

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.ª Dr.ª Emilas Darlene Carmen Lebus, *Universidad Nacional del Nordeste/ Universidad Tecnológica Nacional, 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 Godinez, Universidad Autónoma de Baja California, México  
Prof. Dr. Juan Carlos Cancino Diaz, Instituto Politécnico Nacional, México  
Prof. Dr. Juan Carlos Mosquera Feijoo, *Universidad Politécnica de Madrid, Espanha*  
Prof. Dr. Juan Diego Parra Valencia, *Instituto Tecnológico Metropolitano de Medellín, Colômbia*  
Prof. Dr. Juan Manuel Sánchez-Yáñez, *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, México*  
Prof. Dr. Juan Porras Pulido, *Universidad Nacional Autónoma de México, México*  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil  
Prof. Dr. 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 Augusto de Lima Nobre, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Brasil  
Prof. Dr. Marcos Vinicius Meiado, Universidade Federal de Sergipe, Brasil  
Prof.ª Dr.ª Mar Garrido Román, *Universidad de Granada, Espanha*  
Prof.ª Dr.ª Margarida Márcia Fernandes Lima, Universidade Federal de Ouro Preto, Brasil  
Prof.ª Dr.ª María Alejandra Arecco, *Universidad de Buenos Aires, Argentina*  
Prof.ª Dr.ª Maria Aparecida José de Oliveira, Universidade Federal da Bahia, Brasil  
Prof.ª Dr.ª Maria Carmen Pastor, *Universitat Jaume I, Espanha*

Prof.ª Dr.ª Maria da Luz Vale Dias – Universidade de Coimbra, Portugal  
Prof.ª Dr.ª Maria do Céu Caetano, Universidade Nova de Lisboa, Portugal  
Prof.ª Dr.ª Maria do Socorro Saraiva Pinheiro, Universidade Federal do Maranhão, Brasil  
Prof.ª Dr.ª MªGraça Pereira, Universidade do Minho, Portugal  
Prof.ª Dr.ª Maria Gracinda Carvalho Teixeira, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Brasil  
Prof.ª Dr.ª María Guadalupe Vega-López, *Universidad de Guadalajara, México*  
Prof.ª Dr.ª Maria Lúcia Pato, Instituto Politécnico de Viseu, Portugal  
Prof.ª Dr.ª Maritza González Moreno, *Universidad Tecnológica de La Habana, Cuba*  
Prof.ª Dr.ª Mauriceia Silva de Paula Vieira, Universidade Federal de Lavras, Brasil  
Prof. Dr. Melchor Gómez Pérez, Universidad del País 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. Sérgio 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)

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 (*GOSSYPIUM 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)

## EDUCAÇÃO E INOVAÇÃO NO MEIO AGRÁRIO

### **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 5

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

Data de submissão: 17/07/2025

Data de aceite: 25/07/2025

**José German Flores-Garnica**

Instituto Nacional de  
Investigaciones Forestales  
Agrícolas y Pecuarias  
Campo Experimental  
Centro Altos de Jalisco

Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México  
<https://orcid.org/0000-0002-8295-1744>

**RESUMEN:** La dimensión y distribución de los incendios forestales en México complica su atención, tanto desde la perspectiva de prevención como de combate, por lo que se hace necesario la ubicación de áreas prioritarias de atención, con base a ciertos criterios, como el riesgo de incendio. Esta información se presenta en cartografía temática específica; cuya clasificación implica: a) selección del número de clases de riesgo; y b) proceso para establecer los intervalos de clases. No obstante, generalmente este proceso se hace en forma subjetiva, dependiendo de la persona que especifica el método de clasificación. Para definir un proceso objetivo, soportado estadísticamente, se hace un análisis comparativo entre grupos de clases de riesgo de incendio (3 y 5), para lo cual se evaluaron los siguientes criterios de división

de intervalos de clases: Intervalos iguales; Cuantiles; Rupturas naturales; e Intervalos geométricos. En esta evaluación, se usó un mapa de riesgo de incendios forestales del estado de Jalisco (México), en el cual, para definir el número de clases y el método para establecer los intervalos, se ubicaron al azar 1 000 sitios de validación (SV). Alrededor de estos sitios se delimitó una superficie de 100 km<sup>2</sup>, dentro de los cuales se contó el número de incendios forestales, dentro del período 2005-2014. Posteriormente, se asoció la clase de riesgo que correspondía a cada uno de los SV con el número de incendios ubicados en el área de 100 km<sup>2</sup>. A partir de esto, se comparó la variabilidad (desviación estándar) entre las clases generadas por cada uno de los cuatro métodos para definir sus intervalos. Los resultados sugieren que, para las condiciones del estudio, el método de intervalos iguales (II) es el más indicado para definir los intervalos de clase de riesgo de incendios. Referente al número de clases, existe una más clara diferenciación, entre las clases, al usar cinco clases.

**PALABRAS CLAVE:** intervalo equivalente; intervalo geométrico; intervalos iguales; intervalos de progresión; rupturas naturales.

### COMPARATIVE ANALYSIS OF VARIATIONS IN FIRE BEHAVIOR DURING A PRESCRIBED BURN

**ABSTRACT:** The dimension and distribution of forest fires in Mexico complicates their

attention, both from the perspective of prevention and combat, making it necessary to locate priority areas for attention, based on certain criteria, such as fire risk. This information is presented in specific thematic cartography; whose classification implies: a) selection of the number of risk classes; and b) process to establish the class intervals. However, generally, this process is subjective, depending on the person who specifies the classification method. In order to define an objective process, supported statistically, a comparative analysis is made between groups of fire risk classes (3 and 5), for which the following criteria for dividing class intervals were evaluated: Equal intervals; Quantiles; Natural breaks; and Geometric intervals. In this assessment, a forest fire risk map of the state of Jalisco (Mexico) was used, in which, to define the number of classes and the method to establish the intervals, 1,000 validation sites (VS) were randomly located. Around these sites, an area of 100 km<sup>2</sup> was delimited, within which the number of forest fires was counted, within the period 2005-2014. Subsequently, the risk class that corresponded to each of the VS's was associated with the number of fires located in the 100 km<sup>2</sup> area. From this, the variability (standard deviation) between the classes generated by each of the four methods was compared to define their intervals. The results suggest that, for the conditions of the study, the method of equal intervals (II) is the most suitable for defining the fire risk class intervals. Regarding the number of classes, there is a clearer differentiation among the classes when using five classes.

