

VOL IV

# Estudos em Ciências Agrárias e Ambientais

Eduardo Spers  
(Organizador)



EDITORA  
ARTEMIS

2025

VOL IV

# Estudos em Ciências Agrárias e Ambientais

Eduardo Spers  
(Organizador)



EDITORA  
ARTEMIS

2025



O conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons Atribuição-Não-Comercial NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0). Direitos para esta edição cedidos à Editora Artemis pelos autores. Permitido o download da obra e o compartilhamento, desde que sejam atribuídos créditos aos autores, e sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

A responsabilidade pelo conteúdo dos artigos e seus dados, em sua forma, correção e confiabilidade é exclusiva dos autores. A Editora Artemis, em seu compromisso de manter e aperfeiçoar a qualidade e confiabilidade dos trabalhos que publica, conduz a avaliação cega pelos pares de todos manuscritos publicados, com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

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

#### Conselho Editorial

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

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Emilas Darlene Carmen Lebus, *Universidad Nacional del Nordeste/ Universidad Tecnológica Nacional*, Argentina

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> 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.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Gabriela Gonçalves, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Galina Gumovskaya – Higher School of Economics, Moscow, Russia

Prof. Dr. Geoffroy Roger Pointer Malpass, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Brasil

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Gladys Esther Leoz, *Universidad Nacional de San Luis*, Argentina

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> 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.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Iara Lúcia Tescarollo Dias, Universidade São Francisco, Brasil

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Isabel del Rosario Chiyon Carrasco, *Universidad de Piura*, Peru

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> 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.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Ivânia Maria Carneiro Vieira, Universidade Federal do Amazonas, Brasil

Prof. Me. Javier Antonio Alborno, *University of Miami and Miami Dade College*, Estados Unidos

Prof. Dr. Jesús Montero Martínez, *Universidad de Castilla - La Mancha*, Espanha

Prof. Dr. João Manuel Pereira Ramalho Serrano, Universidade de Évora, Portugal

Prof. Dr. Joaquim Júlio Almeida Júnior, UniFIMES - Centro Universitário de Mineiros, Brasil

Prof. Dr. Jorge Ernesto Bartolucci, *Universidad Nacional Autónoma de México*, México

Prof. Dr. José Cortez Godínez, Universidad Autónoma de Baja California, México

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

Prof. Dr. Juan Carlos Morsquera Feijoo, *Universidad Politécnica de Madrid*, Espanha

Prof. Dr. Juan Diego Parra Valencia, *Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín*, Colômbia

Prof. Dr. Juan Manuel Sánchez-Yáñez, *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, México

Prof. Dr. Juan Porras Pulido, *Universidad Nacional Autónoma de México*, México

Prof. Dr. Júlio César Ribeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil

Prof. Dr. Leinig Antonio Perazolli, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Livia do Carmo, Universidade Federal de Goiás, Brasil

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> 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.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> 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.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Márcia de Souza Luz Freitas, Universidade Federal de Itajubá, Brasil

Prof. Dr. Marcos Augusto de Lima Nobre, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil

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

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Mar Garrido Román, *Universidad de Granada*, Espanha

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Margarida Márcia Fernandes Lima, Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> María Alejandra Arecco, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Aparecida José de Oliveira, Universidade Federal da Bahia, Brasil

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria Carmen Pastor, *Universitat Jaume I*, Espanha

Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Maria da Luz Vale Dias – Universidade de Coimbra, Portugal  
 Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Maria do Céu Caetano, Universidade Nova de Lisboa, Portugal  
 Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Maria do Socorro Saraiva Pinheiro, Universidade Federal do Maranhão, Brasil  
 Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> M<sup>ª</sup>Graça Pereira, Universidade do Minho, Portugal  
 Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Maria Gracinda Carvalho Teixeira, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil  
 Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> María Guadalupe Vega-López, *Universidad de Guadalajara, México*  
 Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Maria Lúcia Pato, Instituto Politécnico de Viseu, Portugal  
 Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Maritza González Moreno, *Universidad Tecnológica de La Habana, Cuba*  
 Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Mauriceia Silva de Paula Vieira, Universidade Federal de Lavras, Brasil  
 Prof. Dr. Melchor Gómez Pérez, Universidad del Pais Vasco, Espanha  
 Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Ninfa María Rosas-García, Centro de Biotecnología Genómica-Instituto Politécnico Nacional, México  
 Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Odara Horta Boscolo, Universidade Federal Fluminense, Brasil  
 Prof. Dr. Osbaldo Turpo-Gebera, *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Peru*  
 Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Patrícia Vasconcelos Almeida, Universidade Federal de Lavras, Brasil  
 Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> 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.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Silvia Inés del Valle Navarro, *Universidad Nacional de Catamarca, Argentina*  
 Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Solange Kazumi Sakata, Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN)- USP, Brasil  
 Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Stanislava Kashtanova, *Saint Petersburg State University, Russia*  
 Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Susana Álvarez Otero – Universidad de Oviedo, Espanha  
 Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Teresa Cardoso, Universidade Aberta de Portugal  
 Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Teresa Monteiro Seixas, Universidade do Porto, Portugal  
 Prof. Dr. Valter Machado da Fonseca, Universidade Federal de Viçosa, Brasil  
 Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Vanessa Bordin Viera, Universidade Federal de Campina Grande, Brasil  
 Prof.<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Vera Lúcia Vasilévski dos Santos Araújo, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Brasil  
 Prof. Dr. Wilson Noé Garcés Aguilar, *Corporación Universitaria Autónoma del Cauca, Colômbia*  
 Prof. Dr. Xosé Somoza Medina, *Universidad de León, Espanha*

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

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

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

Edição bilíngue

ISBN 978-65-81701-59-8

DOI 10.37572/EdArt\_310725598

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

CDD 630

**Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422**



## APRESENTAÇÃO

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

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

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

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

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

Desejamos a todos uma excelente leitura!

Eduardo Eugênio Spers

SUMÁRIO

SISTEMAS DE PRODUÇÃO AQUÁTICO E ANIMAL

**CAPÍTULO 1..... 1**

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

Jesus Manuel Segura-Campos

Luis Héctor Hernández-Hernández

Madison S. Powell

Mario Alfredo Fernández-Araiza

Susana Alejandra Frías-Gómez

Mauricio Castillo-Domínguez

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_3107255981](https://doi.org/10.37572/EdArt_3107255981)

**CAPÍTULO 2..... 13**

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

João Pedro Monteiro Ferreira Garcês

Pedro Marques Pousão Ferreira

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_3107255982](https://doi.org/10.37572/EdArt_3107255982)

**CAPÍTULO 3..... 28**

MINI-ECOSISTEMA ACUÁTICO COMO MODELO DE ESTUDIO EN ECOFARMACOVIGILANCIA

Rafael Manuel de Jesús Mex-Álvarez

María Magali Guillen-Morales

David Yanez-Nava

María Esther Mena-Espino

Roger Enrique Chan-Martínez

Dylan Manuel Ferrer-Dzul

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_3107255983](https://doi.org/10.37572/EdArt_3107255983)

**CAPÍTULO 4..... 38**

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

Ivan Pavlović

Aleksandra Tasić

Jovan Bojkovski

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_3107255984](https://doi.org/10.37572/EdArt_3107255984)

