización mineral permitió mantener elevados niveles de productividad del arroz con una reducción sustancial de la dosis de NPK, bajo las condiciones edafoclimáticas y de manejo evaluadas.
2. Los principales componentes del rendimiento (espiguillas por panícula, granos por panícula y peso de 1000 granos) presentaron una respuesta relativamente estable frente al gradiente de NPK cuando se aplicó una dosis constante de biofertilizante. Las variaciones observadas en granos llenos y vanos mostraron tendencias agronómicas, pero no diferencias estadísticas.
3. El rendimiento presentó una respuesta de tipo meseta: el incremento desde 0 hasta 25 % de NPK produjo la mayor respuesta productiva, mientras que las dosis superiores no generaron aumentos estadísticamente significativos. T2 alcanzó el 98,3 % del máximo rendimiento registrado en el ensayo.
4. La aplicación de microorganismos beneficiosos sin fertilización mineral no fue suficiente para alcanzar el rendimiento obtenido mediante su combinación con NPK, por lo que los resultados respaldan un enfoque de complementariedad y no de sustitución absoluta de la fertilización mineral.
5. La combinación de 25 % de NPK con 20 L ha⁻¹ del biofertilizante presentó la mayor eficiencia económica, con una utilidad de \$2.361.156 ha⁻¹ y una relación beneficio/costo de 1,50.
6. Los resultados respaldan el potencial de los microorganismos beneficiosos como componente de estrategias de manejo integrado de la nutrición para disminuir la dependencia de fertilizantes minerales. Aunque su efectividad debe validarse mediante ensayos multisitio, diferentes cultivares, condiciones contrastantes de disponibilidad hídrica y caracterización funcional de los microorganismos empleados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bai, X., et al. (2016). Genome-wide association analysis reveals different genetic control in panicle architecture between indica and japonica rice. *The Plant Genome*. <https://doi.org/10.3835/plantgenome2015.11.0115>
- Coggins, S., McDonald, A. J., Silva, J. V., et al. (2025). Data-driven strategies to improve nitrogen use efficiency of rice farming in South Asia. *Nature Sustainability*. <https://doi.org/10.1038/s41893-024-01496-3>
- Du, M., Zhang, W., Gao, J., Liu, M., Zhou, Y., He, D., Zhao, Y., & Liu, S. (2022). Improvement of root characteristics due to nitrogen, phosphorus, and potassium interactions increases rice yield and nitrogen use efficiency. *Agronomy*, 13(1), 18–44. <https://doi.org/10.3390/agronomy12010023>
- Federación Nacional de Arroceros. (2026). *Área, producción y rendimiento*. Fondo Nacional del Arroz. <https://fedearroz.com.co/es/fondo-nacional-del-arroz/investigaciones-economicas/estadisticas-arroceras/area-produccion-y-rendimiento>
- Fu, P., Wang, J., Zhang, T., Huang, J., & Peng, S. (2019). High nitrogen input causes poor grain filling of spikelets at the panicle base of super hybrid rice. *Field Crops Research*, 244, 107635. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107635>
- Harrell, D. L., & Blanche, S. B. (2010). Tillage, seeding, and nitrogen rate effects on rice density, yield, and yield components of two rice cultivars. *Agronomy Journal*, 102(2), 592–597. <https://doi.org/10.2134/agronj2009.0390>
- He, H., & Serraj, R. (2012). Involvement of peduncle elongation, anther dehiscence and spikelet sterility in upland rice response to reproductive-stage drought stress. *Environmental and Experimental Botany*, 75, 120–127. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2011.09.004>
- Hernández, J., Salazar, S., & Rodríguez, E. (2021). Efecto de los elementos menores en la calidad molinera del arroz (*Oryza sativa* L.) variedad F-2000. *Revista Mutis*, 11(1), 8–21. <https://doi.org/10.21789/22561498.1711>
- Hu, M., Xue, H., Wade, A. J., Gao, N., Qiu, Z., Long, Y., & Shen, W. (2024). Biofertilizer supplements allow nitrogen fertilizer reduction, maintain yields, and reduce nitrogen losses to air and water in China paddy fields. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 362, 108850. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2023.108850>
- Huang, L., et al. (2015). Mapping of qTGW1.1, a quantitative trait locus for 1000-grain weight in rice. *Rice Science*, 22(1), 9–15. <https://doi.org/10.1016/j.rsci.2015.05.002>
- Kato, T. (1999). Genetic and environmental variations and associations of the characters related to the grain-filling process in rice cultivars. *Plant Production Science*, 2(1), 32–36. <https://doi.org/10.1626/pp.s.2.32>
- Khan, N., Humm, E. A., Jayakarunakaran, A., & Hirsch, A. M. (2023). Reviewing and renewing the use of beneficial root and soil bacteria for plant growth and sustainability in nutrient-poor, arid soils. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1147535. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1147535>
- Kobata, T., Yoshida, H., Masiko, U., & Honda, T. (2013). Spikelet sterility is associated with a lack of assimilate in high-spikelet-number rice. *Agronomy Journal*, 105, 1821–1831. <https://doi.org/10.2134/agronj2013.0115>