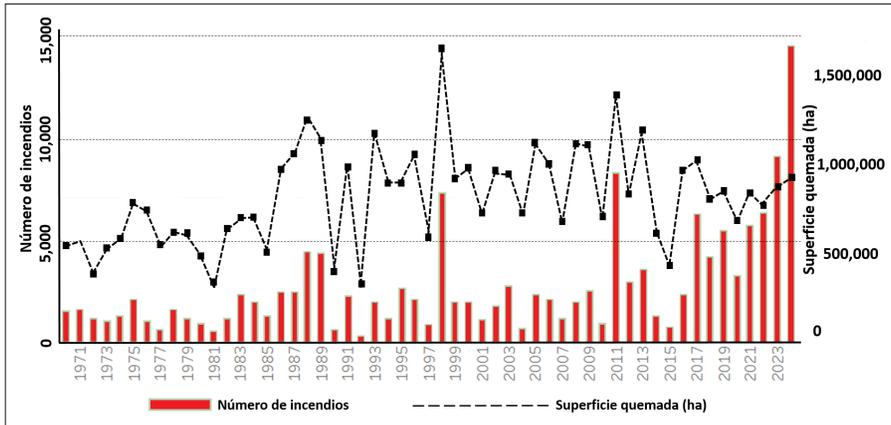
**KEYWORDS:** equivalent interval; geometrical interval; equal intervals; progression intervals; natural breaks.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas forestales en México son impactados todos los años por la ocurrencia de incendios (Figura 1), por ejemplo, durante el período 20019-2023 se contabilizaron en promedio 7 097 incendios, que afectan 319 003 ha por año (Conafor, 2025). Lo anterior implica que se deben establecer estrategias de prevención y combate de incendios forestales (Calkin *et al.*, 2014). Sin embargo, debido a que los recursos (económicos y humanos) disponibles son limitados, es necesario priorizar las áreas de atención (Conafor, 2010; Mildrexler *et al.*, 2016), las cuales pueden ubicarse y dimensionarse mediante cartografía temática específica (de la Riva *et al.*, 2004). La generación de esta cartografía se apoya en varios criterios, como el riesgo (Kuter *et al.*, 2011; Mohammadi *et al.*, 2014; Salvati y Ferrara, 2015) y el peligro de incendios forestales (Magaña y Romahn, 1987; Rojo *et al.*, 2001). Sin embargo, los estudios de riesgo de incendios en México son escasos (Villers y López, 2004; Vega Nieva *et al.*, 2018), ya que la definición de criterios implica integrar, cartográficamente, una gran cantidad de información (Carrillo *et al.*, 2012), como la ocurrencia de incendios (Ávila *et al.*, 2010; Pérez *et al.*, 2013; Pan *et al.*, 2016); cercanía a caminos (de Torres *et al.*, 2008), pendiente, cargas de combustibles, etcétera. En ocasiones, esta integración requiere de procesos complejos (Vilar *et al.*, 2011) y la cartografía resultante puede tener un uso limitado, si no se presenta en forma

adecuada (Yeguez y Ablan, 2012); para lo cual se debe especificar, entre otros aspectos, la escala, orientación, sistema de georreferencia, etcétera, mediante procedimientos que están bien definidos.

Figura 1. Número de incendios forestales y superficie afectada durante el período 1971-2023, en México (Conafor, 2025).



Unos de los aspectos al que poca atención se le ha dado, además de la especificación del número de las clases, en este caso, de riesgo o peligro de incendio (Torres *et al.*, 2007; Rodríguez *et al.*, 2011), es la definición de los intervalos de clases. Frecuentemente, se hace de manera aleatoria o desde una perspectiva subjetiva, basada en la apreciación personal del generador de la cartografía. Es decir, en principio, al generar un mapa de riesgo de incendio se establecen, por lo general, tres (bajo, medio y alto) o cinco (muy bajo, bajo medio, alto y muy alto) clases de riesgo. Posteriormente, en forma tradicional, se especifican sus intervalos con base en una división de valor de riesgo más alto entre el número de clases, sin ningún criterio que lo justifique.

Existen varios métodos para la definición de los intervalos de cada clase, entre ellos los intervalos iguales, desviación estándar, intervalo geométrico, etcétera (Osaragi, 2002); los cuales se usan en forma indistinta y, más aún, se eligen subjetivamente. Sin embargo, es importante considerar que comparar diferentes clases de riesgo, o intervalos de clases puede resultar en diferencias operativas considerables en relación a la ubicación y dimensionamiento de esas clases.

De acuerdo con esto, el objetivo del presente trabajo fue hacer un análisis comparativo entre dos clasificaciones del número de incendios: tres [bajo, medio y alto] y cinco [muy bajo, bajo medio, alto y muy alto]; las clases se definieron en función de diferentes alternativas de división de los intervalos (intervalo equivalente, rupturas naturales, intervalo geométrico e intervalos por cuantiles). Con base en esto, se propone

un proceso objetivo para definir el número de intervalo de clases (de número de incendios) en cartografía de riesgo de incendios forestales. De tal manera que, al usar el mismo criterio de clasificación se podrán comparar mapas de riesgo de diferentes regiones. La propuesta se ejemplifica con información georreferenciada sobre riesgo, que se define en relación a la ocurrencia de incendios forestales en el estado de Jalisco.

## 1.1. NÚMERO DE CLASES DE RIESGO

En forma práctica, se define como riesgo a la probabilidad de que se inicie un incendio forestal (Flores, 2017) y para su determinación se usan varios criterios: la cercanía a caminos, la ocurrencia de incendios, las causas, etcétera. A cada uno de ellos, se le asigna una serie de ponderaciones que, al integrarlas, determinan cierto valor de riesgo de incendio forestal en un lugar en particular. Posteriormente, y debido a limitaciones presupuestales, se establecen áreas prioritarias de atención para lo cual se define un número de clases de riesgo específico y se generan mapas que representan su distribución espacial. Sin embargo, es importante remarcar que la especificación del número de clases de riesgo depende de que ilustren con el suficiente detalle la variación espacial del riesgo de incendios forestales. Por ello, se busca un punto de equilibrio entre un número muy bajo de clase, que no permita detallar adecuadamente el comportamiento del riesgo en el espacio, y uno muy alto que dificulte ubicar y dimensionar a cada una de las clases. Esto se define, generalmente, con base en aspectos perceptivos, así como en relación a la experiencia de quien está a cargo de interpretar la información. Así, se especifican, sin ningún soporte estadístico, tres, cuatro, cinco o más clases de riesgo de incendios forestales; por ejemplo: a) alto, medio y bajo (Atienza *et al.*, 2012; Sevillano *et al.*, 2015); b) muy alto, alto, moderado, bajo (Jaiswal *et al.*, 2002); c) se añaden otras categorías extremas, como riesgo nulo y riesgo extremo (Julio, 1990), o muy bajo y muy alto (IDEAM, 2011). De igual manera, para la definición de mapas de índice de riesgo se pueden adoptar otros índices de determinación de riesgo: a) canadiense: bajo, moderado, alto, muy alto y extremo (Burriel *et al.*, 2006); b) australiano: bajo, moderado, alto, muy alto y extremo (Dowdy *et al.*, 2009); c) americano: bajo, moderado, alto, muy alto y severo (Jolly *et al.*, 2019); brasileño: nulo, pequeño, medio, alto y muy alto (Ziccardi *et al.*, 2020).