## SUSTENTABILIDADE AMBIENTAL E CONSERVAÇÃO DE RECURSOS NATURAIS

### **CAPÍTULO 5..... 68**

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

José German Flores-Garnica

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_3107255985](https://doi.org/10.37572/EdArt_3107255985)

### **CAPÍTULO 6..... 86**

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

Carmen Allué Camacho

Javier M. García López

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_3107255986](https://doi.org/10.37572/EdArt_3107255986)

### **CAPÍTULO 7..... 102**

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

Julian Rene Perdomo Ramos

Tania Paola Perdomo Ramos

José Francisco Machado Carrillo

Edison Arturo Perdomo Ramos

Jirley Vanessa Rojas Gómez

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_3107255987](https://doi.org/10.37572/EdArt_3107255987)

## SISTEMAS DE PRODUÇÃO VEGETAL E AGRICULTURA DE PRECISÃO

### **CAPÍTULO 8..... 125**

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

Ignacio Orona Castillo

Cirilo Vázquez Vázquez

Apolinar González Mancilla

Joaquín Osornio Córdova

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_3107255988](https://doi.org/10.37572/EdArt_3107255988)

**CAPÍTULO 9.....133**

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

Salvador Sampayo-Maldonado

Joel Rodríguez-Zúñiga

Horacio Bautista-Santos

Fabiola Sánchez Galván

Juan Sebastian Rodríguez Bravo

Oscar Del Ángel Piña

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_3107255989](https://doi.org/10.37572/EdArt_3107255989)

**CAPÍTULO 10.....153**

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

Juan Manuel Soto Parra

Esteban Sánchez Chávez

Omar Cástor Ponce García

Rosa María Yáñez Muñoz

Nubia Guadalupe Torres Beltrán

Julio César Oviedo Mireles

Linda Citlalli Noperi Mosqueda

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_31072559810](https://doi.org/10.37572/EdArt_31072559810)

**CAPÍTULO 11.....163**

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

Sergio Salgado Velázquez

Fabiola Olvera Rincón

Diana Rubi Ramos López

Pablo Ulises Hernández Lara

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_31072559811](https://doi.org/10.37572/EdArt_31072559811)

**CAPÍTULO 12 .....179**

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

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

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_31072559812](https://doi.org/10.37572/EdArt_31072559812)

**CAPÍTULO 13 .....192**

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

Jone Heitor Sebastião  
Jean-Pierre Caliste  
Henri Dou

 [https://doi.org/10.37572/EdArt\\_31072559813](https://doi.org/10.37572/EdArt_31072559813)

**SOBRE O ORGANIZADOR..... 210**

**ÍNDICE REMISSIVO ..... 211**

# CAPÍTULO 11

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

Data de submissão: 06/06/2025

Data de aceite: 27/06/2025

### **Sergio Salgado Velázquez**

Instituto Nacional de Investigaciones  
Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)  
Campo Experimental Huimanguillo  
Huimanguillo, Tabasco, México  
<https://orcid.org/0000-0002-8443-3190>

### **Fabiola Olvera Rincón**

Colegio de Postgraduados  
Campus Tabasco  
Huimanguillo, Tabasco, México  
<https://orcid.org/0000-0003-2466-3856>

### **Diana Rubi Ramos López**

Universidad Popular de la Chontalpa  
Cárdenas, Tabasco, México  
<https://orcid.org/0009-0007-9653-3432>

### **Pablo Ulises Hernández Lara**

Instituto Nacional de Investigaciones  
Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)  
Campo Experimental Huimanguillo  
Huimanguillo, Tabasco, México  
<https://orcid.org/0009-0000-6976-7574>

**RESUMEN:** El mapeo de las propiedades del suelo es una herramienta importante para encaminarse hacia una agricultura de precisión y mejorar las prácticas agrícolas en función de cada zona de manejo sitio específica para elevar los rendimientos de grano en el cultivo de arroz y optimizar insumos. Para ello, se realizó una malla regular de 30 puntos de muestreo (0-20 cm) para determinar el potencial hidrogeno (pH) y el rendimiento de grano. Se utilizó el enfoque de la estadística clásica para describir el comportamiento de los datos y el análisis geoestadístico para determinar la variabilidad espacial de las propiedades del suelo y el rendimiento de grano usando el método de interpolación de kriging ordinario en un ambiente GIS en R. Los resultados muestran que los modelos esférico, gaussiano y exponencial fueron los que presentaron los mejores ajustes para las variables de estudio. Con el método de interpolación de kriging ordinario fue posible detectar la variabilidad espacial de las propiedades de suelo y el rendimiento de grano, así como la dirección de mayor variabilidad de la propiedad en función de la distancia. Con estos mapas fue posible realizar recomendaciones de manejo agronómico en función de la necesidad de cada zona de manejo específica cómo fue la recomendación de dosis de azufre elemental.

**PALABRAS CLAVE:** geostatistics; kriging; oryza sativa; management zones; spatial analysis.

## PRECISION AGRICULTURE IN RICE: MAPPING SOIL SPATIAL VARIABILITY AND ITS IMPACT ON GRAIN YIELD

**ABSTRACT:** Soil property mapping is a key tool for advancing precision agriculture and improving farming practices based on specific site management zones, with the aim of increasing rice grain yield and optimizing inputs. A regular grid of 30 sampling points (0–20 cm depth) was established to determine soil pH and grain yield. Classical statistical methods were used to describe data behavior, while geostatistical analysis, through the ordinary kriging interpolation method in an R-based GIS environment, was employed to assess the spatial variability of soil properties and yield. The spherical, Gaussian, and exponential models provided the best fit for the studied variables. Ordinary kriging enabled the detection of spatial variability and the main direction of variation for each property based on distance. These maps allowed for agronomic management recommendations tailored to the needs of each specific zone, such as the recommendation of elemental sulfur dosage.

**KEYWORDS:** heading; structure; bud; agronomic management.

### 1. INTRODUCCIÓN

El arroz es considerado uno de los cultivos más importantes en la alimentación de los mexicanos, solo por detrás del maíz, el frijol y el trigo. Entre 2010 y 2020, el consumo per cápita en México aumentó de 9.4 kg a 11 kg, lo que evidencia la creciente necesidad de este grano y su importancia en la dieta de la población (Tello y Corral, 2023). La producción nacional en el año 2023 fue de 36, 877 hectáreas cosechadas, con una producción de 252, 099 toneladas y un rendimiento promedio de 6 t ha<sup>-1</sup> (SIAP, 2023). La producción de arroz se está convirtiendo en una prioridad para el gobierno mexicano, el cual está concentrando sus actividades de fomento en transitar hacia una mayor productividad, por medio de programas sociales como “Cosechando soberanía”, “Fertilizantes para el bienestar” y “Precios de garantía” que en coyuntura están aumentando las superficies cultivables de arroz. El plan del gobierno se centra en las siguientes actividades: desarrollo de nuevas variedades genéticas (más productivas y resistentes) a cargo del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), tecnificación de las áreas de cultivo, expansión de la infraestructura de riego, incentivos a los trabajadores agrícolas, provisión controlada de pesticidas y fertilizantes, y expansión planificada de la superficie de siembra (Agricultura, 2024). Actualmente, el manejo de la fertilidad se realiza de forma tradicional donde se recomiendan dosis de fertilizantes generalizadas y sin tener en cuenta la variabilidad espacial de los suelos arroceros.

