

VOL VIII

Estudos em Ciências Agrárias e Ambientais

Eduardo Spers
(Organizador)



EDITORA
ARTEMIS

2026

VOL VIII

Estudos em Ciências Agrárias e Ambientais

Eduardo Spers
(Organizador)



EDITORA
ARTEMIS

2026



O conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição Creative Commons Atribuição-Não-Comercial NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0). Direitos para esta edição cedidos à Editora Artemis pelos autores.

Permitido o download da obra e o compartilhamento, desde que sejam atribuídos créditos aos autores, e sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

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

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

Conselho Editorial

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



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

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

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

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

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

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

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

Prof.^a Dr.^a Emilias Darlene Carmen Lebus, *Universidad Nacional del Nordeste*, Argentina

Prof.^a Dr.^a Erla Mariela Morales Morgado, *Universidad de Salamanca*, Espanha

Prof. Dr. Ernesto Cristina, *Universidad de la República*, Uruguay

Prof. Dr. Ernesto Ramírez-Briones, *Universidad de Guadalajara*, México

Prof. Dr. Fernando Hitt, *Université du Québec à Montréal*, Canadá

Prof. Dr. Gabriel Díaz Cobos, *Universitat de Barcelona*, Espanha

Prof.^a Dr.^a Gabriela Gonçalves, Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Portugal

Prof.^a Dr.^a Galina Gumovskaya – Higher School of Economics, Moscow, Russia

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

Prof.^a Dr.^a Gladys Esther Leoz, *Universidad Nacional de San Luis*, Argentina

Prof.^a Dr.^a Glória Beatriz Álvarez, *Universidad de Buenos Aires*, Argentina

Prof. Dr. Gonçalo Poeta Fernandes, Instituto Politécnico da Guarda, Portugal

Prof. Dr. Gustavo Adolfo Juarez, *Universidad Nacional de Catamarca*, Argentina

Prof. Dr. Guillermo Julián González-Pérez, *Universidad de Guadalajara*, México

Prof. Dr. Håkan Karlsson, *University of Gothenburg*, Suécia

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

E82 Estudos em Ciências Agrárias e Ambientais VIII [livro eletrônico] / Organizador Eduardo Eugênio Spers. – 1. ed. – Curitiba, PR: Editora Artemis, 2026.
il. color.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Edição bilíngue.

Inclui bibliografia.

ISBN 978-65-82858-32-1

DOI 10.37572/EdArt_250926321

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

CDD 630

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422



PRÓLOGO

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

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

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

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

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

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

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

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

Boa leitura!