Li, P., Tian, Y., Yang, K., Tian, M., Zhu, Y., Chen, X., Hu, R., Qin, T., Liu, Y., Peng, S., Yi, Z., Liu, Z., Ao, H., & Li, J. (2024). Mechanism of microbial action of the inoculated nitrogen-fixing bacterium for growth promotion and yield enhancement in rice (*Oryza sativa* L.). *Advanced Biotechnology*, 2(4), 32. <https://doi.org/10.1007/s44307-024-00038-4>

Liu, et al. (2024). Localized nitrogen supply facilitates rice yield and nitrogen use efficiency by enabling root-zone nitrogen distribution and root growth. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1326311>

Ma, J., Chen, T., Lin, J., Fu, W., Feng, B., Li, G., Li, H., Li, J., Wu, Z., Tao, L., Fu, G. (2022). Functions of Nitrogen, Phosphorus and Potassium in Energy Status and Their Influences on Rice Growth and Development. *Rice Science*, 2022, 29(2): 166-178. <http://dx.doi.org/> <http://dx.doi.org/10.1016/j.rsci.2022.01.005>

Masni, Z., & Wasli, M. E. (2019). Yield performance and nutrient uptake of red rice variety (MRM 16) at different NPK fertilizer rates. *International Journal of Agronomy*, 2019, 5134358. <https://doi.org/10.1155/2019/5134358>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). (2006). Plan Frutícola Nacional: Desarrollo de la fruticultura en Córdoba. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Gobernación de Córdoba, Fondo Nacional de Fomento Hortofrutícola, Asociación Hortofrutícola de Colombia y la Sociedad de Agricultores y Ganaderos del Valle del Cauca. Montería. p22

Muthukrishnan, G., Munisamy, J., Gopalasubramaniam, S. K., Subramanian, K. S., Dharmaraj, R., Nath, D. J., Dutta, P., & Devarajan, A. K. (2024). Impact of foliar application of phyllosphere yeast strains combined with soil fertilizer application on rice growth and yield. *Environmental Microbiome*, 19, 102. <https://doi.org/10.1186/s40793-024-00635-9>

Rebolledo, M., Peña, A., Duitama, J., Cruz, D., Dingkuhn, M., Grenier, C., & Thome, J. (2016). Combining image analysis, genome wide association studies and different field trials to reveal stable genetic regions related to panicle architecture and the number of spikelets per panicle in rice. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1384. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01384>

Ríos-Ruiz, W. F., Jave-Concepción, H. G., Torres-Chávez, E. E., Rios-Reategui, F., Padilla-Santa-Cruz, E., & Guevara-Pinedo, N. E. (2025). Plant-growth-promoting microorganisms: Their impact on crop quality and yield, with a focus on rice. *International Journal of Plant Biology*, 16(1), 9. <https://doi.org/10.3390/ijpb16010009>

Schütz, L., Gatteringer, A., Meier, M., Müller, A., Boller, T., Mäder, P., & Mathimaran, N. (2018). Improving crop yield and nutrient use efficiency via biofertilization – A global meta-analysis. *Frontiers in Plant Science*, 8, 2204. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.02204>

Tian, G., Gao, L., Kong, Y., Hu, X., Xie, K., Zhang, R., Ling, N., Shen, Q., & Guo, S. (2017). Improving rice population productivity by reducing nitrogen rate and increasing plant density. *PLoS ONE*, 12(8), e0182310. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182310>

Timofeeva, A. M., Galyamova, M. R., & Sedykh, S. E. (2023). Plant growth-promoting soil bacteria: Nitrogen fixation, phosphate solubilization, siderophore production, and other biological activities. *Plants*, 12(24), 4074. <https://doi.org/10.3390/plants12244074>

Tsuda, M. (1993). Grain filling in rice subjected to drought at three stages. *Japanese Journal of Crop Science*, 62, 199–205. <https://doi.org/10.1626/jcs.62.199>

Xu, W., Li, J., Feng, J., et al. (2023). Nitrogen and potassium interactions optimized asynchronous spikelet filling and increased grain yield of japonica rice. *PeerJ*, 11, e14710. <https://doi.org/10.7717/peerj.14710>

Yoshiaki, K., Yoshida, J., Palta, T., & Tatsuhiko, S. (2011). N applications that increase plant N during panicle development are highly effective in increasing spikelet number in rice. *Field Crops Research*, 122, 242–247. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2011.03.016>

Zhang, Y., et al. (2013). QTL mapping of grain weight in rice and the validation of the QTL qTGW3.2. *Gene*, 527(1), 201–206. <https://doi.org/10.1016/j.gene.2013.05.063>

Zhou, W., Lv, T., Chen, Y., Hu, J., Zhang, Q., & Ren, W. (2017). Late nitrogen application enhances spikelet number in indica hybrid rice (*Oryza sativa* L.). *Scientia Agricola*, 74, 161–168. <https://doi.org/10.1590/1678-992X-2016-0094>

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 PENSE e Markestrat. É Professor Titular no Departamento de Economia, Administração e Sociologia, docente do Mestrado em Administração e Coordenador do Grupo de Extensão MarkEsalq no campus da USP/Esalq. Proferiu palestras em diversos eventos acadêmicos e profissionais, com diversos artigos publicados em periódicos nacionais e internacionais, livros e capítulos de livros sobre agronegócios, com foco no marketing e no comportamento do produtor rural e do consumidor de alimentos.

