

VOL V

AGRÁRIAS

PESQUISA E INOVAÇÃO NAS CIÊNCIAS QUE
ALIMENTAM O MUNDO

EDUARDO EUGÊNIO
SPERS
(Organizador)

 EDITORA
ARTEMIS

2021

VOL V

AGRÁRIAS

PESQUISA E INOVAÇÃO NAS CIÊNCIAS QUE
ALIMENTAM O MUNDO

EDUARDO EUGÊNIO
SPERS

(Organizador)

 EDITORA
ARTEMIS

2021



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
Organizadora	Prof. Dr. Eduardo Eugênio Spers
Imagem da Capa	Shutterstock
Bibliotecário	Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

Conselho Editorial

Prof. Dr. Adalberto de Paula Paranhos, Universidade Federal de Uberlândia
Prof.ª Dr.ª Amanda Ramalho de Freitas Brito, Universidade Federal da Paraíba
Prof.ª Dr.ª Ana Clara Monteverde, *Universidad de Buenos Aires, Argentina*
Prof. Dr. Ángel Mujica Sánchez, *Universidad Nacional del Altiplano, Peru*
Prof.ª Dr.ª Angela Ester Mallmann Centenaro, Universidade do Estado de Mato Grosso
Prof.ª Dr.ª Begoña Blandón González, *Universidad de Sevilla, Espanha*
Prof.ª Dr.ª Carmen Pimentel, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof.ª Dr.ª Catarina Castro, Universidade Nova de Lisboa, Portugal
Prof.ª Dr.ª Cláudia Neves, Universidade Aberta de Portugal
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos, Universidade Federal da Grande Dourados
Prof.ª Dr.ª Deuzimar Costa Serra, Universidade Estadual do Maranhão
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
Prof. Dr. Eloi Martins Senhoras, Universidade Federal de Roraima
Prof.ª Dr.ª Elvira Laura Hernández Carballido, *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, México*
Prof.ª Dr.ª Emilas Darlene Carmen Lebus, *Universidad Nacional del Nordeste/ 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. Gabriel Díaz Cobos, *Universitat de Barcelona, Espanha*
Prof. Dr. Geoffroy Roger Pointer Malpass, Universidade Federal do Triângulo Mineiro
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.ª Dr.ª Iara Lúcia Tescarollo Dias, Universidade São Francisco
Prof.ª Dr.ª Isabel del Rosario Chiyon Carrasco, *Universidad de Piura, Peru*
Prof. Dr. Ivan Amaro, Universidade do Estado do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Iván Ramon Sánchez Soto, *Universidad del Bío-Bío, Chile*
Prof.ª Dr.ª Ivânia Maria Carneiro Vieira, Universidade Federal do Amazonas



Prof. Me. Javier Antonio Albornoz, *University of Miami and Miami Dade College*, USA
Prof. Dr. Jesús Montero Martínez, *Universidad de Castilla - La Mancha*, Espanha
Prof. Dr. Joaquim Júlio Almeida Júnior, UniFIMES - Centro Universitário de Mineiros
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. Júlio César Ribeiro, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Leinig Antonio Perazolli, Universidade Estadual Paulista
Prof.ª Dr.ª Lúvia do Carmo, Universidade Federal de Goiás
Prof.ª Dr.ª Luciane Spanhol Bordignon, Universidade de Passo Fundo
Prof. Dr. Manuel Ramiro Rodriguez, *Universidad Santiago de Compostela*, Espanha
Prof. Dr. Marcos Augusto de Lima Nobre, Universidade Estadual Paulista
Prof. Dr. Marcos Vinicius Meiado, Universidade Federal de Sergipe
Prof.ª Dr.ª Margarida Márcia Fernandes Lima, Universidade Federal de Ouro Preto
Prof.ª Dr.ª Maria Aparecida José de Oliveira, Universidade Federal da Bahia
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
Prof.ª Dr.ª Maria Lúcia Pato, Instituto Politécnico de Viseu, Portugal
Prof.ª Dr.ª Maurícia Silva de Paula Vieira, Universidade Federal de Lavras
Prof.ª Dr.ª Odara Horta Boscolo, Universidade Federal Fluminense
Prof.ª Dr.ª Patrícia Vasconcelos Almeida, Universidade Federal de Lavras
Prof.ª Dr.ª Paula Arcoverde Cavalcanti, Universidade do Estado da Bahia
Prof. Dr. Rodrigo Marques de Almeida Guerra, Universidade Federal do Pará
Prof. Dr. Sergio Bitencourt Araújo Barros, Universidade Federal do Piauí
Prof. Dr. Sérgio Luiz do Amaral Moretti, Universidade Federal de Uberlândia
Prof.ª Dr.ª Sílvia Inés del Valle Navarro, *Universidad Nacional de Catamarca*, Argentina
Prof.ª Dr.ª Teresa Cardoso, Universidade Aberta de Portugal
Prof.ª Dr.ª Teresa Monteiro Seixas, Universidade do Porto, Portugal
Prof. Dr. Turpo Gebera Osbaldo Washington, *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*, Peru
Prof. Dr. Valter Machado da Fonseca, Universidade Federal de Viçosa
Prof.ª Dr.ª Vanessa Bordin Viera, Universidade Federal de Campina Grande
Prof.ª Dr.ª Vera Lúcia Vasilévski dos Santos Araújo, Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Wilson Noé Garcés Aguilar, *Corporación Universitaria Autónoma del Cauca*, Colômbia

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

A277 Agrárias [livro eletrônico] : pesquisa e inovação nas ciências que alimentam o mundo V / Organizador Eduardo Eugênio Spers. – Curitiba, PR: Artemis, 2021.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Edição bilingue
ISBN 978-65-87396-34-7
DOI 10.37572/EdArt_290421347

1. Ciências agrárias – Pesquisa. 2. Agronegócio. 3. Sustentabilidade. I. Spers, Eduardo Eugênio.

CDD 630

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

APRESENTAÇÃO

As Ciências Agrárias são um campo de estudo multidisciplinar por excelência, e um dos mais profícuos em termos de pesquisas e aprimoramento técnico. A demanda mundial por alimentos e a crescente degradação ambiental impulsionam a busca constante por soluções sustentáveis de produção e por medidas visando à preservação e recuperação dos recursos naturais.