Eduardo Eugênio Spers

SUMÁRIO

TERRITÓRIO, MUDANÇAS AMBIENTAIS E CONSERVAÇÃO

CAPÍTULO 1..... 1

VULNERABILITY DUE TO RISING SEA LEVELS IN THE COLOMBIAN CARIBBEAN

Johan Andrés Avendaño Arias

Leonardo Santana Bohorquez

Ivan Dario Camacho Puerto

Gustavo Enrique Ramírez Gómez

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2509263211

CAPÍTULO 2..... 33

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

Elkis Peñaranda Pinto

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2509263212

CAPÍTULO 3..... 50

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

Fernando Mohedano López

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2509263213

SOLO, BIODIVERSIDADE E AGROECOSSISTEMAS SUSTENTÁVEIS

CAPÍTULO 4..... 65

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

Benigno Rivera-Hernández

José Jesús Obrador-Ólán

Eustolia García-López

José Francisco Juárez-López

Eugenio Carrillo-Ávila

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2509263214

CAPÍTULO 5..... 81

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

Sud Sair Sierra

Raúl Hernando Posada

Johanna Santamaría

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2509263215

CAPÍTULO 6..... 108

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

Iván Hernández Portillo

Yadira Cornejo Silva

María Yolanda Ríos Gómez

Ramiro Ríos Gómez

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2509263216

CAPÍTULO 7..... 115

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

Guadalupe Minerva Torres Alfaro

María Nancy Herrera-Moreno

Jesús Alicia Chávez-Medina

Kalina Bermúdez Torres

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2509263217

PRODUÇÃO SUSTENTÁVEL, MANEJO E ORGANIZAÇÃO DOS SISTEMAS PRODUTIVOS

CAPÍTULO 8..... 120

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

Eliecer Miguel Cabrales Herrera

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2509263218

CAPÍTULO 9.....139

THE GREAT UNKNOWN: USE OF LIVE FOOD IN AQUACULTURE

Marco Polo Franco Archundia

Héctor Eduardo Franco-Cotero

Jimena Ramos

Luis Ángel Fabro-Leal

Fátima Getsemaní Osorio-Arce

 https://doi.org/10.37572/EdArt_2509263219

CAPÍTULO 10 150

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

Marco André de Almeida Fernandes

Gustavo Paixão

Joaquim Lima Cerqueira

José Pedro Araújo

 https://doi.org/10.37572/EdArt_25092632110

CAPÍTULO 11.....167

REMATE GANADERO DE PEQUEÑOS PRODUCTORES: MÉTODO DE EVALUACIÓN FODA

Félix Cavour Ferrari

María Elena Fretes

José Braulio Silvero

 https://doi.org/10.37572/EdArt_25092632111

ECONOMIA CIRCULAR, TRANSFORMAÇÕES AMBIENTAIS E HISTÓRIA DA AGRICULTURA

CAPÍTULO 12 175

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

Marina Imelda Terrazas Gómez

Luisa Patricia Uranga Valencia

Sandra Pérez Álvarez

Víctor Hugo Villarreal Ramírez

 https://doi.org/10.37572/EdArt_25092632112

CAPÍTULO 13187

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

Humberto Álvarez Sepúlveda

 https://doi.org/10.37572/EdArt_25092632113

CAPÍTULO 14 200

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

Humberto Álvarez Sepúlveda

 https://doi.org/10.37572/EdArt_25092632114

SOBRE O ORGANIZADOR.....212

ÍNDICE REMISSIVO213

CAPÍTULO 6

AISLAMIENTO DE BACTERIAS DEGRADADORAS DE LIGNINA DE SUELO RIZOSFERICO DE *QUERCUS SPP.*¹

Data de submissão: 13/08/2026

Data de aceite: 28/08/2026

Ramiro Ríos Gómez

Maestro en Ciencias

Facultad de Estudios Superiores

Zaragoza, UNAM

C.P. 09230, Ciudad de México, México

<https://orcid.org/0000-0002-3466-3887>

SCOPUS: 37068052100

Iván Hernández Portillo

Biólogo

Facultad de Estudios Superiores

Zaragoza, UNAM

C.P. 90640, San Miguel Contla, México

<https://orcid.org/0009-0001-0905-7762>

Yadira Cornejo Silva

Doctora en Ciencias

Facultad de Estudios Superiores

Zaragoza, UNAM

C.P. 90640, San Miguel Contla, México

<https://orcid.org/0009-0002-0710-5465>

María Yolanda Ríos Gómez

Doctora en Ciencias

Centro de Investigaciones Químicas

IICBA, UAEM

C.P. 62209 Cuernavaca, México

<https://orcid.org/0000-0002-8875-8734>

SCOPUS: 7101679320

RESUMEN: La lignina constituye uno de los principales componentes del carbono orgánico del suelo; sin embargo, su biodegradación y transformación dentro del mismo permanece poco caracterizada, estudios recientes han permitido visibilizar el papel de ciertos microorganismos en este proceso. El presente trabajo se centró en el estudio exploratorio de las comunidades bacterianas rizosféricas de *Quercus spp.* cultivables, capaces de degradar la lignina, en medios de cultivo adicionados con lignina organosolv extraída de raíces de *Quercus* nativos del ecosistema y lignina Kraft comercial. Se comprobó mediante análisis espectrofotométricos UV-Vis y RMN que la Lignina extraída del ecosistema, presenta una mayor proporción de enlaces β -O-4 y grupos fenólicos libres, lo que favorece la degradación, sin embargo, la presencia de señales relacionadas a enlaces con hemicelulosa, indican dificultades en el acoplamiento enzimático. Los cultivos selectivos permitieron identificar 23 aislamientos bacterianos y 9 para actinomicetos, con actividad ligninolítica, comprobada a través de pruebas de