ÍNDICE REMISSIVO

A

Actinomicetos 108, 109, 112, 113

Aggregation 81, 83, 84, 86, 87, 89, 92, 96, 99, 101, 102, 103, 104, 105

Agricultura 33, 35, 36, 37, 38, 40, 43, 45, 46, 47, 48, 54, 65, 66, 67, 68, 69, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80, 122, 137, 151, 157, 174, 186, 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 196, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210

Agricultura inca 200, 201, 204, 206, 210

Agricultura regenerativa 65, 66, 67, 68, 69, 71, 73, 74, 75, 76, 77, 78, 79, 80

Agronegocio 33, 37, 38, 40, 44, 46

Análisis FODA 168, 170

Arroz 34, 120, 121, 122, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129, 131, 132, 133, 134, 135, 136

B

Biodiversidad edáfica 66, 71

Biodiversity and biological monitoring 116

Biofertilizantes 120, 132, 133

C

Cadastral 1, 6, 14, 15, 16, 26

Climate change 1, 2, 3, 6, 7, 8, 25, 26, 27, 28, 29, 31, 32, 80, 198, 199

Coastal flooding 1

Colapso sociopolítico 187

Collected material available 116

Colombian Caribbean 1, 3, 4, 30, 121

Comercialización 41, 168, 170, 171, 172, 173, 174, 182

Comportamento animal 151, 152, 162, 163, 164

Conservación ambiental 43, 50

Conservation and protection of species 116

D

Deforestación 187, 188, 189, 190, 191, 192, 195, 196

Desarrollo rural 33, 34, 35, 36, 38, 39, 40, 42, 46, 47, 48, 49, 137, 167, 168, 174, 186

Desarrollo sostenible 30, 50

E

Economía circular 176, 184, 185
Ecosystem assessment 116, 165
Ecosystem engineers 81, 95
Ecoturismo 50, 52, 60, 62
Eficiencia de fertilización 120
Encabeçamento 151
Espectrofotometría 109, 110, 111, 112
Extensión rural 168, 169

F

Fenologia 151, 154, 159, 160, 161
Fish farming 139, 140, 148
Food fish 140

G

GPS tracking 151, 152

H

Hyphae 81, 87, 88, 89, 92, 93, 94, 100, 101

I

Impacts 1, 2, 3, 4, 7, 24, 26, 27, 28, 31, 47, 98, 101, 105, 198
Ingeniería de proyectos 176
Irrigación 200, 201, 202, 203, 205, 206, 209

K

Kraft 108, 109, 111, 112, 113

L

La Malinche 50, 51, 52, 53, 55, 56, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64

M

Mayas 187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 195, 196, 197
Medios selectivos 109, 112, 113
Microorganismos beneficiosos 120, 123, 124, 125, 127, 130, 131, 132, 135

Modelo de acciones de sociología cultural 50

Moray 200, 201, 202, 203, 204, 207, 208, 209, 210, 211

N

NPK 120, 121, 123, 124, 126, 127, 128, 129, 130, 131, 132, 133, 134, 135, 137

Nutrición vegetal 120, 123, 132

O

Organosolv 108, 109, 110, 111, 112, 113, 114

Ornamental fish 140, 149

P

Paisaje andino 200

Palma de aceite 33, 34, 36, 38, 41, 44, 45, 46

Pastoreio extensivo 150, 151, 152, 157

Pequeños productores 37, 38, 40, 44, 45, 47, 78, 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173, 174

Pisoteio 151, 156, 157, 158, 159, 161, 162, 163, 164

Procesos termoquímicos 176

R

Raças autóctones 150, 151, 153, 159, 164

Remates ganaderos 167, 168, 169, 170, 171, 172, 173

Residuos agroindustriales 176

Resiliencia agroecológica 66

S

Salud del suelo 66, 67

Sequía 72, 77, 125, 187, 189, 190, 191, 193, 194, 195, 196

Soberanía alimentaria 33, 34, 36, 37, 38, 39, 40, 42, 43, 44, 45, 46, 47

Soil biodiversity 81, 90, 92, 106

Soil degradation 81, 87, 99, 101, 106

Sostenibilidad 47, 53, 66, 67, 71, 82, 120, 170, 172

Sostenibilidad agrícola 66

Sustainable aquaculture 140

T

Terrazas agrícolas 200, 204

Territorialidades rurales 33, 36, 38, 39, 42, 46

V

Valorización de biomasa 176

Vulnerability 1, 2, 3, 4, 5, 7, 10, 13, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 30, 31, 32, 101, 187



EDITORA
ARTEMIS

2026