## 1.2. INTERVALOS DE CLASE

Una vez que se define el número de clases de riesgo, se debe determinar el criterio para establecer los intervalos de cada una de ellas. Aunque se sigan procesos específicos, los intervalos se seleccionan de varias formas, lo cual implica que se pueden

tener diferentes intervalos de clasificación para una misma área. La clasificación de dichos procesos es factible realizarla con una perspectiva matemática o estadística (Robinson, 1975); pero, generalmente se determinan bajo criterios empíricos (Evans, 1977). A su vez, estos se subdividen en exógenos y los determinados a partir de su distribución espacial (Evans, 1977). No obstante, el enfoque tiende a ser, más bien, arbitrario con límites fáciles de identificar, sin considerar la distribución original de los datos (Evans, 1977).

En general, se usan procesos de carácter práctico, por ejemplo: 1) dividir matemáticamente entre el número de clases por establecer el intervalo de los valores de riesgo (Conafor, 2010; Castillo *et al.*, 2012); 2) definir la distribución de frecuencia de los valores de riesgo, con lo que la superficie correspondiente a la primera clase de prioridad corresponde a la mitad de la superficie de la segunda clase de prioridad, y está a la mitad de la tercera clase (1/7, 2/7 y 4/7 del total, respectivamente) (Julio, 1990); y 3) a partir de la amplitud de los valores de riesgo generados, seguido de la implementación de la siguiente ecuación (IDEAM, 2011):

$$\text{Amplitud del rango} = \frac{[Max1 - Min1]}{N}$$

Dónde: **Min1** = Valor mínimo normalizado del factor en toda el área de estudio; **Max1** = Valor máximo normalizado presentado por el factor en toda el área de estudio; **N** = Número total de datos de cada factor. Cabe destacar que, en ningún caso se utiliza un soporte estadístico para la definición del intervalo de las clases de riesgo.

### 1.3. TÉCNICAS DE CLASIFICACIÓN

Al fijar los intervalos de las clases con los que se clasificará la información en el mapa de riesgo de incendio, primeramente, se debe examinar la distribución espacial de los datos, debido a que se pueden presentar las siguientes situaciones (Osaragi, 2002): a) omitir la naturaleza de los datos; b) pérdida de datos, cuando se clasifican los valores numéricos y se representan en mapas para su entendimiento visual; y c) como consecuencia de los puntos anteriores, es posible hacer una mala interpretación de la realidad. Más aún, se debe considerar la propagación de la imprecisión generada mediante los procesos de elaboración de mapas con diferentes clases (Goodchild *et al.*, 1992). Además, se busca especificar el mejor arreglo de valores entre las diferentes clases; en general, se pretenden dos condiciones (Jenks y Coulson, 1963; Jenks 1967): a) que los valores dentro de las clases definan la menor variabilidad; y b) que se logre la mayor variabilidad entre las clases consideradas. De acuerdo a lo anterior, se tienen los siguientes esquemas de clasificación:

**Intervalo equivalente o intervalos iguales.** Método que divide el intervalo de valores de atributo en un subintervalo del mismo tamaño (Olaya, 2014); se recomienda su empleo cuando la gama de datos es conocida, por ejemplo: porcentajes o datos de temperatura. Se puede utilizar, si se quiere enfatizar la cantidad de un valor, con respecto a los otros valores (Osaragi, 2002). Sin embargo, tiene la desventaja de que hay diferente número de elementos dentro de cada clase (unas con muchos y otras con pocos). Esto es relevante, ya que se pueden tener elementos con valores atípicos que desvirtúan el significado del máximo y el mínimo, al definir la amplitud de cada clase (Olaya, 2014).

**Rupturas naturales.** Método que se basa en el algoritmo de ruptura natural de Jenks (Jenks, 1967), en el que se identifican puntos de interrupción o patrones de grupos propios de los datos. La separación de la clasificación se divide en clases, cuyos límites se establecen donde hay saltos, relativamente, grandes en los valores (Osaragi, 2002). De esta forma, se pretende definir clases lo más homogéneas posibles, a través de la disminución de la varianza dentro de cada una, con ello se definen clases bien diferenciadas entre sí (Olaya, 2014).

**Intervalo geométrico o intervalos de progresión.** Herramienta, diseñada específicamente para acomodar datos continuos, con la que se determinan las clases creando rupturas en los intervalos de clase que tienen una serie geométrica. Para optimizarlos, este coeficiente puede cambiar una vez a su inverso; así, el algoritmo genera intervalos geométricos al minimizar la suma de cuadrados del número de elementos de cada clase y se garantiza que cada intervalo de clases tenga, aproximadamente, el mismo número de valores; y que el cambio entre intervalos sea coherente (Olaya, 2014).

**Intervalos por cuantiles.** A partir de una base de datos, la mediana se divide en dos partes iguales, o bien en más porciones, llamadas cuantiles (cuartiles, quintiles, deciles y percentiles), donde todas las clases contienen el mismo número de elementos. Por ejemplo, al definir cuartiles, los datos se dividen en cuatro clases con igual número de elementos, cuyos límites se ubican en los percentiles 25, 50 y 75. El método es aplicable con valores con distribución lineal (Osaragi, 2002).

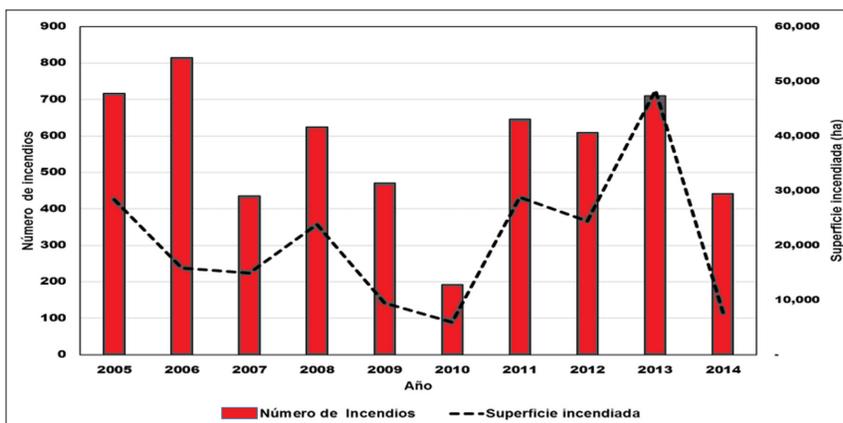
## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. ÁREA DE ESTUDIO

El presente trabajo se desarrolló utilizando información del estado de Jalisco, el cual se ubica en el centro occidente de México, con una superficie de 78 588 km<sup>2</sup>, donde 68 % del área presenta clima cálido subhúmedo a lo largo de la costa y zona centro. Mientras que, en 18 % es templado subhúmedo en las partes altas de las sierras y 14

% seco y semiseco en el norte y noreste. A nivel nacional, la entidad ocupa el décimo lugar, por el número de incendios forestales registrados, y el cuarto lugar en superficie afectada. En promedio, cada año se queman alrededor de 22 000 ha (Figura 2), que corresponden a 570 incendios anuales, con un promedio por incendio de 30 ha. El tipo de vegetación más dañado es el pastizal, con casi 12 000 ha en promedio por año; le siguen las áreas forestales con arbustos y matorrales, con alrededor de 8 500 ha anuales; y la superficie quemada con presencia de arbolado adulto asciende, en promedio, a 1 100 ha (Conafor, 2015).