A obra **Agrárias: Pesquisa e Inovação nas Ciências que Alimentam o Mundo** compila pesquisas atuais e extremamente relevantes, apresentadas em linguagem científica de fácil entendimento. Na coletânea, o leitor encontrará textos que tratam dos sistemas produtivos em seus diversos aspectos, além de estudos que exploram diferentes perspectivas ou abordagens sobre a planta, o meio ambiente, o animal, o homem, o social e sobre a gestão.

Este Volume V traz 28 artigos de estudiosos de diversos países: são 18 trabalhos de autores da Argentina, Canadá, Colômbia, Cuba, Espanha, México e Portugal e dez trabalhos de pesquisadores brasileiros, divididos em três eixos temáticos.

Os dez trabalhos organizados sob o eixo temático **Clima, Solo e Água** desenvolvem temas relativos à importância desses elementos para a manutenção dos ecossistemas. Os 14 títulos que compõem o eixo temático **Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, por outro lado, apresentam estudos sobre diferentes formas de se diminuir, reverter ou harmonizar as consequências da atividade humana sobre o meio ambiente. Seguindo a mesma linha, o eixo **Resíduos Agrícolas e Logística Reversa** traz quatro trabalhos que finalizam este importante volume.

Desejo a todos uma proveitosa leitura!

Eduardo Eugênio Spers

SUMÁRIO

CLIMA, SOLO E ÁGUA

CAPÍTULO 1.....1

LA VEGETACIÓN EN UN MUNDO CAMBIANTE: ESTADO BASAL, ESTABILIDAD Y RESILIENCIA DE UN SISTEMA COMPLEJO

Eduardo Alberto Pérez-García

Rodrigo Muñoz

Jorge A. Meave

DOI 10.37572/EdArt_2904213471

CAPÍTULO 2.....24

SALT AFFECTED SOILS IN PROTECTED PRODUCTIVE SYSTEMS. IRRIGATION WATER AND PRODUCTIVE MANAGEMENT

Margarita M. Alconada Magliano

Luciano Juan

DOI 10.37572/EdArt_2904213472

CAPÍTULO 3..... 40

CAMBIOS EN PROPIEDADES FÍSICO-HÍDRICA DE SUELOS PERTENECIENTES A UNA MICROCUENCA DEL ARROYO SAUCE CORTO EN LA PAMPAINTESSERRANA SUBHUMEDA ARGENTINA

Eduardo de Sá Pereira

Gonzalo Arroquy

Alberto Raul Quiroga

Cristian Álvarez

Romina Fernández

Juan Alberto Galantini

DOI 10.37572/EdArt_2904213473

CAPÍTULO 4.....55

PRODUCCIÓN PRIMARIA NETA AÉREA DEL COMPONENTE HERBÁCEO DE SISTEMAS SILVOPASTORILES EN LA LLANURA ONDULADA DEL SUR DE CÓRDOBA

José Omar Plevich

Marco Jesús Utello

Santiago Ignacio Fiandino

Juan Carlos Tarico

Ángel Ramón Sanchez Delgado

Javier Enrique Gyenge

DOI 10.37572/EdArt_2904213474

CAPÍTULO 5..... 65

DETECCIÓN DE CAMBIOS CON IMÁGENES DE SATÉLITE EN EL DEPARTAMENTO PELLEGRINI, SANTIAGO DEL ESTERO

[Liria Boix](#)

DOI 10.37572/EdArt_2904213475

CAPÍTULO 6..... 74

CAMBIOS EN EL PROMEDIO DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL DEL SUDOESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES, ARGENTINA

[Silvia Patricia Pérez](#)

[Mariano Tomás Cassani](#)

[Marcelo Juan Massobrio](#)

DOI 10.37572/EdArt_2904213476

CAPÍTULO 7 84

INTEGRACIÓN DE MODELOS HIDRÁULICOS Y FOTOVOLTAICOS EN BOMBEO SOLAR

[Jorge Cervera Gascó](#)

[Miguel Ángel Moreno Hidalgo](#)

[Jesús Montero Martínez](#)

DOI 10.37572/EdArt_2904213477

CAPÍTULO 8..... 95

PREDICCIÓN DE LA IRRADIACIÓN SOLAR GLOBAL DIARIA MEDIANTE REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN LA PENÍNSULA IBÉRICA

[Francisco Javier Diez](#)

[Luis Manuel Navas Gracia](#)

[Andrés Martínez Rodríguez](#)

[Adriana Corrêa Guimarães](#)

[Leticia Chico Santamarta](#)

DOI 10.37572/EdArt_2904213478

CAPÍTULO 9..... 120

EFEITO DAS MUDANÇAS DO USO DA TERRA NAS PROPRIEDADES DOS SOLOS TEMPERADOS E TROPICAIS

[Dilier Olivera Vicedo](#)

[Rodolfo Lizcano Toledo](#)

[Deborah Henderson](#)

[Paul Richard](#)

[Lisa Wegener](#)

[Alberto González Arcia](#)