Por otra parte, la agricultura de precisión se fundamenta en la comprensión de la variabilidad espacial de ciertos factores del suelo y su relación con la producción. Este concepto es esencial para desarrollar sistemas de producción más sostenibles

y eficientes (Sánchez-Jiménez *et al.*, 2024; Salgado-Velázquez *et al.*, 2021), ya que la variación espacial de estos factores ejerce una influencia significativa en la productividad de los cultivos (Salgado-García *et al.*, 2021). El conocimiento detallado de las propiedades del suelo es de importancia fundamental para la optimización de prácticas de manejo agrícola. Al mismo tiempo, la distribución espacial de las propiedades fisicoquímicas del suelo se considera un insumo esencial en cualquier planificación agrícola sostenible (Salgado-Velázquez *et al.*, 2020). Por ende, puede contribuir significativamente a ahorrar esfuerzo, tiempo y costos en cualquier proceso de desarrollo de cultivos. Además, la recopilación de datos espaciales precisos y continuos es clave para una toma de decisiones fundamentada. Sin embargo, la disponibilidad de estos datos no solo es limitada, sino también costosa. Por ello, la geoestadística desempeña un papel crucial al representar los análisis del suelo de manera espacial y resaltar las variaciones entre diferentes partes de un área de estudio (Khan *et al.*, 2021). La información científica precisa sobre los suelos es esencial para desarrollar técnicas efectivas de manejo del suelo que sostengan la producción agrícola mientras se mantiene la calidad ambiental. Además, el manejo específico por sitio del potencial hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE); nitrógeno, fósforo y potasio disponibles (Olvera-Rincón *et al.*, 2024) mejora la eficiencia del uso de insumos (Tiruneh *et al.*, 2021), incrementa los rendimientos económicos de los cultivos y reduce los riesgos ecológicos (Khan *et al.*, 2021). Muchos investigadores han utilizado recientemente la geoestadística para estimar la variabilidad espacial de las propiedades del suelo (Barman *et al.*, 2021; Han *et al.*, 2022; Wijayanto *et al.*, 2024). Dentro de estas, kriging, regresión kriging y kriging simple son las más utilizadas en modelos de regresión. Un estudio previo comparó dos métodos de kriging, ordinario y de regresión, y concluyó que la regresión kriging fue más precisa para interpolar propiedades del suelo en paisajes contrastantes (Workneh *et al.*, 2024). Según diversos estudios, el kriging ordinario y la interpolación por distancia inversa ponderada (IDW) son técnicas geoestadísticas comúnmente empleadas para estimar propiedades del suelo, debido a su precisión y aplicabilidad en diferentes contextos (Vargas *et al.*, 2023; Flores-del Castillo y Delgado-González, 2025). Para evitar un consumo intensivo de mano de obra durante el muestreo del suelo, es esencial optimizar la densidad y ubicación de las muestras. Por lo tanto, se recomienda altamente el uso de técnicas de interpolación adecuadas (López-Castañeda *et al.*, 2022). Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue determinar la variabilidad espacial del potencial hidrogeno (pH) de un suelo Fluvisol y el rendimiento de grano de arroz de temporal en condiciones tropicales de Tabasco, México; con fines de optimizar los insumos aplicados al cultivo.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

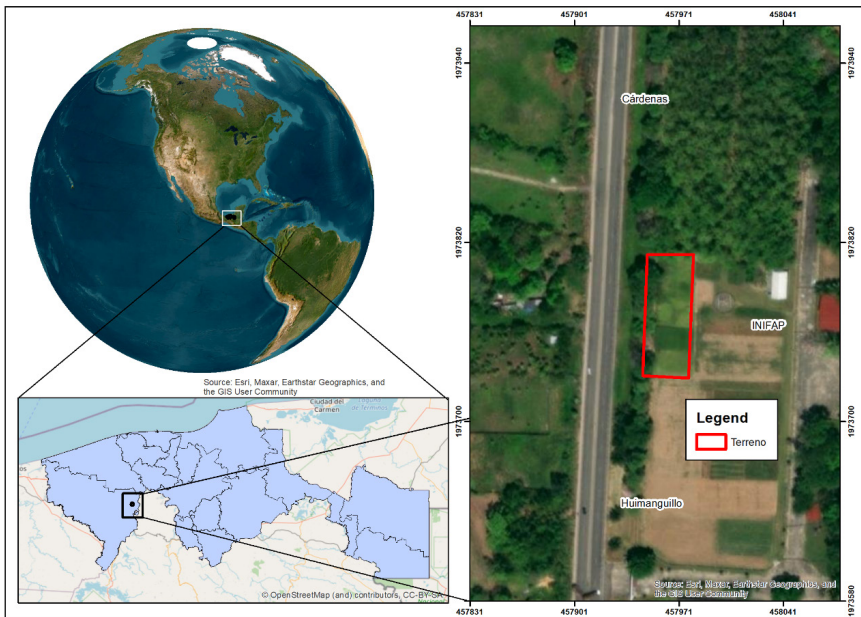
### 2.1. SITIO DE ESTUDIO: CAMPOS ARROCEROS

El trabajo se llevó a cabo en un suelo Fluvisol eútrico cultivado con arroz desde hace 20 años, ubicado en los campos experimentales del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) del municipio de Huimanguillo, Tabasco (Figura 1). La precipitación promedio anual es de 2356 mm, en los meses de febrero a mayo se presenta una temporada de sequía (276 mm), la temperatura mínima promedio es mayor a 20°C. El ciclo de cultivo fue de temporal y establecido el 15 de junio de 2024 (Salgado-Velázquez *et al.*, 2025).

### 2.2. SITIOS DE MUESTREO

La superficie del campo experimental es de 2150 m<sup>2</sup>, se trazó una cuadrícula equidistante de 8 m en gabinete sobre la imagen satelital del área de estudio (Salgado-Velázquez *et al.*, 2021) para generar 30 nodos que se tomaron como puntos de muestreos y se delimitó el polígono que corresponden a las parcelas cultivadas con arroz. Esto se elaboró con la ayuda del sistema de información geográfica ArcMap V.9.3. La ubicación de los puntos de muestreo y los polígonos se cargaron al GPS Garmin Map 65.

Figura 1. Ubicación espacial de los campos arroceros en estudio.



### 2.3. MUESTREO DE SUELOS

Con la función de navegación se ubicaron los puntos de muestreo en campo. En cada punto, con una pala, se limpió la superficie del suelo para evitar impurezas en la toma de muestras. Posteriormente, con una barrena tipo holandesa de acero inoxidable, se colectó la muestra de suelo a una profundidad de 0 a 20 cm, por cada punto se colectaron dos sub-muestras para tener un peso aproximado de suelo de 1.5 kg de muestra (AbdelRahman *et al.*, 2020). Las muestras de suelo se depositaron en una bolsa de nylon previamente identificada. Posteriormente las muestras se trasladaron al laboratorio de análisis de suelo, planta y agua del INIFAP Campus Huimanguillo (Salgado-García *et al.*, 2023).

Figura 2. Muestreo en campo y captura de puntos GPS en el campo de estudio.