Figura 2. Número de incendios forestales y superficie afectada durante el periodo 2005-2014, en el estado de Jalisco, México.



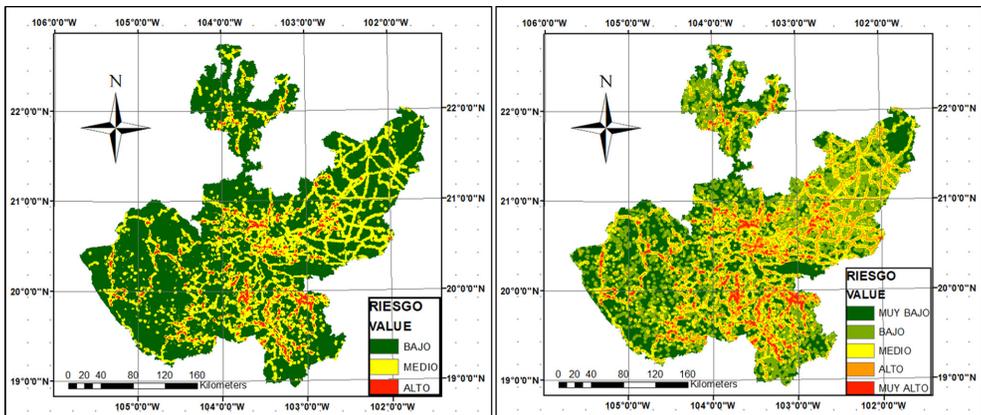
## 2.2. RIESGO DE INCENDIO

Para ubicar y dimensionar las áreas prioritarias de atención contra incendios forestales, se analizan factores como la topografía, actividades agropecuarias, modelos de combustibles, historial de ocurrencia de incendios, etcétera (Vilchis *et al.*, 2015). Con base en ellos, se elabora la cartografía de áreas de atención prioritaria, para ubicar las acciones preventivas pertinentes, bajo el correspondiente plan de manejo (Calkin *et al.*, 2014). En México, esas áreas se localizan y dimensionan en función de la determinación de criterios de riesgo, peligro y valor (Conafor, 2010). El concepto de riesgo, en forma práctica, se refiere a la probabilidad de que se produzca un incendio forestal en una zona y en un periodo dado (Hardy, 2005); Lo cual depende de varios factores (Julio, 1990; Conafor, 2010; Rodríguez *et al.*, 2011), que a su vez, se dividen en una serie de variables que reciben una ponderación determinada (Cuadro 1). A partir de ellas, se determinó la variación espacial de las valoraciones de riesgo en el estado de Jalisco (Figura 3).

Cuadro 1. Criterios de ponderación para determinar el riesgo de incendios forestales (Conafor, 2010).

Factor	Variable	Criterio	Ponderación
Poblados	Cercanía	0 – 500 m	4
		500 – 1000 m	3
		1000 – 1500 m	2
		1500 – 2000 m	1
	Densidad	> 50000 habitantes	2
		< 50000 habitantes	1
Caminos	Cercanía	0 – 500 m	4
		500 – 1000 m	3
		1000 – 1500 m	2
		1500 – 2000 m	1
	Tipo	Terracería	2
	Pavimentado	1	
Ocurrencia histórica de incendios	Cercanía	0 – 500 m	3
		500 – 1000 m	2
		1000 – 21500 m	1
	Causas	- Actividades agropecuarias, fumadores, fogatas	4
		- Actividades forestales, cazadores, limpia de caminos, desconocidas	3
- Otras actividades productivas, quema en basureros, litigios, descargas eléctricas		2	
	- Aprovechamientos, ferrocarril, otros	1	

Figura 3. Distribución espacial del riesgo de incendios forestales en el estado de Jalisco, considerando tres y cinco clases.



### 2.3. NÚMERO DE INTERVALOS

El mapa de riesgo de incendios forestales (Figura 3) se definió a escala estatal, por lo que se estructuró con base en una resolución de píxeles de  $120 \times 120$  m, a cada uno de los cuales se le asignó un valor de riesgo. La frecuencia de estos valores se presenta en la Figura 4, cuya distribución tiende a la normalidad, con una media de 5.102 y una varianza de 3.929. Mientras que la mayoría de los píxeles con riesgo se ubican entre los valores 3 y 10, además de que se tuvieron pocos píxeles con valores altos de riesgo. A partir de esa distribución, se procedió a la definición de tres y cinco clases, ya que son las más usadas (IDEAM, 2011; Atienza *et al.*, 2012; Sevillano *et al.*, 2015), cuyos intervalos se definieron con los siguientes métodos: a) Intervalos iguales (II); b) Cuantiles (Q); c) Rupturas naturales (QN); y d) Intervalos geométricos (IG). Posteriormente, se hizo un análisis comparativo (ANOVA) entre métodos, para cada clase definida.

### 2.4. CRITERIO DE SELECCIÓN

Para definir el número de clases y el método más adecuado para establecer los intervalos correspondientes, primero se ubicaron al azar 1 000 sitios de validación (SV) a lo largo del estado de Jalisco. Alrededor de cada uno, se situó una superficie de 100 km<sup>2</sup> (Figura 5) que corresponde al denominado factor de riesgo de incendio (Flores, 2017; Flores y Macías, 2018), dentro ella se contó el número total de incendios forestales ocurridos en el período 2005-2014. De esta manera, se asoció una clase por sitio (SV) con el número de incendios contabilizados en el área de 100 km<sup>2</sup> de cada SV.

Figura 4. Frecuencia de los niveles de riesgo de incendios forestales derivados para el estado de Jalisco (México).