DOI 10.37572/EdArt_2904213479

CAPÍTULO 10.....132
CHANGES IN SHRUB INVASION IN SOUTH AMERICA PROTECTED TEMPERATE
NATIVE FORESTS
Julian Alberto Sabattini
Rafael Alberto Sabattini
DOI 10.37572/EdArt_29042134710

AGROECOLOGIA E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

CAPÍTULO 11.....143
MANEJO AGROECOLÓGICO DO SOLO: ANÁLISE E CONSERVAÇÃO DE SOLOS NO
MODELO AGROFLORESTAL
William Ortega Gonçalves
Diego Resende Rodrigues
Marcus Vinicius da Silva Rodrigues
Igor Graciano
Erika Cosendey Toledo de Mello Peixoto
DOI 10.37572/EdArt_29042134711

CAPÍTULO 12152
DIAGNÓSTICO DE LA COMPLEJIDAD DE UN SISTEMA AGROSILVOPASTORIL EN
TRANSICIÓN HACIA LA SOSTENIBILIDAD Y RESILIENCIA
Eduardo Blanco Contreras
Alma Yasmin Moreno Esquivel
Emilio Duarte Ayala
Gerardo Zapata Sifuentes
Agustín Cabral Martell
DOI 10.37572/EdArt_29042134712

CAPÍTULO 13.....159
¿QUÉ ENSEÑAN LAS REDES ALIMENTARIAS ALTERNATIVAS A LAS POLÍTICAS
PÚBLICAS?
Martha Alicia Cadavid Castro
Luz Stella Álvarez Castaño
Sara Eloísa Del Castillo Matamoros
Diana Patricia Giraldo Ramírez
Lina María Vélez Acosta
DOI 10.37572/EdArt_29042134713

CAPÍTULO 14..... 168

METABOLITOS MAYORITARIOS DE DIOSPYROS REKOI Y SU CORRELACIÓN AMBIENTAL PARA APLICACIONES SUSTENTABLES

Antonio Hilario Lara-Rivera

Sinuhé Galván Gómez

Gabriela Rodríguez-García

Mario A. Gómez-Hurtado

Rosa Elva Norma del Río

Ernesto Ramírez-Briones

DOI 10.37572/EdArt_29042134714

CAPÍTULO 15..... 180

AMARANTO: UNA ALTERNATIVA DE DIVERSIFICACIÓN PRODUCTIVA DE CALIDAD NUTRICIONAL EN LA NORPATAGONIA ARGENTINA

Maria Fany Zubillaga

Juan José Gallego

Maite Alder

DOI 10.37572/EdArt_29042134715

CAPÍTULO 16.....193

HIDRATAÇÃO DESCONTÍNUA DE SEMENTES EM REGIÕES SEMIÁRIDAS E SUAS IMPLICAÇÕES ECOLÓGICAS: UMA REVISÃO COM FOCO NA FLORESTA TROPICAL SECA BRASILEIRA

Joana Paula Bispo Nascimento

Marcos Vinicius Meiado

DOI 10.37572/EdArt_29042134716

CAPÍTULO 17220

USO DE NUTRAGREEN® COMO TRANSPORTADOR COLOIDAL PARA REDUCIR EL USO DE FERTILIZANTES Y PESTICIDAS EN PERAL

Guzmán Carro-Huerga

Álvaro Rodríguez-González

Sara Mayo-Prieto

Samuel Álvarez-García

Santiago Gutiérrez

Pedro Antonio Casquero Luelmo

DOI 10.37572/EdArt_29042134717

CAPÍTULO 18228

CARACTERIZACIÓN AGROECOLÓGICA DE SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIOS SIPAS

[Gustavo Adolfo Alegría Fernández](#)

DOI 10.37572/EdArt_29042134718

CAPÍTULO 19238

LEITE A PASTO EM SISTEMA DE PASTOREIO RACIONAL VOISIN (PRV) COMO FORMA DE RESISTÊNCIA À “SOJIFICAÇÃO DA SOCIEDADE”: O CASO DA FAMÍLIA SCHIMITH DA ROCHA

[Tatiana Aparecida Balem](#)

[Ricardo Lopes Machado](#)

DOI 10.37572/EdArt_29042134719

CAPÍTULO 20255

RESGATE E REPRODUÇÃO DE SEMENTES DE MILHO CRIOULO NO ASSENTAMENTO VALE DA ESPERANÇA

[Luís Pedro Alves Gonçalves](#)

DOI 10.37572/EdArt_29042134720

CAPÍTULO 21261

A PNATER E OS DESAFIOS IMPOSTOS ÀS ENTIDADES PÚBLICAS DE ATER: O CASO DA EMPAER EM MATO GROSSO

[Murilo Didonet de Moraes](#)

[Antonio Lázaro Sant’Ana](#)

DOI 10.37572/EdArt_29042134721

CAPÍTULO 22271

CULTURA & DESENVOLVIMENTO RURAL - O TEATRO REGIONAL DA SERRA DE MONTEMURO – PORTUGAL

[Maria Lúcia de Jesus Pato](#)

[Vitor Manuel Pinto de Figueiredo](#)

DOI 10.37572/EdArt_29042134722

CAPÍTULO 23281

TOURIST MOTIVATIONS TOWARDS THE HERITAGE OF THE NATIONAL PARK “PICOS DE EUROPA”

[Orlando Simões](#)

[Isabel Dinis](#)

[Rui Gomes](#)

DOI 10.37572/EdArt_29042134723

CAPÍTULO 24289

ATIVIDADES COMO BOLSISTA DE COOPERAÇÃO TÉCNICA NO JARDIM BOTÂNICO DO RECIFE

Brendo Ramonn Coutinho Paes
Bruno Leal Viana
Adalberto Francisco da Silva Júnior
Eduarda Maria Ribeiro dos Santos
Elmir Bezerra de Lima
Karina de Macena Silva
Maria Isabela Carvalho dos Santos Lima