¹ Agradezco el apoyo económico brindado a través del proyecto DGAPA PAPIIT clave IN222521 "Degradación de la lignina y su contribución como fuente de carbono al humus del suelo". Este respaldo fue fundamental para la culminación del presente trabajo. Mismo que se derivó de tesis de licenciatura y fue presentado en 49.º Congreso Mexicano de la Ciencia del Suelo.

degradación con azul anilina. Los resultados muestran que la lignina Organosolv favorece el crecimiento de una comunidad microbiana complementaria a la de la lignina Kraft comercial, además de que facilita el aislamiento de cepas con potencial biotecnológico. Estos hallazgos aportan conocimiento esencial sobre las interacciones entre lignina y bacterias del suelo.

PALABRAS CLAVE: Organosolv; Kraft; Actinomicetos; Medios selectivos, Espectrofotometría.

ISOLATION OF LIGNIN-DEGRADING BACTERIA FROM QUERCUS SPP. RHIZOSPHERE SOIL

ABSTRACT: Lignin is one of the main components of soil organic carbon; however, its biodegradation and subsequent transformation in the soil remain poorly characterized. Recent studies have begun to shed light on the role of certain microorganisms in this process. This exploratory study focused on culturable lignin-degrading bacterial communities from the rhizosphere of *Quercus spp.*, using culture media supplemented with either organosolv lignin extracted from the roots of native *Quercus* trees or commercial Kraft lignin. UV-Vis spectrophotometry and NMR analyses confirmed that the ecosystem-derived lignin contains a higher proportion of β -O-4 bonds and free phenolic groups, which are favorable for degradation; nevertheless, the presence of signals associated with hemicellulose linkages suggests potential constraints for enzymatic coupling. Selective cultures yielded 23 bacterial and 9 actinomycete isolates exhibiting ligninolytic activity, as verified by aniline blue degradation assays. Our results indicate that this organosolv lignin promotes the growth of a microbial community distinct from, yet complementary to, that supported by commercial Kraft lignin, while also facilitating the isolation of strains with biotechnological potential. These findings provide essential insights into the interactions between lignin and soil bacteria.

KEYWORDS: Organosolv; Kraft; Actinomycetes; Selective media; Spectrophotometry.

1. INTRODUCCIÓN

La lignina es la fuente principal de compuestos aromáticos en la biosfera, además del segundo biopolímero más abundante en las plantas (Yaovapa, 2005). Su estructura compleja y propiedades recalcitrantes, limitan su biodegradación e incorporación al suelo y constituyen uno de los procesos ecológicos más complejos en la biosfera (Ortiz, 2009; Montoya *et al.*, 2014). Pese a que los hongos Basidiomicetos son reconocidos como los principales degradadores de lignina. Existen informes de bacterias ligninolíticas que poseen mecanismos de enzimas extracelulares y metabolitos secundarios capaces de actuar sobre este polímero, en particular las clases: α -Proteobacteria, γ -Proteobacteria y Actinomicetos, son consideradas los principales descomponedores de lignocelulosas en el suelo (2000; Huang *et al.*, 2013; Saini *et al.*, 2015). Este trabajo explora el reservorio de diversidad bacteriana ligninolítica en la

rizosfera de especies de *Quercus spp.* con el fin de asilar y describir morfológicamente cepas bacterianas degradadoras de lignina además de adecuar métodos de extracción de este biopolímero biológicamente activo. Así mismo, poder comparar la eficiencia selectiva de la lignina nativa contra la comercial como fuentes de carbono en medios de cultivo, se planteó la siguiente hipótesis: El adecuar medios de cultivo con lignina nativa del bosque de *Quercus*, se promueve una mayor representatividad de las comunidades bacterianas ligninolíticas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras utilizadas fueron recolectadas en Santiago Tilantongo, Oaxaca, en la RTP 125 Cerros Negro-Yucaño, localizada al noreste del estado Oaxaca, con una extensión de 1 274 km² y una altitud entre 1300 y 3200 msnm, con clima predominante templado (Cw1), y grandes extensiones de bosques conservados, mayoritariamente de *Quercus*, *Pinnus* y bosques mixtos. Región que destaca por su importancia ecológica y social al conservar la biodiversidad y brindar soporte económico a las comunidades rurales.