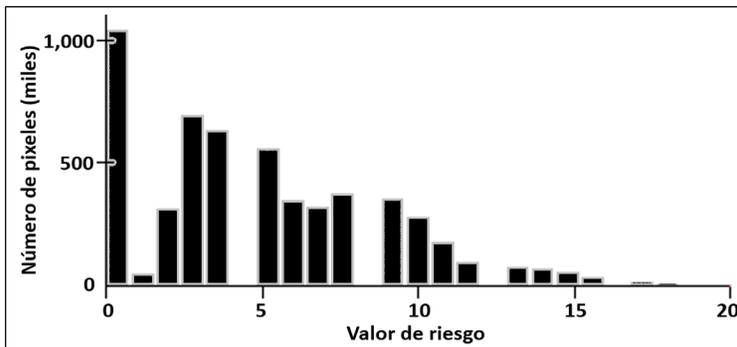
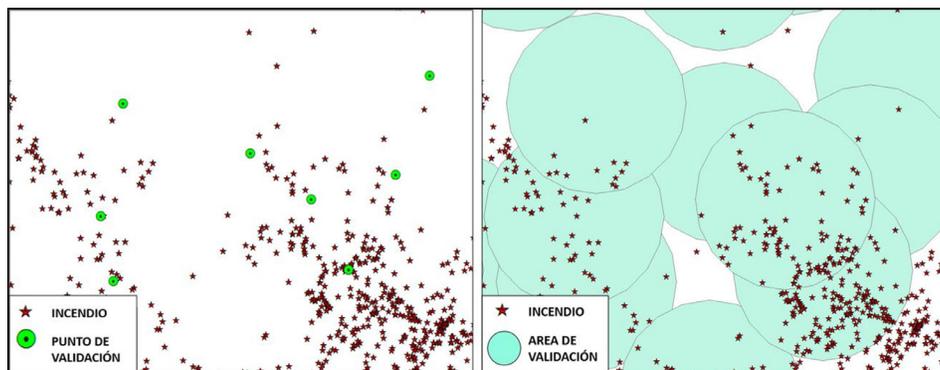


Figura 5. Detalle de la ubicación de los sitios (puntos) de validación y su correspondiente área de 100 km<sup>2</sup>, dentro del estado de Jalisco.



De acuerdo al método usado para definir los intervalos de clases (tres y cinco), cada uno de los SV fue identificado con una clase de riesgo, la cual pudo ser diferente de acuerdo al método de clasificación. Con los valores del número de incendios de cada SV correspondientes a una clase de riesgo se calculó la desviación estándar, como parámetro de comparación entre los diferentes métodos de clasificación. Finalmente, se elaboraron los mapas temáticos, con el propósito de hacer, visualmente, una comparación cualitativa de las diferencias y similitudes entre los métodos de clasificación probados.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

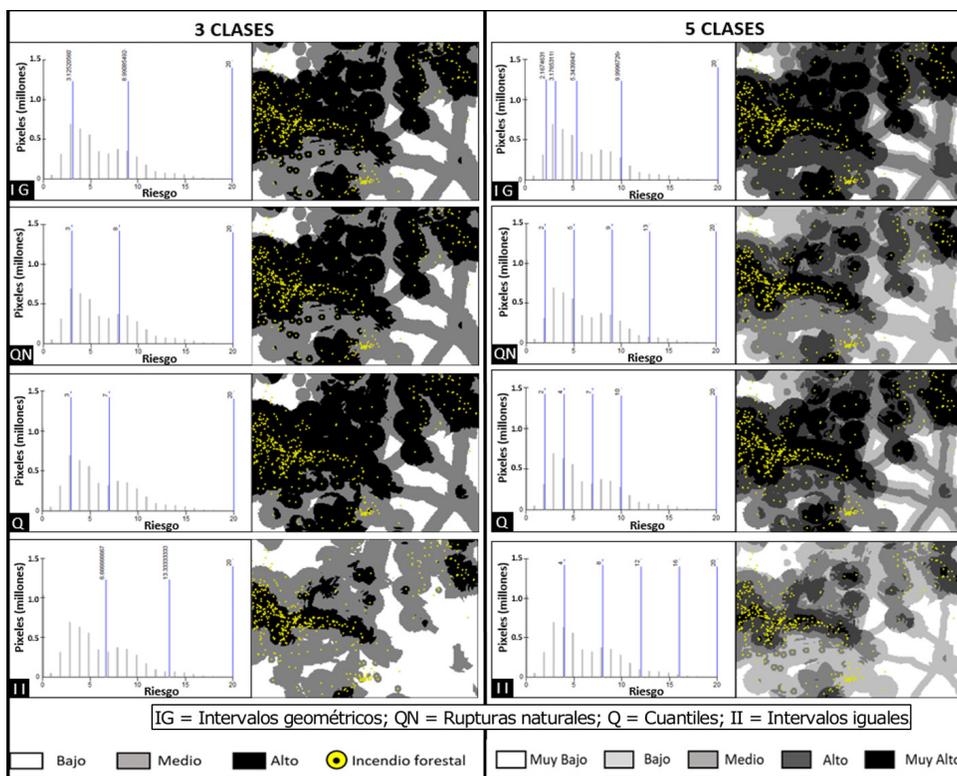
En la Figura 6 se presentan los mapas generados con los diferentes métodos de clasificación; en general, se observan similitudes entre algunos métodos. Sin embargo, es clara la diferencia que representa la distribución espacial de las clases de riesgo derivadas del método de intervalos iguales (II). Asimismo, se muestra la ubicación de los límites de cada intervalo, definidos por los métodos aplicados.

#### 3.1. INTERPRETACIÓN VISUAL

El análisis de los mapas correspondientes a tres clases de riesgo de incendio evidenció que no hay diferencia entre los generados con los métodos IG, QN y Q; además, tanto la definición de los límites de los intervalos como su implementación espacial en los mapas fueron muy similares. No obstante, es clara la diferencia entre el método II con los métodos IG, QN y Q, ya que se redujo el área de la clase Alto riesgo, la cual fue absorbida, mayormente, por la clase de riesgo Medio. Esto se aprecia en la distribución gráfica de los límites de cada una de las clases.

Por otra parte, los mapas que resultaron de considerar cinco clases, visualmente fueron muy diferentes, lo cual también se observó en las gráficas correspondientes a los límites de sus intervalos. Sin embargo, fue clara la similitud entre los mapas derivados de los métodos IG y Q, en los que las clases de riesgo Alto y Muy alto abarcaron una mayor superficie. Al igual que en el caso de las tres clases, el mapa generado con el método II tuvo la mayor diferencia. Aunque, es evidente la diferenciación entre las cinco clases, visualmente no se recomienda usar un número muy grande de clases, ya que se puede complicar la interpretación del mapa, al tratar de identificar la simbología de cada una de ellas, lo cual origina posibles equivocaciones (Olaya, 2014).

Figura 6. Detalle de la cartografía sobre la clasificación de riesgo de incendios forestales, generada con diferentes métodos y número de clases.