DOI 10.37572/EdArt_29042134724

RESÍDUOS AGRÍCOLAS E LOGÍSTICA REVERSA

CAPÍTULO 25296

REUTILIZACIÓN DE RESIDUOS AGRÍCOLAS COMO ADSORBENTES DE BAJO COSTO PARA TRATAMIENTO DE AGUAS Y EFLUENTES

Néstor Caracciolo
María Natalia Piol
Andrea Beatriz Saralegui
Susana Patricia Boeykens

DOI 10.37572/EdArt_29042134725

CAPÍTULO 26 311

CARACTERIZAÇÃO POR DRX DE BIOCOMPÓSITOS A BASE DE PLA CARREGADOS COM RESÍDUOS DO CAROÇO DE MANGA E NANO-ORGANO-MONTMORILONITA

Edla Maria Bezerra Lima
Antonieta Middea
Jessica Fernandes Pereira
Ingrid Cristina Soares Pereira
Natália Rodrigues Rojas dos Santos
Renata Nunes Oliveira
Reiner Neumann

DOI 10.37572/EdArt_29042134726

CAPÍTULO 27.....318

DESENVOLVIMENTO DE CARBOXIMETILCELULOSE A PARTIR DO RESÍDUO DO MILHO PRODUZIDO EM COXIM-MS E REGIÃO

Felicia Megumi Ito
Adriana Gomes Pereira da Silva
Talina Meirely Nery dos Santos
Geziel Rodrigues de Andrade
Lincoln Carlos Silva de Oliveira
DOI 10.37572/EdArt_29042134727

CAPÍTULO 28329

RESPONSABILIDADES E RISCOS COMPARTILHADOS? A COMUNICAÇÃO DE RISCOS NA LOGÍSTICA REVERSA DE EMBALAGENS DE AGROTÓXICOS

Daniela de Ulysséa Leal
Ivonete da Silva Lopes
DOI 10.37572/EdArt_29042134728

SOBRE O ORGANIZADOR.....344

ÍNDICE REMISSIVO 345

CAPÍTULO 1

LA VEGETACIÓN EN UN MUNDO CAMBIANTE: ESTADO BASAL, ESTABILIDAD Y RESILIENCIA DE UN SISTEMA COMPLEJO¹

Data de submissão: 27/02/2021

Data de aceite: 05/03/2021

Jorge A. Meave

Profesor Titular,
Universidad Nacional Autónoma de México,
Facultad de Ciencias,
Departamento de Ecología y
Recursos Naturales
Coyoacán 04510,
Ciudad de México, México
<https://orcid.org/0000-0002-6241-8803>

Eduardo Alberto Pérez-García

Profesor Titular,
Universidad Nacional Autónoma de México,
Facultad de Ciencias,
Departamento de Ecología y
Recursos Naturales
Coyoacán 04510,
Ciudad de México, México
<https://orcid.org/0000-0002-4136-4500>

Rodrigo Muñoz

Candidato a Doctor,
Wageningen University and Research,
Forest Ecology and Forest Management
Group, Wageningen 67AA,
Países Bajos
<https://orcid.org/0000-0001-9434-0126>

RESUMEN: La perspectiva humana del tiempo hace concebir a la vegetación como un componente estático del paisaje. Aunque esta percepción es reforzada por la idea equívoca de que el clima de la Tierra es relativamente constante, la investigación paleoclimática ha mostrado que la inestabilidad del clima es inherente a la historia humana. El interés por estudiar la dinámica de la vegetación en el pasado y su relación con el clima se deriva en gran medida de la necesidad de definir estados basales de los ecosistemas para identificar tendencias de cambio. ¿Pero cómo se puede definir el estado basal o de referencia de una comunidad vegetal en un mundo cambiante? ¿Qué tan atrás en el tiempo se debe buscar un estado de referencia? Parece razonable no hacerlo en un pasado remoto sino en comunidades modernas, cercanas al equilibrio con su ambiente. La

¹ Una versión preliminar de este trabajo fue presentada en el simposio "Cambio de uso del suelo en el trópico: sus efectos en la biodiversidad en los bosques tropicales", en el marco del XXI Congreso Mexicano de Botánica (Aguascalientes, México, octubre 20–25, 2019). Agradecemos a Marco Antonio Romero Romero por la preparación de las figuras. La elaboración de este trabajo fue apoyada por los proyectos PAPIIT-DGAPA-UNAM IN218416 e IN217620.

capacidad de la vegetación para mantener sus atributos en el tiempo es conocida como resiliencia, concepto que incluye tanto la resistencia a los disturbios como la habilidad de recuperarse de ellos. El estudio de la resiliencia de la vegetación es fundamental para predecir las trayectorias futuras comunidades vegetales individuales. La amenaza del cambio climático da lugar a la pregunta de si el estudio de la sucesión ecológica y los procesos de regeneración natural representa la estrategia académica más adecuada; nuevas líneas de investigación podrían enseñarnos cómo mantener comunidades vegetales funcionales, independientemente de si se parecen o no a las originales. La persistencia de una cubierta vegetal funcional permitirá atender objetivos sociales y de conservación. La humanidad enfrenta el reto de construir y reconstruir comunidades vegetales que brinden servicios ecosistémicos con eficacia, cubriendo las necesidades humanas siempre crecientes y desdibujando cada vez más la frontera entre la investigación básica y la aplicada.

PALABRAS CLAVE: Comunidades vegetales funcionales. Dinámica de la vegetación. Inestabilidad climática. Inestabilidad de la vegetación. Trayectorias futuras de la vegetación.