### 2.4. PROCESAMIENTO DE MUESTRAS

Las muestras se extendieron sobre una charola y se desmenuzaron los terrones, para facilitar el proceso de secado, el cual se hizo a la sombra y con aireación. Posteriormente se realizó el tamizado de las muestras a 2 mm en el laboratorio, y se colocó nuevamente en su bolsa para la realización de los análisis de algunas propiedades del suelo.

## 2.5. VARIABLES DE ESTUDIO

Las variables determinadas en laboratorio fueron: potencial hidrogeno (pH), en agua relación 1:2 (Figura 3); con los métodos descritos en la norma oficial mexicana NOM-021-RECNAT (2001).

Figura 3. Preparación de las muestras y medición de pH con un potenciómetro.



Rendimiento de arroz (RG, kg/ha). Se realizó un muestreo en una grilla irregular de 45 puntos. El muestreo consistió en cosechar el arroz de forma manual, cortando un  $m^2$  de plantas de arroz con el apoyo de una hoz (Figura 4), se depositaron los tallos en una carretilla y posteriormente se desgranaron. Se determinó el rendimiento de grano, pesando con una balanza analítica los gramos de granos obtenidos en el  $m^2$  y se ajustó el peso a una humedad del 14%.

Figura 4. Toma de muestras en un  $m^2$  en cada parcela de estudio para determinar rendimiento de grano.



## 2.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para todas las variables, se realizó el análisis de la variabilidad de acuerdo con la estadística clásica, y se determinaron las medidas de tendencia central y dispersión. Con estas se calculó el número de muestras que se deben tomar para obtener el valor de cada parámetro, con una desviación ( $d$ ) con respecto al valor medio, para lo cual se utilizó la Ecuación 1 siguiente:

$$n = \frac{t^2_{\alpha, \infty} S^2}{d^2} \quad (1)$$

Dónde:  $n$  es el número de muestras a coleccionar para obtener el valor medio con una probabilidad del 95%;  $t$  es la distribución de  $t$  de Student;  $\alpha = 0.05$ ;  $\infty$  = infinitos grados de libertad;  $S$  = varianza y  $d$  = desviación con respecto al valor medio (Ramírez *et al.*, 2022).

Para determinar si los datos seguían una distribución normal se realizaron pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk con la finalidad de detectarse entre las distribuciones espaciales (Salgado-Velázquez *et al.*, 2021). Los valores atípicos fueron determinados por la gráfica de cajas y bigotes, y estos fueron reemplazados por la media de los vecinos siguiendo la adopción de Jolliffe (2002).

Análisis geoestadístico. Se realizó el análisis con el enfoque de la geoestadística, para lo cual se calcularon los valores de semivarianza experimental para cada variable de estudio con la Ecuación 2.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(X_i) - Z(X_i + h)]^2 \quad (2)$$

donde  $Z(X_i)$  es el valor de la variable  $Z$  en la ubicación muestreada  $X_i$ ,  $h$  es la distancia de desfase en metros y  $N(h)$  es el número de pares de puntos de muestra separados por  $h$ . En el caso de un muestreo irregular, es raro que la distancia entre los pares de muestra sea exactamente igual a  $h$ . Por lo tanto,  $h$  suele representarse como un intervalo de distancia. Para el desfase de distancia  $h$ , la semivarianza es  $\gamma(h)$  (Khan *et al.*, 2021). Se obtuvo un gráfico experimental del semivariograma mediante el cálculo de las semivarianzas a diferentes desfases de distancia. En general, hay tres parámetros importantes que son útiles para caracterizar la dependencia espacial de las variables del suelo en el gráfico del semivariograma: el nugget ( $C_0$ ), el sill parcial ( $C$ ) y el rango.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. ANÁLISIS EXPLORATORIO

Este estudio presenta una evaluación estadística detallada del pH del suelo y el rendimiento de grano de arroz, proporcionando información crucial sobre su variabilidad y distribución. En el Cuadro 1 se presentan los valores de tendencia central y dispersión. Los histogramas de frecuencias, el gráfico de burbujas y, de cajas y bigotes se presentan en la Figuras 5 y 6.

Cuadro 1. Valores de tendencia central y dispersión para el pH del suelo y rendimiento de grano en Huimanguillo, Tabasco.

| Propiedad  | Valor min. | Valor máx. | Rango | 1st. Q | 3rd. Q | M    | Me     | DS    | SW   |
|------------|------------|------------|-------|--------|--------|------|--------|-------|------|
| pH         | 7.41       | 7.89       | 0.48  | 7.69   | 7.80   | 7.72 | 7.76   | 0.127 | 0.04 |
| RG (kg/ha) | 141        | 4925       | 4784  | 1160.3 | 2392.2 | 1923 | 1888.3 | 997   | 0.06 |

M= Mediana, Me= Media, DS= desviación estándar, SW= Shapiro-Wilk.

El pH presentó la menor variabilidad (1.64%), seguido por el rendimiento de grano (52.85%). Los valores de variabilidad observados son similares a los que señalan Hou *et al.* (2021), con menor variabilidad pH (3.1%) y la EC (19.9%); y con la mayor variabilidad en el rendimiento del cultivo (45%). El pH del suelo se encuentra clasificado como alcalino (7.4 a 7.9) (Ramos *et al.*, 2022). Lo cual puede indicar una deficiencia de ciertos nutrientes esenciales en forma soluble, como potasio ( $K^+$ ), calcio ( $Ca^{2+}$ ), magnesio ( $Mg^{2+}$ ), y micronutrientes como zinc (Zn), hierro (Fe) y manganeso (Mn). Esto es común en suelos alcalinos, donde el alto pH reduce la solubilidad de estos elementos, limitando su disponibilidad para las plantas. En suelos alcalinos, el hierro (Fe), zinc (Zn), y otros micronutrientes esenciales pueden quedar atrapados en formas químicas insolubles. Esto puede llevar a deficiencias en las plantas, manifestándose como clorosis (amarillamiento de las hojas), reducción del crecimiento y menor productividad (Saleem *et al.*, 2022).

En el caso del pH, el coeficiente de variación <20% se considera adecuado para estudios de campo. Los rangos intercuartílicos (1st Q a 3rd Q) revelan una dispersión moderada para el pH, pero una heterogeneidad considerable rendimiento de grano (Cuadro 1). Los altos coeficientes de variación observados en algunas variables se deben al manejo irregular al que ha estado sometido la parcela experimental en los últimos años.

Figura 5. Medidas de tendencia central y dispersión para el pH del suelo. a) histograma de frecuencias, b) boxplot y c) grafico de burbujas.