### 3.2. INCENDIOS POR CLASE DE RIESGO

Para caracterizar cada una de las clases de riesgo, se evaluó el número de incendios forestales presentes (Cuadro 2). Cuando se consideró la clasificación de solo tres clases, se observó para la clase 1 (riesgo Bajo) que el número de incendios fue el mismo, a excepción del método II que presentó un poco más del doble en comparación

con los otros. En referencia a la clase 2 (riesgo Medio), el comportamiento fue similar, a diferencia de lo obtenido con el método Q, con el cual solo se registró 84.5 % de los incendios ubicados con los métodos IG y QN. Por el contrario, en la clase 3 (riesgo Alto) con el método Q se obtuvo 6.54 % más incendios, en relación a IG y QN; mientras que, el II representó solo 43.3 % de incendios, en comparación con IG y QN.

En la clasificación de cinco clases, el método II resultó en 82.4 % más incendios en comparación a los otros métodos. En cuanto a la clase 2, se presentó variación en todos los casos, destacó una diferencia de 390.3 % entre el número de incendios más bajo (IG) y el más alto (II). Las clases 3 y 4 fueron más similares en su número de incendios. Mientras que, en la clase 5 los métodos IG y Q resultaron en cantidades muy similares, aunque QN y II tuvieron 48.89 y 12.46 %, respectivamente del máximo registrado para la clase IG, con 2 720 incendios. La superficie promedio por incendio fue muy similar entre los métodos, al comparar las clases en la clasificación de tres intervalos; aunque los métodos Q y II presentaron valores menores. En referencia a la clasificación de cinco clases, en general, no hubo una tendencia definida, pero con II se obtuvieron los menores valores en todas las clases, excepto en la clase 1. Los valores más altos variaron por método en cada una de las cinco clases.

Cuadro 2. Variación del número total de incendios (A), hectáreas promedio por incendio (B) y número de sitios de validación (C), por clase y método de definición de intervalos.

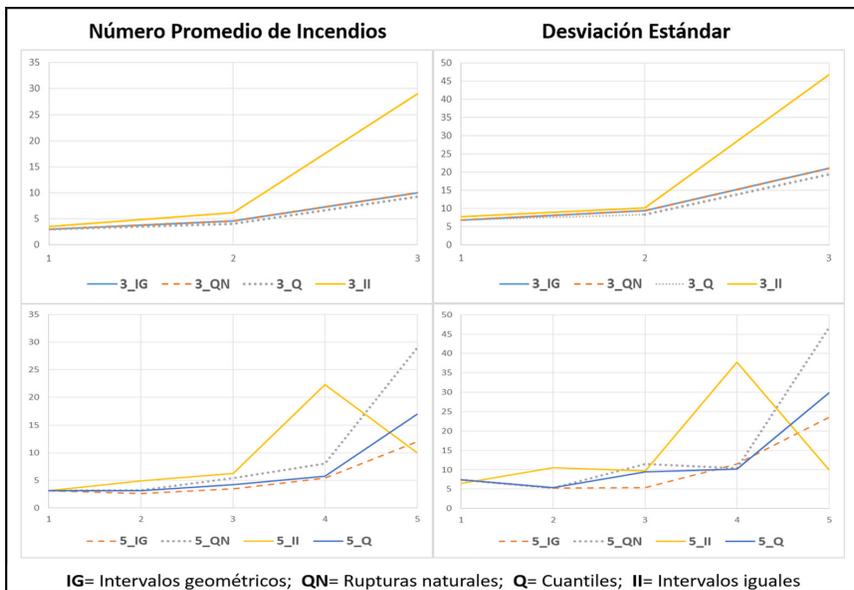
Clase		3-IG	3-QN	3-Q	3-II	5-IG	5-QN	5-II	5-Q
1	A	429	429	429	952	296	296	540	296
	B	7.00	7.00	7.00	5.48	6.79	6.79	7.24	6.79
	C	378	378	378	677	256	256	505	256
2	A	1317	1317	1116	2535	133	442	1206	244
	B	2.43	2.43	2.39	0.94	7.46	6.12	1.90	7.79
	C	424	424	355	294	122	349	297	249
3	A	3071	3071	3272	1330	309	1359	1450	1005
	B	0.54	0.54	0.67	0.20	5.53	1.47	0.89	1.75
	C	197	197	266	28	227	246	149	228
4	A					1359	1390	1282	993
	B					1.47	0.64	0.26	1.45
	C					246	120	46	183
5	A					2720	1330	339	2279
	B					0.42	0.20	0.09	0.33
	C					148	28	2	83

IG= Intervalos geométricos; QN= Rupturas naturales; Q= Cuantiles; II= Intervalos iguales

### 3.3. VARIABILIDAD ENTRE CLASES

Dado que en la definición de clases de riesgo se busca la existencia de una suficiente variabilidad entre las clases, en la Figura 6 se observa que cuando se usaron solo tres clases, la variabilidad (desviación estándar) fue prácticamente la misma entre las clases definidas con los métodos IG, QN y Q. No obstante, al considerar todos los métodos hubo un ligero incremento de la variabilidad al comparar las clases 1 y 2. La clase 3 (riesgo Alto) se diferencia ampliamente en el caso del método II; esto coincide con la interpretación visual de los mapas (Figura 5), en la cual fue clara la diferencia en la distribución y amplitud de las clases resultantes de la aplicación del método II. Por otra parte, cuando se consideró el número promedio de incendios (Figura 7) correspondiente a cada clase, el comportamiento observado fue muy similar.

Figura 7. Variación del número de incendios promedio y de la desviación estándar, por cada una de las clases de riesgo de incendio forestal.



Al utilizar cinco clases (Figura 6), la variabilidad entre los cuatro métodos fue prácticamente la misma. Sin embargo, para la clase 2 de riesgo el método II definió una mayor desviación estándar; mientras que, los otros métodos presentaron una variabilidad similar. A partir de la clase 3 (riesgo Medio) se observó una mejor diferenciación en la variabilidad entre los cuatro métodos.

En la clase 4 (riesgo Alto) sobresalió, notablemente, la variabilidad resultante del método II, mientras que con el resto de los métodos la variabilidad fue muy similar y

mucho menor. Finalmente, en la clase 5 (riesgo Muy alto) se evidenció una clara diferencia entre la variabilidad de todos los métodos. De acuerdo a lo anterior, al igual que en el caso de las tres clases, el método que mejor diferenciación generó, en la variabilidad entre sus clases, fue el II, seguido de QN. Por otra parte, en relación al número de incendios promedio por clase y definidos por cada método, se observó una ligera variación entre las primeras tres clases, considerando todos los métodos. Esta tendencia también se presentó en la clase 4, pero solo con los métodos IG, QN y Q, ya que con el método II se obtuvo un mayor número de incendios. Respecto a la clase 5, se registró una diferencia más clara al comparar el número de incendios entre los cuatro métodos.