Esta investigación se realizó en tres fases metodológicas; 1) La extracción y elucidación estructural de la lignina radical de *Quercus spp.*, 2) El aislamiento y descripción de cepas; y 3) La evaluación en la eficiencia de los medios de cultivo selectivos. Los muestreos, tanto para la extracción de lignina como para el cultivo de microorganismos, se realizaron en dos sitios, escogiendo 3 individuos sanos por sitio con (DAP de 40-70 cm y altura de 10-20 m.), ubicados en las siguientes coordenadas; Sitio 1, 17°23'08" N 97°34'46" O 2400 msnm, y Sitio 2, 17°24'94" N 97°34'69" O 2809 msnm.

Para los muestreos de extracción de lignina se utilizó 50g de tejido radical colectado, a 2 m de distancia de la base de cada árbol y a una profundidad de 10-30 cm de la superficie del suelo. Las muestras se procesaron de acuerdo a la adaptación del método descrito por García (2019) y Xu *et al.* (2006) para la extracción de lignina Organosolv. Tras el aislamiento de este polímero se procedió a comprobar y describir su estructura usando técnicas físicas no destructivas; Espectrofotometría UV-vis (espectrofotómetro DLAB modelos SP-Uv100, con lecturas de 200-500 nm), Espectrofotometría RNM (Equipo RMN Jeol de 600 MHz a 600 MHz para RMN de ¹H, DEPTQ, HSQC y HMBC).

Para el muestreo de microorganismos, a 2 m de la base de cada árbol y de 10-50 cm de profundidad, se recogieron 100 g entre raíces absorbentes y suelo rizosférico. Siguiendo el protocolo de Murotova *et al.* (2003), se hicieron enjuagues con agua destilada y agitación constante, para en seguida realizar diluciones seriadas hasta 10⁻⁷. Utilizando

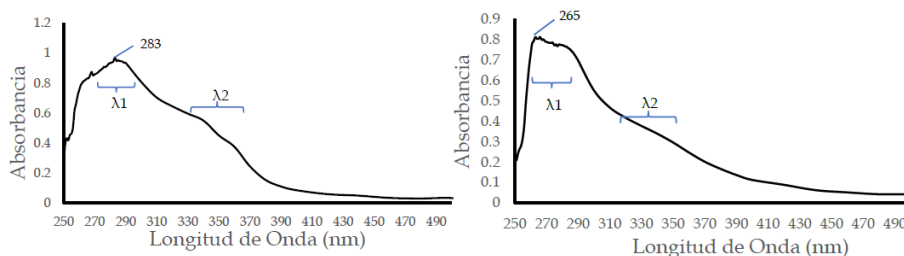
medio líquido MSM, se realizaron 3 líneas de cultivo correspondientes a: MSM adicionado con lignina Organosolv (MSM-LO), MSM adicionado con lignina Kraft comercial de grado reactivo de la marca Sigma-Aldrich (MSM-LC) y el MSM control sin adición de fuentes carbono (MSM-C). Para las tres líneas de cultivo se realizó el siguiente esquema: a). cultivo en los medios líquidos incubados durante 7 días a 37°C con agitación constante en las primeras 48 h, b). cultivo por rastrilleo en medio sólido incubado a 30°C durante 48 h iniciando cultivos simultáneos en Agar nutritivo, c). selección de cepas de este último medio, para ser resembradas hasta su purificación en MSM-LC y Agar nutritivo. Para visualizar el crecimiento entre los dos medios sólidos se realizó el conteo de colonias 48 h después del enriquecimiento con medio líquido utilizando el software IMAGE J.