THE VEGETATION IN A CHANGING WORLD: BASAL STATE, STABILITY AND RESILIENCE OF A COMPLEX SYSTEM

ABSTRACT: The human perspective of time leads to the notion of vegetation as a static component of the landscape. Although this idea is reinforced by the misconception that Earth's climate is relatively constant, paleoclimatic research demonstrates that climate instability is inherent in human history. The interest in studying vegetation dynamics in the past and its relationship with climate mainly derives from the need to define basal states of ecosystems as a way to identify trends of change. But how can the basal or reference state of a plant community be defined in a changing world? How far back in time does one need to look for a reference state? It seems reasonable that this should not be done in the remote past but in modern plant communities that are near equilibrium with their environment. The capacity of vegetation to maintain its attributes over time is known as resilience, a concept that includes both resistance to disturbances and the ability to recover from them. The study of vegetation resilience is thus essential to predict future trajectories of individual plant communities. The threat of climate change raises the question of whether the study of ecological succession and natural regeneration processes represents the most appropriate strategy; new lines of research could teach us how to maintain functional plant communities, regardless of whether they resemble the original ones. The persistence of a functional vegetation cover is essential to meet social and conservation goals. Humanity faces the challenge of building and reconstructing plant communities that provide ecosystem services effectively, meeting ever-growing human needs and increasingly blurring the line between basic and applied research.

KEYWORDS: Functional plant communities. Vegetation dynamics. Climatic instability. Vegetation instability. Future vegetation trajectories.

1 ESTADO BASAL O DE REFERENCIA DE LA VEGETACIÓN: UN CONCEPTO ELUSIVO

La presencia humana en la Tierra es tan ubicua que no es fácil concebir un mundo en el que nuestra especie esté ausente (Steffen et al., 2007): un planeta sin ciudades ni poblados, sin caminos ni carreteras, carente de campos agrícolas y ganaderos y sin complejos industriales, puertos y aeropuertos, sin minas a cielo abierto, sin plantaciones forestales comerciales, etc.; en breve, un planeta sin rastro alguno de huella humana (Penna, 2015). No obstante, si pudiéramos hacer este ejercicio de imaginación, quizá lo primero que vendría a la mente sería la existencia de grandes bosques ininterrumpidos, vigorosos y bien desarrollados en muchas áreas del globo; en otras regiones, por el contrario, predominarían diferentes tipos de matorrales y pastizales donde posiblemente pastarían grandes herbívoros (Archibold, 1995; Lapola et al., 2008). Los procesos ecosistémicos se desarrollarían de manera natural, enfrentando únicamente sus propias limitaciones climáticas, topográficas y edáficas (Vitousek et al., 1997; Schimel et al., 1997). En ausencia total de actividad humana, además, se podría conjeturar que las comunidades vegetales se mantendrían relativamente invariables a través del tiempo, es decir, conservarían más o menos su misma estructura y composición florística (Rull, 2015).

En un mundo sobrepoblado por los seres humanos, quienes han dejado huella de su actividad por todos lados, concebir a la vegetación como un rasgo relativamente estable del planeta sólo es posible en ciertas circunstancias, por ejemplo, en sitios de difícil acceso o en áreas destinadas a la protección de la naturaleza (Saunders et al., 1987; Ribeiro et al., 2009; McCauley et al., 2013). En cierta medida, esta visión de la estabilidad de la vegetación podría derivarse de la idea errónea de que el clima de la Tierra ha sido relativamente constante en los últimos milenios, cuando en realidad esto no es así (Sprugel, 1991; Rull, 2015). Sin necesidad de ir muy lejos en el pasado, el registro histórico y los estudios paleoclimatológicos han evidenciado al menos dos periodos notables de condiciones climáticas que contrastan fuertemente con otras etapas del pasado reciente en el Holoceno. Nos referimos al Óptimo Climático Medieval, que tuvo su máximo entre los años 1000 y 1100 de la Era Común (Crowley y Lowery, 2000), y a la Pequeña Edad de Hielo, periodo de temperaturas comparativamente bajas que se extendió por varios siglos, con tres mínimos notables de temperatura en los siglos *xvii*, *xviii* y *xix* (Matthews y Briffa, 2005). En particular, la Pequeña Edad de Hielo produjo cambios en los patrones agrícolas e incluso en el acceso a algunos puertos de Europa (Lamb, 1995). Si los sistemas agrícolas fueron afectados, es probable que la vegetación natural también lo haya sido (Heusser et al., 2015).

Estos antecedentes confirman que el cambio climático no es ajeno a la historia de la humanidad. Si aceptamos que el surgimiento evolutivo de la especie humana –

Homo sapiens – se remonta quizá unos 300 mil años atrás (Stringer y Galway-Witham, 2017), esto significaría que la mayor parte de nuestra evolución ha tenido lugar durante el Pleistoceno, época geológica que duró un poco más de 3 millones de años y que se caracterizó por una alternancia notable de periodos de enfriamiento – conocidos como glaciaciones – con periodo de calentamiento – los llamados periodos interglaciares – (Daruka y Ditlevsen, 2016). Al margen de las importantes consecuencias de este contexto ambiental que caracterizó gran parte de nuestra evolución (incluyendo posiblemente la extinción de otras especies del género *Homo* que no se mantuvieron hasta el presente; Wood, 1992), es indudable que a lo largo de su historia los seres humanos han coexistido con muchas especies que ya se han extringuido. Asimismo, la investigación paleoecológica ha revelado la existencia pasada de comunidades vegetales de las que no existen análogos modernos (Bush y Colinvaux, 1990; Correa-Metrio et al., 2012).