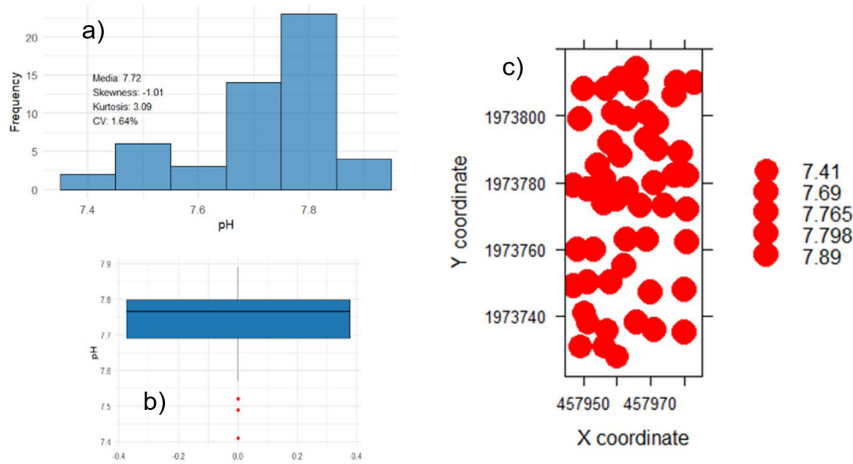
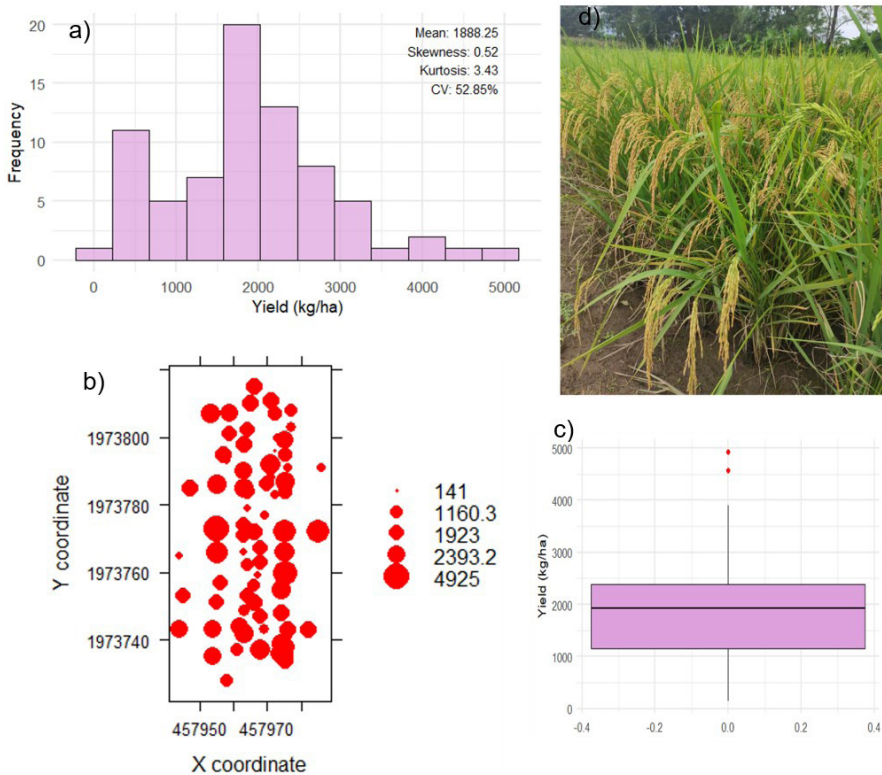


Figura 6. Medidas de tendencia central y dispersión para el rendimiento de grano (kg/ha). a) histograma de frecuencias, b) gráfico de burbujas y c) boxplot y d) arroz en madurez fisiológica.



El pH del suelo presentó una distribución donde las medias y las medianas eran similares, revelando así distribuciones que eran solo ligeramente simétricas a excepción del rendimiento de grano. En todas las propiedades estudiadas la kurtosis fue mayor a 2 mostrando un sesgo hacia la derecha (Figuras 5 y 6). Con respecto al Skewness solamente el rendimiento de grano, se encontraron valores muy cercanos a cero. Esto refleja un claro comportamiento asimétrico de las distribuciones de los datos, razón por la cual se pensaría que las distribuciones no se ajustarían a la normal. Para corroborar lo anterior se realizaron las pruebas de bondad de ajuste de Shapiro-Wilk (Jangir *et al.*, 2023). De las pruebas solamente el rendimiento de grano se ajustó a una distribución normal (Cuadro 1).

El pH parece mostrar una distribución espacial homogénea según los gráficos de burbujas (Figura 5c). En cambio, el rendimiento de grano muestra una alta heterogeneidad en toda la parcela (Figura 6b), reflejando posibles influencias externas en el rendimiento del cultivo, como la diversidad de variedades establecidas en la parcela y el riego irregular. Estos resultados destacan la necesidad de una gestión específica del suelo para optimizar la producción agrícola, subrayando la interacción entre las propiedades fisicoquímicas del suelo y los resultados agrícolas (Buladaco *et al.*, 2024).

La gráfica de caja y bigotes, y el análisis de la distribución espacial (Figuras 5b y 6c) mostraron que los valores atípicos detectados fueron la causa principal de los altos valores de asimetría, kurtosis y CV, así como de la no normalidad de estas distribuciones (Zhang *et al.*, 2022). Los valores atípicos fueron reemplazados por la media de los vecinos siguiendo la adopción de Jolliffe (2002), limpiando así los datos para el análisis geoestadístico.

### 3.2. ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO DEL PH Y RG (KG/HA)

Las propiedades del suelo del pH y el rendimiento de grano (RG, kg/ha) se sometieron a un análisis de geoestadística y fueron interpolados en una cuadrícula de 0.5 m por kriging ordinario usando la librería gstat de R (Khan *et al.*, 2022). Para todas las propiedades, los variogramas se ajustaron considerando la distribución como isotrópica. Antes del kriging, se seleccionaron los variogramas mejor ajustados basándose en el error cuadrático medio (RMSE) y los criterios de Akaike (AIC) usando VESPER 1.6 (Salgado-Velázquez *et al.*, 2025). Además, se calculó el Índice de Dependencia Espacial (SDI), que es la relación entre la varianza del efecto nugget y el sill (Uribe-Opazo *et al.*, 2023) para cada variograma y expresado como porcentaje (Cuadro 2).

Cuadro 2. Características de los variogramas y errores de predicción de los modelos con mejor ajuste para las variables de estudio.

| Variable   | Model | Nugget<br>(Co) | Partial Sill<br>(C) | Sill<br>(Co+C) | Range | SDI<br>(%) | RMSE   | AIC    |
|------------|-------|----------------|---------------------|----------------|-------|------------|--------|--------|
| pH         | Sph   | 0.002703       | 0.02211             | 0.024813       | 39.2  | 10.9       | 0.0034 | -131.8 |
| RG (kg/ha) | Exp   | 150000         | 1100000             | 1250000        | 35    | 12.0       | 0.993  | -457.5 |

\*Raíz del error cuadrático medio (RMSE) y criterios de Akaike (AIC). SDI= [Co / (Co + C)] x 100.

Se reporta que el pH no presentó efecto de nugget según los modelos ajustados (Cuadro 2). El nugget del rendimiento de grano (RG) puede atribuirse tanto a errores inherentes de medición como a variaciones a distancias menores que el intervalo de muestreo (AbdelRahman *et al.*, 2020). Los valores observados de sill, que es el valor del semivariograma en el cual el modelo se vuelve plano, fueron relativamente pequeños, a excepción del rendimiento. Para el rendimiento de grano fue necesario hacer una transformación por el método de Box Cox para correr el kriging (Khan *et al.*, 2021). La distancia máxima a la cual una variable deja de mostrar dependencia espacial se denomina rango. Los valores de rango para todas las variables de estudio fueron entre 35 y 39 m. Un valor bajo de rango indica que las propiedades del suelo están principalmente influenciadas por los valores de sus vecinos inmediatos y menos influenciadas por los valores a distancias mayores (Trevisan *et al.*, 2021). Por otro lado, se determinó el índice de dependencia espacial (SDI) encontrándose que el rendimiento de grano y el pH presentaron con una alta dependencia espacial (<25%).