Para los experimentos de degradación, se seleccionaron los aislamientos bacterianos que tuvieron un crecimiento rápido y abundante en las placas de MSM-LC, los cuales se realizaron en medios líquidos MSM-LC y MSM-LO adicionados con 0.125 mg/mL de azul anilina. Midiendo la degradación del indicador por espectrofotometría UV-vs, del medio sin inocular y después de 7 días de incubación a 30°C con agitaciones diarias.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La extracción y caracterización de la lignina Organosolv a partir de raíces de *Quercus spp.* reveló diferencias estructurales frente a la lignina Kraft comercial, mostrando en el espectro UV-vis, un desplazamiento del pico máximo de 283 nm a 265 nm, indicado en diversos registros como una mayor proporción de unidades guaiacil-siringilo (Sun y Tomkinson 2001, Zhang *et al.*, 2010) (Figura 1,2). Mientras que en los espectros RMN se observa una mayor diversidad de cadena lateral en los datos correspondientes a lignina Organosolv, con respecto a una mayor diversidad de señales de subunidades en la lignina comercial. En particular las señales de enlaces β -O-4 tuvieron mayor presencia en lignina Organosolv que en lignina Kraft, lo que concuerda con los registros de abundancia en maderas duras y la ausencia en herbáceas (Katahira *et al.*, 2018), este último grupo señalado como posible fuente del material de origen de la lignina comercial. Además, se observó una mayor diversidad de benzaldehídos en la lignina Kraft comercial, así como la presencia algunas señales aisladas de grupos fenilcumarato, en contraste, en la lignina Organosolv fueron registradas señales de resinol y fenilcumarato, lo anterior sugiere una mayor disposición de degradación en la lignina Kraft (Heitner *et al.*, 2016). Por último, se registró la presencia de fragmentos xilano en la lignina Organosolv relacionados con complejos lignina carbohidrato, cuya fuerte unión reduce la accesibilidad enzimática (Nhuchhen *et al.*, 2014; Tarasov *et al.*, 2018).

Figura 1. Perfiles de espectrofotometría UV/vis correspondientes; de lado izquierdo Lignina Kraft comercial, lado derecho Lignina nativa Organosolv.



El conteo de colonias de los medios sólidos, antes a su asilamiento y purificación, indicó mayor proporción en la línea MSM-LO (45.67%), seguida por la línea MSM-C (31.9%) y la MSM-LC (22.42%). Sin embargo, existieron diferencias notables en la forma y dinámica de las colonias obtenidas en las líneas MSM-LC y MSM-C, se observaron colonias grandes e irregulares con un crecimiento empalmado, indicador de medios con alta disponibilidad de nutrimentos que favorecen el crecimiento de especies copiotróficas (Prescott *et al.*, 2005). En contraste la línea MSM-LO presentó numerosas colonias individuales y puntiformes, congruente con el crecimiento de especies oligotróficas en medios selectivos e indicativo de un crecimiento lento con limitaciones nutrimentales o la adaptación de condiciones específicas (Madigan *et al.*, 2022). Así, se optó por descartar el uso de UFC.

Se obtuvo un total de 54 aislamientos purificados, los cuales fueron descritos morfológicamente, incluyendo pruebas químicas básicas y tinciones. Del total, 42 aislamientos reportaron un crecimiento positivo, durante las primeras 48 h de incubación, en medios diferenciales. Las proporciones por línea de cultivo fueron las siguientes; MSM-C 66.7% (28 aislamientos), MSM-LO 16.67% (7 aislamientos) y MSM-LO 16.67% (7 aislamientos). Para las pruebas de degradación fueron seleccionados 8 aislamientos con características correspondientes a Actinomicetos, de origen en la línea MSM-LO, 15 aislamientos con características de bacterias de los cuales 4 correspondieron a la línea MSM-LC y 11 a la línea MSM-C. Los resultados en las pruebas de degradación del colorante azul anilina fueron normalizados, para obtener un porcentaje de cambio absoluto, con el fin de agrupar y comparar los datos obtenidos. Los aislamientos bacterianos de las líneas MSM-LC y MSM-C presentaron en ambos casos un rango menos variable en la degradación de lignina Organosolv, observado como cajas más compactas en el bloxplot, (Figura 2), sugiriendo una mayor consistencia en sus dinámicas de degradación, caso contrario en los datos de degradación de Lignina Kraft comercial en los cuales se observa una mayor dispersión en los datos. Los aislamientos de Actinomicetos, reportaron cambios