Los intentos por comprender la dinámica de la vegetación en el pasado y su relación con el comportamiento errante de los regímenes climáticos en el planeta podrían parecer ejercicios estériles o de beneficio meramente intelectual. No obstante, hay al menos una buena razón para afirmar que esto no es así. Esta se relaciona con la necesidad de definir un estado basal para un sistema de interés que nos permita, a través de un enfoque comparativo, determinar si actualmente podemos identificar tendencias de cambio unidireccionales y, de haberlas, cuál es su magnitud (Mumby et al., 2014). En el caso particular de la vegetación, la podemos conceptualizar como un sistema ecológico complejo (Cadenasso et al., 2006; Fieguth, 2017), conformado por numerosos elementos (las plantas y las especies que representan, junto con sus estructuras poblacionales), cada uno de las cuales se relaciona de manera diferente con el ambiente y con otros organismos, y que está sometida a numerosas fuerzas externas (forzamientos) que la empujan en diferentes direcciones (Austin, 2006). En teoría, si fuéramos capaces de identificar el estado basal de la vegetación, podríamos contrastar con mayor objetividad a las comunidades sujetas a algún disturbio contra las que están bien conservadas. Sin embargo, en este punto nos enfrentamos a una paradoja central de la ecología de la vegetación: ¿cuál sería el estado conservado o prístino, es decir, el estado basal o de referencia de una comunidad vegetal en un mundo continuamente cambiante? En otras palabras, ¿existe realmente en una determinada localidad o región vegetación natural que haya alcanzado su máximo potencial de desarrollo? (Carrión, 2010).

Para tratar de resolver esta paradoja es necesario reflexionar sobre varios aspectos. En primer lugar, hay que reconocer la estrecha correspondencia entre el régimen climático prevaleciente en una localidad y el tipo de vegetación que allí se desarrolla (Terradas, 2001). Simplificando un poco, se puede generalizar que en los climas templados del hemisferio norte dominan los bosques de coníferas, mientras que los climas

cálidos húmedos favorecen el desarrollo de bosques tropicales perennifolios (i.e., con follaje siempre presente) (Archibold, 1995; Box y Fujiwara, 2006). No obstante, en ciertas circunstancias sucede que la vegetación de una localidad no muestra correspondencia con el clima prevaleciente. Esta vegetación, denominada 'azonal' (Walter y Box, 1976), también está sujeta a determinantes ambientales, pero normalmente asociados a factores del sustrato. Este es el caso de los bosques ribereños en las orillas de los ríos que atraviesan zonas áridas o semiáridas (Patten, 1998) y de la vegetación xerófita asociada a afloramientos rocosos en regiones tropicales o templadas húmedas o subhúmedas (Pérez-García y Meave, 2005). A pesar de esta variedad en la vegetación, la cuestión de fondo es si todas estas comunidades están en equilibrio (o cerca del equilibrio) con el ambiente o si, por el contrario, están en una fase de transición hacia otro estado.

2 LA BÚSQUEDA DEL ESTADO DE REFERENCIA EN EL PASADO

Actualmente, los ecólogos de la vegetación conciben a las comunidades vegetales como entidades ecológicas cuyas características presentan variaciones temporales de diferente magnitud e importancia (Pickett y Cadenasso, 2006; Pretzsch, 2009). Si bien este enfoque es acertado, no se ha puesto suficiente atención en el significado de esta dinámica. La vegetación puede cambiar en un instante por efecto de un disturbio repentino (Garwood et al., 1979) o puede hacerlo gradualmente, ya sea a lo largo del tiempo ecológico (Kenkel, 1998; Wisz et al. 2013) o en la escala de tiempo geológico. Ante esta amplitud temporal de la dinámica de las comunidades vegetales, ¿qué tan atrás en el tiempo debemos ir para buscar un estado de referencia?

La literatura paleoecológica sobre los cambios de la vegetación durante las glaciaciones pleistocénicas en diferentes latitudes y altitudes es abundante. Estos estudios han mostrado que los cambios pudieron ser extremos inclusive en sitios cercanos al ecuador, donde las selvas tropicales húmedas habrían desaparecido de algunas regiones del planeta, dando lugar a una gran expansión de las sabanas (Behling, 2003). Aunque por lo general la vegetación arbórea recuperó su condición original cuando las condiciones climáticas lo permitieron (Correa-Metrio et al., 2012), los atributos de las comunidades recuperadas no necesariamente fueron iguales a los que existían antes de la inestabilidad climática. En principio, la biomasa y la densidad de individuos son variables predecibles según el régimen climático de una región. Sin embargo, la composición y la riqueza de especies son atributos influenciados fuertemente por factores históricos-biogeográficos, y por lo tanto es difícil predecirlos con exactitud. Esto tiene consecuencias importantes debido a que la riqueza y la composición de especies inciden directamente en el funcionamiento de los ecosistemas (Loreau et al., 2001; Hooper et al., 2005; Poorter et al., 2015). A la larga, es probable que al final de cada ciclo climático el punto final haya

sido diferente debido a la retroalimentación entre todos estos factores. Esta situación recuerda la famosa parábola de Heráclito de Éfeso, quien afirmara hace unos 1500 años que en realidad nadie se puede bañar dos veces en el mismo río; de igual manera, no se puede retornar exactamente a la misma vegetación que existía antes en un mismo lugar.