Estos resultados sugieren usar, primeramente, cinco clases en lugar de tres. El método de intervalos iguales (II) fue el mejor para definir los límites entre clases. De acuerdo con ello, el número de clases debe asegurar (Olaya, 2014): a) que no sea tan pequeño, que resuma en exceso la información; b) que permita tener un detalle adecuado de la variación espacial de la variable en estudio; y c) que no sea demasiado grande, para evitar los problemas que aparecían en el caso de no dividir los valores en clases. En general, se sugiere no utilizar más de ocho clases (Olaya, 2014).

Como se señaló, uno de los propósitos al seleccionar el intervalo de cada una de las clases consiste en garantizar una diferencia estadísticamente significativa; de esta forma, los ANOVAS resultantes (Cuadro 3) de la comparación de cada una de las clases respaldaron lo analizado en la Figura 6. Por ejemplo, en la clase 1, de la clasificación de tres clases, no se apreció diferencia entre los métodos usados, lo cual se ratificó con la probabilidad resultante ( $p= 0.4430911$ ) que implicó la inexistencia de diferencia estadísticamente significativa. Mientras que en las clases 2 y 3, si se registró una diferencia significativa entre los métodos.

Cuadro 3. Resultados de los ANOVA al comparar cada una de las clases definidas con los diferentes métodos de delimitación de intervalos.

Número de clases	Clase	F	Probabilidad	Valor crítico para F
3	1	0.89481466	0.443091101	2.609832328
3	2	3.18112253	0.023160437	2.61087455
3	3	6.90044144	0.000139627	2.617925093
5	1	0.00021454	0.999995655	2.61193174
5	2	4.73216689	0.0027658	2.613689205
5	3	3.3029531	0.019820786	2.615426601
5	4	18.0573828	3.18473E-11	2.619980452
5	5	2.85170654	0.037876469	2.63972568

Por otra parte, en el caso de la clasificación con cinco intervalos, a excepción de la clase 1, el resto de las clases resultaron con diferencia estadísticamente significativa, al comparar los métodos.

Finalmente, se resalta la falta de trabajos recientes similares, por lo que no fue posible realizar un análisis comparativo de los resultados obtenidos. Esto implica que desde el estudio de Jenks (1967), poco se ha investigado sobre la definición de un proceso analítico para la selección del número de clases y del método más apropiado para la delimitación de los intervalos de esas clases, que conlleven a realizar una adecuada clasificación del riesgo de incendios forestales. Lo anterior permitirá tener bases estadísticas para una mejor ubicación o dimensionamiento de las clases de riesgo de incendio forestal.

#### 4. CONCLUSIONES

Los resultados sugieren que el método de intervalos iguales (II) es el más indicado para definir los intervalos de clase de riesgo de incendios. Ya que, en el caso de usar tres clases, aunque no hay diferencia en las clases 1 y 2, si es clara su mayor variabilidad en la clase 3. La variabilidad por clase con el resto de los métodos es prácticamente la misma. En el caso de emplear cinco clases, el método II presenta una variabilidad diferente en las clases 2, 4 y 5. En este caso, un método alternativo es el de IG, ya que presenta una diferenciación en su variabilidad en las clases 3 y 5.

Referente al número de clases, los resultados sugieren que existe una mayor diferenciación entre las clases, cuando se utilizan cinco clases; incluso esta se observa a partir de la clase 2 y es más evidente en la clase 5, en la cual todos los métodos presentan una variabilidad diferente en el número de incendios.

Por la definición de riesgo de incendio forestal, como lo muestran los resultados, se espera un mayor número de ellos en las clases de más riesgo, aunque es importante señalar que hubo poca variación en las primeras tres categorías de riesgo.

Es relevante destacar que, los resultados obtenidos en este trabajo no pueden estandarizarse para todas las situaciones de la definición de riesgo de incendios forestales. No obstante, el proceso metodológico que aquí se presenta es aplicable en futuras investigaciones cuyo objetivo sea definir tanto el número de clases de riesgo, como los límites de los intervalos de cada clase, y con ello dejar de usar clasificaciones subjetivas. Más aún, se sugiere probar variaciones en intensidades y formas de sitios de validación, así como otros números de clases.

## 5 BIBLIOGRAFÍA

Atienza H., J., P. Muñoz A. y P. Balladares S. 2012. Determinación de prioridades de protección contra incendios forestales en la región de Valparaíso, Chile. *Revista Cartográfica*, (88): 147-82.

Ávila F., D. Y., M. Pompa G. y E. Vargas P. 2010. Análisis espacial de la ocurrencia de incendios forestales en el estado de Durango. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 16 (2): 253-260.

Burriel M., J. A., F. X. Castro D., T. Mata B., D. Montserrat A., E. Gabriel de F. y J. J. Ibáñez I. M. 2006. La mejora del mapa diario de riesgo de incendio forestal en Cataluña. In: XII Congreso Nacional de Tecnologías de la Información Geográfica. Granada. 20 de septiembre de 2006. Editorial Universidad de Granada. Santa Perpetua de Moguda, España. pp. 651-666.

Calkin, D. E., J. D. Cohen, M. A. Finney and M. P. Thompson. 2014. How risk management can prevent future wildfire disasters in the wildland-urban interface. *PINAS*, 11(2): 746-751.

Carrillo G., R. L., D. A. Rodríguez T., H. Tchikoué, A. I. Monterroso R. y J. Santillán P. 2012. Análisis espacial de peligro de incendios forestales en Puebla, México. *INTERCIENCIA*, 37(9): 678-683.

Castillo S., M., R. Garfías S., G. Julio A. y L. González R. 2012. Análisis de grandes incendios forestales en la vegetación nativa de Chile. *INTERCIENCIA*, 37(11): 796-804.

Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2010. Procedimiento para elaboración de un mapa de áreas de atención prioritaria contra incendios forestales. Comisión Nacional Forestal. Zapopan, Jal., México. pp. 9-11.

Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2015. Reportes semanales de resultados de incendios forestales. Información de cierre de estadísticas de incendios forestales del 2007 al 2015. Comisión Nacional Forestal. <https://snigf.cnf.gob.mx/incendios-forestales/> (29 de mayo de 2020).

Comisión Nacional Forestal (Conafor). 2025. Estadísticas de incendios forestales desde 1970 al 2024 en Números. Comisión Nacional Forestal. <https://snif.cnf.gob.mx/incendios/> (8 de julio de 2025).

de la Riva, J., F. Pérez-Cabello, N. Lana-Renault and N. Koutsias. 2004. Mapping wildfire occurrence at regional scale. *Remote Sensing of Environment*, (92): 288-294.

de Torres C., M., L. Ghermandi y G. Pfister. 2008. Los incendios en el noroeste de la Patagonia: su relación con las condiciones meteorológicas y la presión antrópica a lo largo de 20 años. *Ecología Austral*, 18(2): 153-167.