bruscos en el colorante, lo que dificultó su comparación, se observó una mayor dispersión de los datos para la degradación de lignina Organosolv, con algunos aislamientos con porcentajes de cambio demasiado elevados, mientras que para la degradación de Lignina Kraft comercial, un alto porcentaje mostró mayor afinidad al ser cultivados previamente en medios enriquecidos con esta lignina, observándose una mayor consistencia en su degradación (Figura 3).

Figura 2. Comparación del cambio absoluto en la degradación de lignina en bacterias inducido por lignina natural y comercial y línea cultivo de origen.

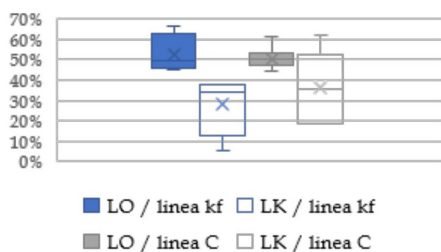
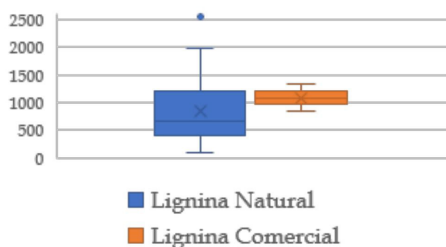


Figura 3. Comparación del cambio absoluto en la degradación de lignina en bacterias inducido por lignina natural y comercial y línea cultivo de origen.



4. CONCLUSIONES

Los medios enriquecidos con lignina nativa (Lignina Organosolv de *Quercus spp.*), permiten aislar y describir de manera complementaria la diversidad de comunidades bacterianas ligninolíticas (cultivables en laboratorio) dentro de la rizosfera, lo que valida de manera parcial la hipótesis propuesta, el total de aislamientos obtenidos ayuda a demostrar la eficacia del protocolo de extracción Organosolv para obtener lignina biológicamente activa, a su vez el hallazgo de los aislamientos propuestos como actinomicetos, con una mayor capacidad de degradación, es indicativo de la eficiencia de este polímero como fuente de carbono en medios selectivos, abriendo perspectivas para su aplicación biotecnológica.

BIBLIOGRAFÍA

- García J. A. (2019). Determinación de actividad antioxidante en lignina obtenida de residuos agrícolas [Tesis de licenciatura]. Universidad de Sonora.
- Heitner C., Dimmel D. y Schmidt J. (Eds.). (2016). Lignin and lignans: Advances in chemistry. CRC Press.
- Huang X. F., Santhanam N., Badri D. V., Hunter W. J., Manter D. K., Decker S. R., Vivanco J. M. y Reardon K. F. (2013). Isolation and characterization of lignin-degrading bacteria from rainforest soils. *Biotechnology and Bioengineering*, 110(6), 1616–1626. <https://doi.org/10.1002/bit.24833>

Katahira R., Elder T. J. y Beckham G. T. (2018). A brief introduction to lignin structure. En *Lignin valorization* (pp. 1–20). Royal Society of Chemistry.

Madigan M.T., Bender K. S., Buckley D. H., Sattley W.M. & Stahl D. A. (2022). *Brock Biology of Microorganisms* (16th ed.). Pearson.

Montoya Franco M. L. y Muñoz Herrera G. A. (2014). Degradación de lignina en lodos provenientes de la industria papelera mediante el empleo del *Ganoderma lucidum* [Tesis de pregrado]. Universidad Tecnológica de Pereira.