Cuando se incorpora a esta reflexión el tiempo geológico, el papel de la evolución biológica adquiere gran relevancia. Las comunidades cambian sustancialmente en su composición, estructura y funcionamiento conforme se incorporan nuevos linajes (Valiente-Banuet y Verdú, 2013). Por ejemplo, la productividad, la estructura y la riqueza de una selva tropical lluviosa seguramente no eran iguales cuando estaban conformadas por licopodios gigantes, gimnospermas o grupos de angiospermas diferentes a los que predominan actualmente, y en ausencia plantas modernas como las leguminosas fijadoras de nitrógeno y las lianas. Además, en esas épocas las plantas realizaban su actividad fotosintética en una atmósfera con características químicas diferentes de las actuales.

Todas estas razones dejan claro que para definir el estado basal de una determinada comunidad vegetal no se debe buscar en el pasado geológico remoto. Por el contrario, un punto de partida más razonable sería una comunidad moderna que esté cerca del equilibrio con el ambiente de la que tengamos suficiente evidencia como para sospechar que ha estado exenta de disturbio humano o natural por un tiempo tan largo como sea posible (Figura 1).

Figura 1. Aunque es necesario conocer el estado basal de una comunidad vegetal para poder detectar tendencias de cambio, definirlo es una tarea difícil ya que la vegetación está en constante cambio. La mejor alternativa es elegir comunidades aparentemente en equilibrio (o cerca de él) con el ambiente y carentes de indicios de disturbio humano reciente. Las imágenes ilustran ejemplos mexicanos de esta condición: bosque tropical estacionalmente seco (A); bosque montano húmedo (B); matorral xerófilo (C).



(Fotos: Jorge A. Meave).

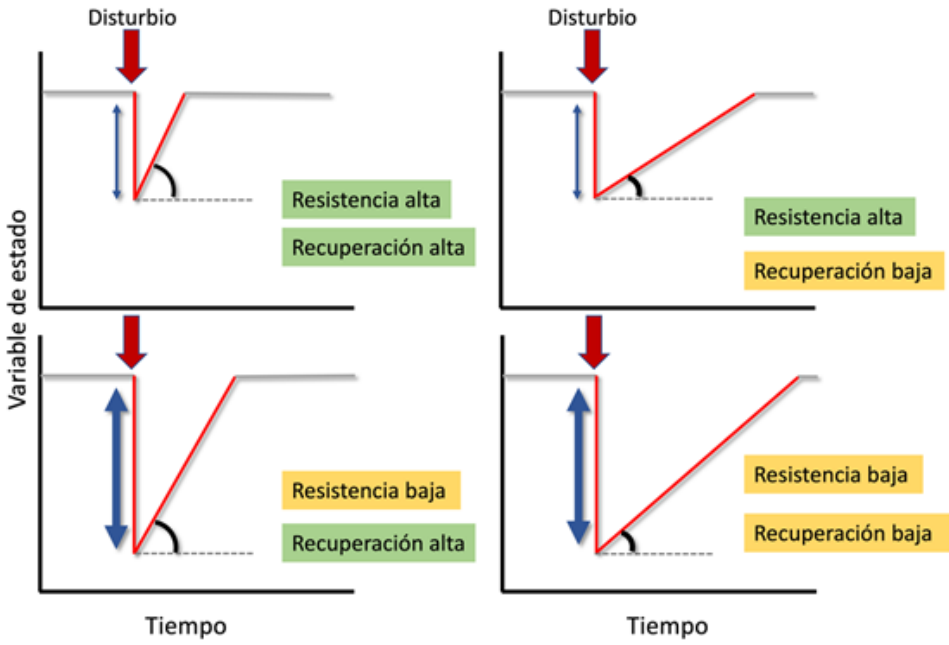
3 ESTABILIDAD Y RESILIENCIA

Al margen del tipo de vegetación en cuestión y de su grado de correspondencia con el ambiente, es poco probable que las propiedades estructurales básicas de las comunidades vegetales (es decir, las variables que definen la organización tridimensional y cuantitativa de sus componentes) se modifiquen sustancialmente en tiempos cortos (escala temporal ecológica), a menos de que estas sean afectadas por algún disturbio de magnitud considerable (Pickett y White, 1985). Un disturbio se define como cualquier evento más o menos discreto en el tiempo que causa una perturbación (es decir, un cambio) en un ecosistema, generalmente disminuyendo su biomasa, afectando su funcionamiento o modificando las condiciones y recursos disponibles (Grime, 2001; Pickett y White, 1985; Rykiel, 1985).

Los disturbios son eventos puntuales (de corta duración) y las comunidades vegetales están continuamente sometidos a ellos (Johnson y Miyanishi, 2007). La mayoría de los disturbios naturales son de baja intensidad y por lo tanto tienen efectos despreciables o imperceptibles en los ecosistemas (Berga et al., 2012); por ello, la vegetación parece ser un elemento estático del paisaje desde la perspectiva humana del tiempo. En contraste, los disturbios más intensos (es decir, lo que involucran una mayor cantidad de energía) pueden modificar drásticamente las propiedades de la vegetación, llegando incluso a hacerla desaparecer si el disturbio es muy intenso (Turner et al., 1998; Dale et al., 2001). Hay numerosos ejemplos de disturbios de este tipo, tanto naturales como inducidos por el ser humano: huracanes, incendios o la tala de un bosque a matarrasa (Pickett y White, 1985; Tanner et al., 1991; Keenan y Kimmins, 1993; Bekker y Taylor, 2010).