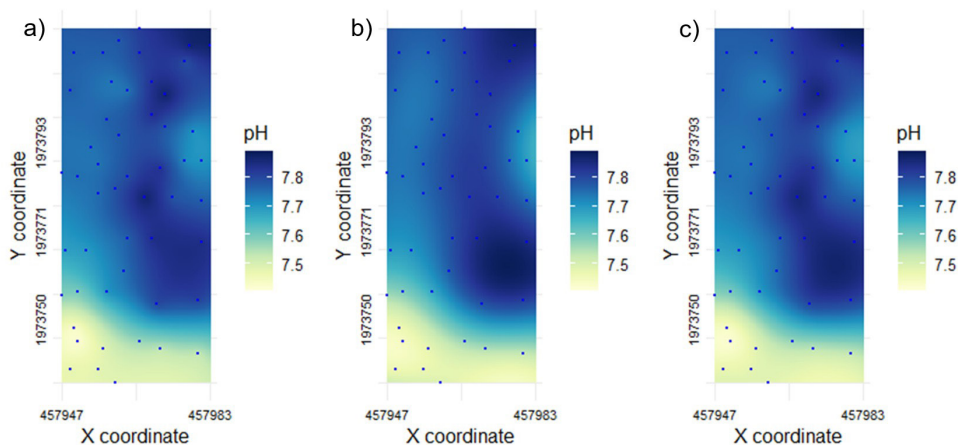
3.3. INTERPOLACIÓN KRIGING ORDINARIO

La distribución de la variabilidad de las propiedades del suelo de pH y el rendimiento de grano, se discuten a continuación para cada variable de estudio.

3.3.1. Potencial hidrógeno del suelo (pH)

La distribución espacial del pH se visualiza en la Figura 8. El modelo que mejor describió la variabilidad espacial del pH fue el Esférico. Los parámetros del semivariograma se consideran aceptables y esto se corrobora con una validación cruzada cuyos errores de predicción son pequeños (Cuadro 2).

Figura 7. Mapas generados por el método de interpolación kriging para pH ajustados con los modelos exponencial (a), gaussiano (b) y esférico (c).

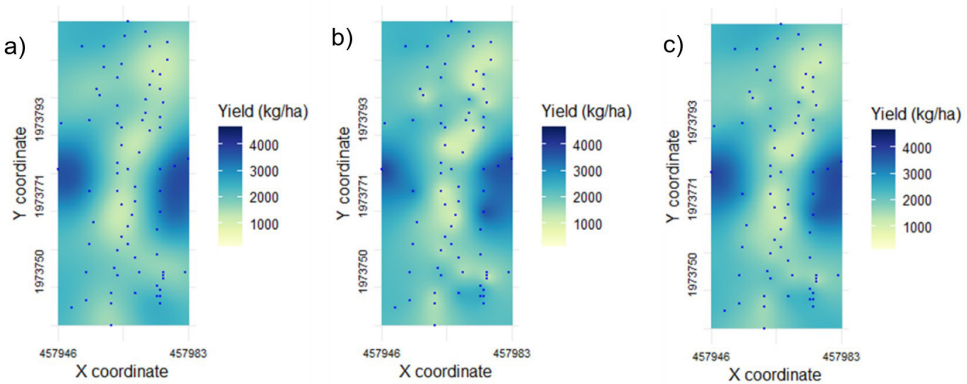


El pH del suelo es una de las propiedades más importantes, ya que controla en gran medida la disponibilidad de nutrientes. Este parámetro indica la actividad de los iones de hidrógeno ( $H^+$ ) e hidroxilo ( $OH^-$ ) en la solución del suelo (Yadav *et al.*, 2022). De acuerdo con la Figura 7 y Cuadro 1, el pH osciló de 7.4 a 7.9, considerados como un suelo alcalino, y con un patrón espacial de valores bajos en la parte sur- suroeste-sureste; y los más altos hacia el norte. El uso de agua de riego con alto contenido de bicarbonatos ( $HCO_3^-$ ) y carbonatos ( $CO_3^{2-}$ ) como las de Tabasco (Jerez-Ramírez *et al.*, 2023) puede contribuir al aumento del pH del suelo, especialmente en suelos con baja capacidad tampón. Este tipo de agua, al interactuar con el suelo, puede provocar la precipitación de carbonato de calcio ( $CaCO_3$ ) y la acumulación de sodio intercambiable, reduciendo la disponibilidad de ciertos micronutrientes esenciales como el hierro (Fe), zinc (Zn) y manganeso (Mn). Esto genera condiciones desfavorables para el desarrollo óptimo de las plantas, manifestándose como clorosis debido a la deficiencia de Fe o Zn, micronutrientes cuya solubilidad disminuye en pH elevados (Guo *et al.*, 2024). Asimismo, en suelos alcalino, el fósforo tiende a formar compuestos insolubles con calcio, hierro y aluminio, lo que lo hace menos disponible para las plantas. Este proceso se conoce como fijación de fósforo, en el cual el fósforo se inmoviliza y se vuelve menos accesible para la absorción de las plantas (Omar *et al.*, 2024). Por lo anterior, es recomendable aplicar enmiendas como azufre elemental o yeso agrícola para reducir el pH y mejorar la solubilidad de los nutrientes. Se recomienda aplicar 350 kg/ha de azufre agrícola para la clase de pH <7.5 y 705 kg/ha para la clase >7.5 kg/ha, preferentemente durante la siembra y en la primera fertilización (Saleem *et al.*, 2022).

### 3.3.2. Rendimiento de grano de arroz (RG, kg/ha)

La distribución espacial del rendimiento de grano de arroz (kg/ha) se muestra en la Figura 8. El modelo que mejor describió la variabilidad espacial del rendimiento de grano fue el Exponencial. Los parámetros del semivariograma se consideran aceptables y esto se corrobora con una validación cruzada cuyos errores de predicción son pequeños (Cuadro 2).

Figura 8. Mapas generados por el método de interpolación kriging para rendimiento de grano (kg/ha) ajustados con los modelos exponencial (a), gaussiano (b) y esférico (c).



Con la Figura 8, se logra deducir que existe una relación espacial con el pH (Figuras 7 y 8), es decir, que la parte norte de la parcela presenta los valores más bajos para el rendimiento de grano y es donde se obtienen los valores más altos para pH, generados por la interpolación de kriging ordinario. Todos los modelos coincidieron con las mismas tendencias espaciales del rendimiento de grano. Los valores de rendimiento de grano obtenidos en el intervalo de 0.1 a 4.9 ton/ha se consideran bajos si se comparan con la media nacional de 6.8 ton/ha (SIAP, 2023). Como se ha discutido, el pH elevado, son las principales limitantes en la producción del grano de arroz. En este sentido, las fuentes usadas de fertilizantes no son las óptimas para estas condiciones y es necesario utilizar las recomendaciones generadas en base a los mapas de interpolación de kriging.