Dowdy, A. J., G. A. Mills, K. Finkle and W. de Groot. 2009. Australian fire weather as represented by the McArthur Forest Fire Danger Index and the Canadian Forest Fire Weather Index. The Centre for Australian Weather and Climate Research. Melbourne, Australia. 84 p.

Evans, I. 1977. The selection of class intervals. *Institute of British Geographers, Transactions (New Series)*, 2(1): 98-124.

Flores G., J. G. 2017. Unidad de muestreo para determinar la variabilidad espacial de la superficie quemada por incendios forestales. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 8(43): 117-142.

Flores G., J. G. and A. Macías M. 2018. Bandwidth selection for kernel density estimation of forest fires. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 24(3): 313-327.

- Goodchild, M. F., S. Guoqing and Y. Shiren 1992. Development and test of error model for categorical data. *International Journal of Geographical Information Systems*, 6(2): 87-104.
- Hardy, C. C. 2005. Wildland fire hazard and risk: Problems, definitions, and context. *Forest Ecology and Management*, 211: 73-82.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM). 2011. Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal. Colombia. 109 p.
- Jaiswal, R. K., S. Mukherjee, K. D. Raju and R. Saxena 2002. Forest fire risk zone mapping from satellite imagery and GIS. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, (4): 1-10.
- Jenks, G. F. and M. Coulson. 1963. Class intervals for statistical maps. *International Yearbook of Cartography*, 4(3): 119-134.
- Jenks, G.F. 1967. The data model concept in statistical mapping. *International Yearbook of Cartography*, 7: 186-190.
- Jolly, W. M., P. H. Freeborn, W. G. Page and B. W. Butler. 2019. Severe Fire Danger Index: A Forecastable Metric to Inform Firefighter and Community Wildfire Risk Management. *Fire*, 2(47): 2-24.
- Julio A., G. 1990. Diseño de índices de riesgo de incendios forestales para Chile. *Bosque*, 11(2): 59-72.
- Kuter, N., F. Yenilmez and S. Kuter. 2011. Forest fire risk mapping by kernel density estimation. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 32(2): 599-609.
- Magaña T., S. O. y F. C. Romahn V. 1987. Determinación del índice de peligro de incendio forestal para Tlahuapan, Puebla. *Ciencia Forestal*, 12: 58- 67.
- Mildrexler, D., Z. Yang, W. B. Cohen and D. M. Bell. 2016. A forest vulnerability index based on drought and high temperatures. *Remote Sensing of Environment*, 173: 314-325.
- Mohammadi, F., M. R. Bavaghar and N. Shabaniyan 2014. Forest fire risk zone modeling using logistic regression and GIS: an Iranian case study. *Small-scale Forestry*, 13: 117-125.
- Olaya, V. 2014. *Sistemas de información geográfica*. CreateSpace Independent Publishing Platform. Madrid, España. 854 p.
- Osaragi, T. 2002. *Classification methods for spatial data representation*. Center for advanced spatial analysis (CASA). University College London. London, United Kingdom. Working Paper Series No. 40. 19 p.
- Pan, J., W. Wang and J. Li, 2016. Building probabilistic models of fire occurrence and fire risk zoning using logistic regression in Shanxi Province, China. *Natural Hazards*, 81: 1879-1899.
- Pérez V., L. Márquez, O. Cortés y M. Salmerón 2013. Análisis espacio-temporal de la ocurrencia de incendios forestales en Durango, México. *Madera y Bosques*, 19(2): 37-58.
- Robinson, A. H. and B. B. Petchenik 1975. The Map as a communication system. *Cartographic Journal*, (12): 7-15.
- Rodríguez, T., D. A., C. Tchikoué, C. Cíntora G., R. Contreras A. y A. de la Rosa V. 2011. Modelaje del peligro de incendio forestal en las zonas afectadas por el huracán Dean. *Agrociencia*, 45(5): 593-608.

Rojo, M., P. Santillán, M. Ramírez y B. Arteaga M. 2001. Propuesta para determinar índices de peligro de incendio forestal en bosque de clima templado en México. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 7(1): 39-48.

Salvati, L. and A. Ferrara 2015. Validation of MEDALUS Fire Risk Index using Forest Fire Statistics through a multivariate approach. *Ecological Indicators*, 48: 365-369.

Sevillano, M. E., O. A. Toro y P. A. Ruiz 2015. Aplicación de SIG al análisis de riesgo pro incendios forestales en el municipio de Yotoco Colombia, 2014. 2015. In: *Memorias de resúmenes en extenso SELPER-XXI-México-UACJ-2015*. 12-16 de octubre de 2015. Ciudad Juárez, Chih., México. pp. 12-16.

Torres R., J. M., O. S. Magaña T. y G. A. Ramírez F. 2007. Índice de peligro de incendios forestales de largo plazo. *Agrociencia*, 41(6): 663-674.

Vega-Nieva, D., J. Briseño-Reyes, M. Nava-Miranda, E. Calleros-Flores, P. López Serrano, J. Corral-Rivas, E. Montiel-Antuna, M. I. Cruz-López, M. Cuahutle, R. Ressler, E. Alvarado-Celestino, A. González-Cabán, E. Jiménez, J. Álvarez-González, A. Ruiz González, R. Burgan and H. Preisler. 2018. Developing Models to Predict the Number of Fire Hotspots from an Accumulated Fuel Dryness Index by Vegetation Type and Region in Mexico. *Forests*, 9(4): 190.

Vilar, H. L., M. P. Martín I. and F. J. Martínez V. 2011. Logistic regression models for human-caused wildfire risk estimation: analyzing the effect of the spatial accuracy in fire occurrence data. *European Journal of Forest Research*, 130: 983-996.

Vilchis, F., A. Y., C. Díaz D., D. Magaña L., K. M. Bá y M. A. Gómez A. 2015. Modelado espacial para peligro de incendios forestales con predicción diaria en la cuenca del río Balsas. *Agrociencia*, 49(7): 803-820.

Villers R., L. y J. López B. 2004. Comportamiento del fuego y evaluación del riesgo por incendios en las áreas forestales de México: un estudio en el Volcán la Malinche. In: Villers R., L. y J. López B. (eds.). *Incendios forestales en México. Métodos de evaluación*. Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM. México, D.F., México. pp. 57-74.

Yeguez, M. y M. Ablan. 2012. Índice de riesgo de incendio forestal dinámico para la cuenca alta del río Chama. *Revista Forestal Venezolana*, 56(2): 127-134.

Ziccardi, L., C. R. Thiersch, A. Miho Y., P. Fearnside and P. J. Ferreira F. 2020. Forest fire risk indices and zoning of hazardous areas in Sorocaba, São Paulo state, Brazil. *Journal of Forestry Research*, 31(2): 581-590.

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

## ÍNDICE REMISSIVO

### 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