Muratova A., Hubner T., Tischer S., Turkovskaya O., Moder M. y Kuschik P. (2003). Plant–rhizosphere-microflora association during phytoremediation of PAH-contaminated soil. *International Journal of Phytoremediation*, 5(2), 137–151. <https://doi.org/10.1080/713610176>

Nhuchhen D. R., Basu P. y Acharya B. (2014). A comprehensive review on biomass torrefaction. *International Journal of Renewable Energy and Biofuels*, 2014, 1–56. <https://doi.org/10.5171/2014.506376>

Ortiz M. L. (2009). Aproximaciones a la comprensión de la degradación de la lignina. *Orinoguia*, 13(2), 137–144.

Saini A., Aggarwal N. K., Sharma A. y Yadav A. (2015). Actinomycetes: A source of lignocellulolytic enzymes. *Enzyme Research*, 2015, 279381. <https://doi.org/10.1155/2015/279381>

Prescott L. M., Harley J. P., & Klein D. A. (2005). *Microbiología* (6ª ed.). McGraw-Hill.

Sun R. y Tomkinson J. (2001). Comparative study of lignins isolated by alkali and ultrasound-assisted alkali extractions from wheat straw. *Ultrasonics Sonochemistry*, 9(2), 85–93. [https://doi.org/10.1016/S1350-4177\(01\)00106-7](https://doi.org/10.1016/S1350-4177(01)00106-7)

Tarasov D., Leitch M. y Fatehi P. (2018). Lignin-carbohydrate complexes: Properties, applications, analyses, and methods of extraction: A review. *Biotechnology for Biofuels*, 11(1), 269. <https://doi.org/10.1186/s13068-018-1262-1>

Xu F., Sun J. X., Sun R., Fowler P. y Baird M. S. (2006). Comparative study of organosolv lignins from wheat straw. *Industrial Crops and Products*, 23(2), 180–193. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2005.05.008>

Yaovapa T., Toru J., Yoshimasa M., Shigeharu M., Savitt T., Navavarn N., Moriya O. y Toshiaki K. (2005). Symbiotic fungi produce laccases potentially involved in phenol degradation in fungus combs of fungus-growing termites in Thailand. *Journal of General and Applied Microbiology*, 51(1), 1–9. <https://doi.org/10.2323/jgam.51.1>

Zhang L., Gellerstedt G. y Ralph J. (2010). NMR studies on the occurrence of spirodienone structures in lignins. *Journal of Wood Chemistry and Technology*, 30(1), 61–75. <https://doi.org/10.1080/02773810903419217>

SOBRE O ORGANIZADOR

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

ÍNDICE REMISSIVO

A

Actinomicetos 108, 109, 112, 113

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

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

Agricultura inca 200, 201, 204, 206, 210

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

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

Análisis FODA 168, 170

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

B

Biodiversidad edáfica 66, 71

Biodiversity and biological monitoring 116

Biofertilizantes 120, 132, 133

C

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

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

Coastal flooding 1

Colapso sociopolítico 187

Collected material available 116

Colombian Caribbean 1, 3, 4, 30, 121

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

Comportamento animal 151, 152, 162, 163, 164

Conservación ambiental 43, 50

Conservation and protection of species 116

D

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

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

Desarrollo sostenible 30, 50

E

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

F

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

G

GPS tracking 151, 152

H

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

I

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

K

Kraft 108, 109, 111, 112, 113

L

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

M

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

Modelo de acciones de sociología cultural 50

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

N

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

Nutrición vegetal 120, 123, 132

O

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

Ornamental fish 140, 149

P

Paisaje andino 200

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

Pastoreio extensivo 150, 151, 152, 157

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

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

Procesos termoquímicos 176

R

Raças autóctones 150, 151, 153, 159, 164

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

Residuos agroindustriales 176

Resiliencia agroecológica 66

S

Salud del suelo 66, 67

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

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

Soil biodiversity 81, 90, 92, 106

Soil degradation 81, 87, 99, 101, 106

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

Sostenibilidad agrícola 66

Sustainable aquaculture 140

T

Terrazas agrícolas 200, 204

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

V

Valorización de biomasa 176

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



EDITORA
ARTEMIS

2026