## 4. CONCLUSIÓN

La integración de análisis estadístico con visualización espacial es una herramienta poderosa para identificar variabilidad crítica en propiedades del suelo que pueden impactar la producción agrícola. Este enfoque permite una toma de decisiones informada para optimizar el manejo de cultivos y garantizar un uso eficiente de los recursos. Con el método de interpolación de kriging ordinario fue posible detectar

la variabilidad espacial de las propiedades de suelo y el rendimiento de grano en los diferentes sitios de la parcela, así como la dirección de mayor variabilidad de la propiedad en función de la distancia. Con estos mapas fue posible realizar recomendaciones de manejo agronómico en función de la necesidad de cada zona de manejo específica cómo fue la recomendación de dosis de azufre elemental.

## LITERATURA CITADA

AbdelRahman, M. A., Zakarya, Y. M., Metwaly, M. M., and Koubouris, G. 2020. Deciphering soil spatial variability through geostatistics and interpolation techniques. *Sustainability* 13(1): 194. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13010194>

Agricultura. 2024. Mecánica operativa para el otorgamiento de incentivos para grano y semilla certificada de arroz palay (grueso y delgado). <https://www.gob.mx/segalmex/documentos/mecanica-operativa-para-el-otorgamiento-de-incentivos-para-grano-y-semilla-certificada-de-arroz-palay-grueso-y-delgado?idiom=es>

Barman, A., Sheoran, P., Yadav, R. K., Abhishek, R., Sharma, R., Prajapat, K., and Kumar, S. 2021. Soil spatial variability characterization: Delineating index-based management zones in salt-affected agroecosystem of India. *Journal of Environmental Management*, 296: 113243. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113243>

Buladaco II, M. S., Tandugon, H. M. F., Bunquin, M. A. B., Sanchez, P. B., Bugia, S. A. C., Yales, N. A. P., and Casacop, S. M. 2024. Mapping and Assessment of Within-Field Spatial Variability of Soil pH, Electrical Conductivity, and Particle Size Distribution to Delineate Management Zones. *Ecological Engineering & Environmental Technology (EET)* 25(10). DOI: <https://doi.org/10.12912/27197050/191244>

Flores-del Castillo, E. Y., & Delgado-González, O. (2025). Muestreo de fertilidad de suelo e interpolación mediante Kriging ordinario para mapeo temático. *Ingeniería Agrícola*, 15, cu-id.

Guo, B. X., Zhou, J., Zhan, L. Q., Wang, Z. Y., Wu, W., and Liu, H. B. 2024. Spatial and temporal variability of soil pH, organic matter and available nutrients (N, P and K) in Southwestern China. *Agronomy* 14(8): 1796. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy14081796>

Han, Y., Yi, D., Ye, Y., Guo, X., and Liu, S. 2022. Response of spatiotemporal variability in soil pH and associated influencing factors to land use change in a red soil hilly region in southern China. *Catena* 212: 106074. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106074>

Hou, L., Liu, Z., Zhao, J., Ma, P., and Xu, X. 2021. Comprehensive assessment of fertilization, spatial variability of soil chemical properties, and relationships among nutrients, apple yield and orchard age: A case study in Luochuan County, China. *Ecological indicators* 122: 107285. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107285>

Jangir, C. K., Sangwan, P. S., Panghaal, D., Kumar, S., Meena, R. S., Bharti, ... & Singh, N. 2024. Spatial variability and statistical analysis of soil properties in the rice wheat-based systems of North-West India. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 55(8): 1205-1223. DOI: <https://doi.org/10.1080/00103624.2023.2296989>

Jerez-Ramírez, N. A., Arriaga-Weiss, S. L., Ruiz-Campos, G., Gama-Campillo, L. M., Salcedo-Mesa, M. Á., Villanueva-García, C., ... & Valdez-Leal, J. D. D. 2023. Composition and spatiotemporal diversity of the aquatic bird community in Laguna de las Ilusiones, Tabasco, México. *Ciencias marinas* 49.

Jolliffe, I. T. 2002. Principal Component Analysis, 2nd ed. Springer-Verlag, New York, NY.

Khan, M. Z., Islam, M. R., Salam, A. B. A., and Ray, T. 2021. Spatial variability and geostatistical analysis of soil properties in the diversified cropping regions of Bangladesh using geographic information system techniques. *Applied and Environmental Soil Science* 2021(1): 6639180. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/6639180>

López-Castañeda, A., Zavala-Cruz, J., Palma-López, D. J., Rincón-Ramírez, J. A., and Bautista, F. 2022. Digital mapping of soil profile properties for precision agriculture in developing countries. *Agronomy* 12(2): 353. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy12020353>

Olvera-Rincón, F., Salgado-Velázquez, S., Córdova-Sánchez, S., Palma-López, D. J., López-Castañeda, A., and Castañeda-Ceja, R. 2024. Defoliación del cultivo de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en la Chontalpa, Tabasco, México. *Agronomía Mesoamericana*, 35(1). DOI: <https://doi.org/10.15517/am.2024.53608>

Omar, M. D. M., Massawe, B. H., Shitindi, M. J., Pedersen, O., Meliyo, J. L., and Fue, K. G. 2024. Assessment of salt-affected soil in selected rice irrigation schemes in Tanzania: understanding salt types for optimizing management approaches. *Frontiers in Soil Science* 4:1372838. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsoil.2024.1372838>

Ramírez, A. F. V., Ramírez, I. M., and Arroyave, A. F. 2022. Relación entre el pH y las mediciones de conductividad eléctrica en un suelo cultivable ubicado en Medellín, Colombia. *Ingenierías USBMed* 13(2): 56-62.

Ramos, P. C. M., Estrada-Andrade, L. F., Alor-Chávez, M. D. J., Méndez-Olán, C., and Morales-Bautista, C. M. 2022. Condiciones de fertilidad de un suelo en Comalcalco, Tabasco, México. *Journal of Basic Sciences* 8(23): 85-95.

Saleem, A., Zulfiqar, A., Ali, B., Naseeb, M. A., Almasaudi, A. S., and Harakeh, S. 2022. Iron sulfate (FeSO<sub>4</sub>) improved physiological attributes and antioxidant capacity by reducing oxidative stress of *Oryza sativa* L. cultivars in alkaline soil. *Sustainability* 14(24): 16845. DOI: <https://doi.org/10.3390/su142416845>

Saleem, A., Zulfiqar, A., Ali, B., Naseeb, M. A., Almasaudi, A. S., and Harakeh, S. 2022. Iron sulfate (FeSO<sub>4</sub>) improved physiological attributes and antioxidant capacity by reducing oxidative stress of *Oryza sativa* L. cultivars in alkaline soil. *Sustainability* 14(24): 16845. DOI: <https://doi.org/10.3390/su142416845>

Salgado-García, S., Palma-López, D. J., Zavala-Cruz, J., Lagunes-Espinoza, L. D. C., Córdova-Sánchez, S., Castelán-Estrada, M., and Salgado-Velázquez, S. 2023. Fertilización y nutrición sustentable de palma de aceite (*Elaeis guineensis*) en Tabasco, México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 10(1). DOI: <https://doi.org/10.19136/era.a10n1.3082>

Salgado-García, S., Salgado-Velázquez, S., Palma-López, D. J., Zavala-Cruz, J., Córdova-Sánchez, S., Rincón-Ramírez, J. A., and Hernández-Nataren, E. 2021. Soil fertility classification for sugarcane in supply areas of a sugar mill. *Agro Productividad*: 14(10). DOI: <https://doi.org/10.32854/agrop.v14i10.1703>

Salgado-Velázquez, S., Acopa Colorado, J., Salgado García, S., Córdova Sánchez, S., Palma López, D., Rincón Ramírez, J. A., and López Castañeda, A. 2021. Spatial variability of some chemical properties of a Cambisol soil with cocoa (*Theobroma cacao* L.) cultivation. *Agro Productividad* 14(1): 43-49. DOI: <https://doi.org/10.32854/agrop.v14i1.1706>

Salgado-Velázquez, S., Olvera-Rincón, F., Ramos-López, D. R., Hernández-Lara, P. U., Inurreta-Aguirre,

H. D., & Palma-Cancino, D. J. (2025). EcoCrop model approach for agroclimatic suitability of rice (*Oryza sativa* L.) cultivation. *Agro Productividad*.

Salgado-Velázquez, S., Salgado-García, S., Rincón-Ramírez, J. A., Rodríguez Jr, F. A., Palma-López, D. J., Córdova-Sánchez, S., and López-Castañeda, A. 2020. Spatial variability of soil physicochemical properties in agricultural fields cultivated with sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) in Southeastern Mexico. *Sugar Tech* 22(1): 65-75. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12355-019-00742-9>

Sánchez-Jiménez, M., Espinoza, L. D. C. L., López, D. J. P., Sánchez, S. C., Pech, R. G. A., and Salgado-Velázquez, S. 2024. Producción de biomasa e índices fisiológicos de cultivares de caña de azúcar en diferentes subunidades de suelos. *Acta Agrícola y Pecuaria* 10(1):6. DOI: <https://doi.org/10.30973/aap/2024.10.0101007>

SIAP. 2023. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Datos de producción agrícola nacional 2023. Recuperado de <https://www.gob.mx/siap/acciones-y-programas/produccion-agricola-33119>

Tello, A. F., and Corral, M. A. H. 2023. Competitividad internacional del arroz mexicano: un análisis con base en datos de comercio exterior. *RECAI Revista de Estudios en Contaduría, Administración e Infomática* 12(35): 18-31.

Tiruneh, G. A., Alemayehu, T. Y., Meshesha, D. T., Vogelmann, E. S., Reichert, J. M., and Haregeweyn, N. 2021. Spatial variability of soil chemical properties under different land-uses in Northwest Ethiopia. *Plos one*, 16(6): e0253156.

Trevisan, R. G., Bullock, D. S., and Martin, N. F. 2021. Spatial variability of crop responses to agronomic inputs in on-farm precision experimentation. *Precision Agriculture* 22: 342-363. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-020-09720-8>

Uribe-Opazo, M. A., Dalposso, G. H., Galea, M., Johann, J. A., De Bastiani, F., Cambillo Moyano, E. N., and Grzegozewski, D. M. 2023. Spatial variability of wheat yield using the gaussian spatial linear model. *Australian Journal of Crop Science* 17(2): 179-189.

Vargas Diaz, R. E., Galindo Pacheco, J. R., Giraldo Henao, R., Varón Ramírez, V. M., Wilches Ortiz, W. A., & Franco Florez, C. V. 2023. Metodologías de interpolación y predicción espacial para el análisis de las propiedades físicas del suelo en la hoya del río Suárez (Colombia). *Siembra*, 10(1).

Wijayanto, Y., Nareswari, N. R., Saputra, T. W., and Purnamasari, I. 2024. Characterizing, Predicting, and Mapping Soil Available Phosphor, pH, and Electrical Conductivity in Rubber Plantation Based on Three Different Methods of Ordinary Kriging in GIS Environment. *International Journal on Advanced Science, Engineering & Information Technology* 14(2). DOI: <https://doi.org/10.18517/ijaseit.14.2.19079>

Workneh, H. T., Chen, X., Ma, Y., Bayable, E., and Dash, A. 2024. Comparison of IDW, Kriging and orographic based linear interpolations of rainfall in six rainfall regimes of Ethiopia. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 52: 101696. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2024.101696>

Zhang, X., Xiang, D. Q., Yang, C., Wu, W., and Liu, H. B. 2022. The spatial variability of temporal changes in soil pH affected by topography and fertilization. *Catena* 218: 106586. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106586>

## SOBRE O ORGANIZADOR

**EDUARDO EUGENIO SPERS** realizou pós-doutorado na Wageningen University (WUR), Holanda, e especialização no IGIA, França. Possui doutorado em Administração pela Universidade de São Paulo (USP). Foi Professor do Programa de Mestrado e Doutorado em Administração e do Mestrado Profissional em Comportamento do Consumidor da ESPM. Líder do tema Teoria, Epistemologia e Métodos de Pesquisa em Marketing na Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Administração (ANPAD). Participou de diversos projetos de consultoria e pesquisa coordenados pelo PENSE e Markestrat. É Professor Titular no Departamento de Economia, Administração e Sociologia, docente do Mestrado em Administração e Coordenador do Grupo de Extensão MarkEsalq no campus da USP/Esalq. Proferiu palestras em diversos eventos acadêmicos e profissionais, com diversos artigos publicados em periódicos nacionais e internacionais, livros e capítulos de livros sobre agronegócios, com foco no marketing e no comportamento do produtor rural e do consumidor de alimentos.

## ÍNDICE REMISSIVO

### Símbolos

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

### A

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

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

Adaptive management 86, 99

Additive manufacturing 193, 203, 204

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

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

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

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

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

Aplicación del método científico 179

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

### B

Biomedicina 28

### C

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

'Canon' bell pepper 153, 154, 155

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

'Closter' tomato 153, 154, 155

Coccidiosis control 38, 46, 54, 59

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

Competitive intelligence 193

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

### D

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

Desarrollo rural 179

Desarrollo sustentable 28, 29, 186, 188

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

## E

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

Eimeria infection 38, 62, 63, 67

Emprendimiento 103, 181

Enterprise 4.0 192, 193

## F

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

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

Frugal development 192, 193, 201, 208

Fruit size 154

## G

Geostatistics 163, 176

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

## H

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

## I

Intervalo equivalente 68, 70, 73

Intervalo geométrico 68, 70

Intervalos de progresión 68, 73

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

## K

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

## M

Management zones 163, 164, 176

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

## O

Oryza sativa 163, 177, 178

## P

Parasitic disease management 38

Phytoclimatology 86

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

Plagas y enfermedades 125, 126, 181, 190

Plant-origin protein 2, 9

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

## R

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

Renta de tierra y agua 125

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

Rol del ingeniero agrónomo 179

Rupturas naturales 68, 70, 73, 76

## S

Salud ambiental 28

Sheep farming 38, 43, 48

Sheep health 38, 59

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

Spatial analysis 84, 163

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

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

## T

Tecnología de producción 125

Toltrazuril treatment 38

## V

Versatility 86, 97, 98, 99, 100

Vulnerability 84, 86, 99, 101



EDITORA  
ARTEMIS

2025