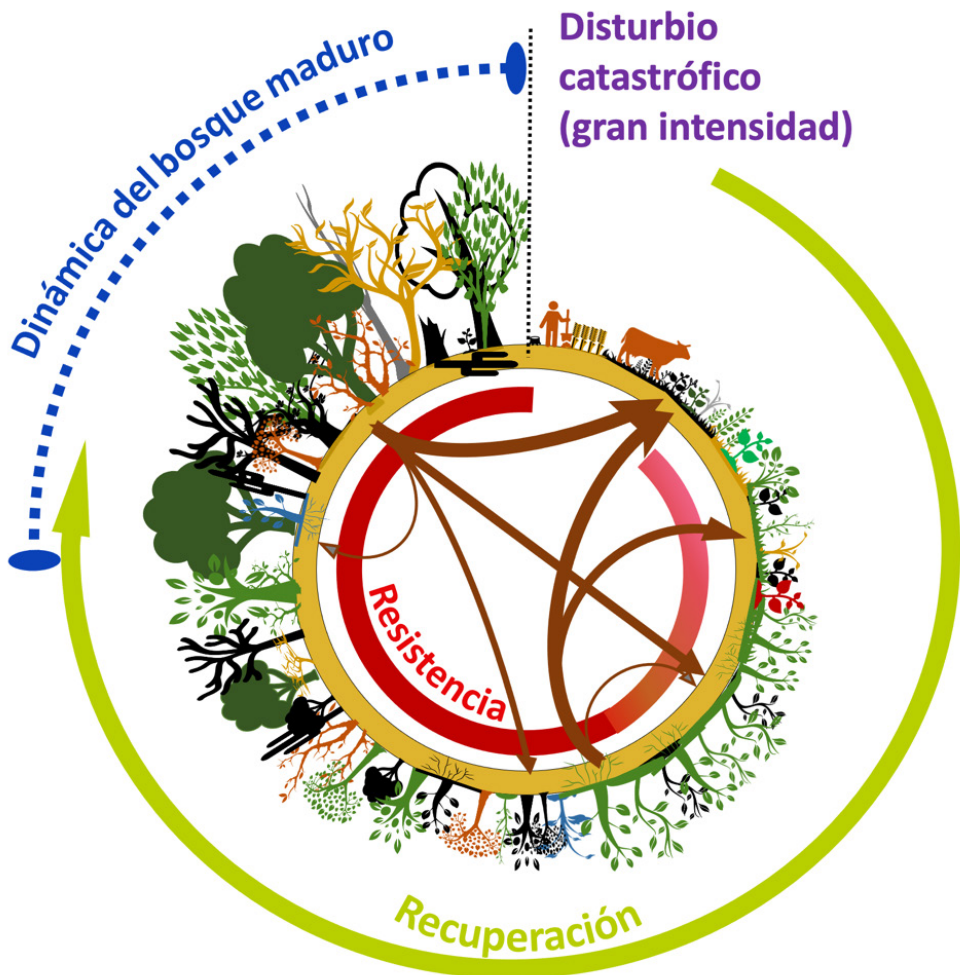
Los organismos que forman las comunidades bióticas poseen adaptaciones morfológicas y fisiológicas que les permiten enfrentar una gama de disturbios de diferentes intensidades, por lo que dichas comunidades con frecuencia –pero no siempre– recuperan un estado similar al que tenían antes del disturbio (Johnson y Miyanishi, 2007; Chazdon, 2014). Esta capacidad de la vegetación para mantener sus atributos e identidad a lo largo del tiempo es conocida como resiliencia (Figura 2). En realidad, el concepto de resiliencia es complejo, ya que comprende tanto la resistencia a los disturbios (i.e., la ‘oposición’ a que cambian sus atributos, o en términos menos antropocéntricos, la ‘dificultad’ para que esta pierda su estado basal; Thompson et al., 2009), como su recuperación una vez que estos ya ocurrieron (Walker et al., 2004; Hodgson et al., 2015; Willis et al., 2018).

Figura 2. La resiliencia es un concepto complejo porque incluye dos componentes, la resistencia y la recuperación, los cuales difieren en la dificultad para medirlos. Las gráficas representan distintas combinaciones de estos dos componentes, cada uno con dos niveles (alto y bajo). En los cuatros casos ilustrados el retorno a la condición inicial es posible a pesar de estas diferencias.



Los estudios sobre la resiliencia de los sistemas ecológicos han puesto más énfasis en el análisis de la recuperación de los ecosistemas forestales a disturbios de gran intensidad (Chazdon, 2003; Pickett y Cadenasso, 2006). Este sesgo es entendible debido a la gran importancia tanto económica como ecológica que revisten los bosques del planeta (Sheil y Wunder, 2002; Sheil y Murdiyarsa, 2009), pero quizá también se deba a que los cambios en sus atributos estructurales son más aparentes y perceptibles en una escala humana del tiempo. En fuerte contraste, los estudios sobre el otro componente de la resiliencia, es decir, la resistencia, han quedado relegados ya que la evaluación de esta propiedad requiere el control preciso de los cambios ambientales a los que se someten las comunidades, lo cual sólo es posible de forma experimental (Potts et al., 2006) (Figura 3). Esto explica porqué el término resiliencia suele asociarse más comúnmente con el proceso de recuperación del sistema (e.g., Poorter et al., 2016). De hecho, llama la atención que con frecuencia no se usa ninguno de estos dos términos (i.e., resistencia y recuperación), sino que los autores se refieren a ellos en conjunto como el proceso sucesional (e.g., Johnson y Miyanishi, 2007) o el ciclo de regeneración de los bosques (Rankin y Tramer, 2002).

Figura 3. Componentes de la resiliencia (resistencia y recuperación) expresados en la dinámica de la vegetación. Este modelo considera que la vegetación secundaria y el bosque maduro forman un *continuum*, lo que implica que la delimitación de este último sea, en cierta medida, arbitraria. La recuperación del bosque a través de la sucesión secundaria inicia en el momento que cesa el disturbio y sigue el sentido de las manecillas del reloj. El inicio de este proceso es fácil de definir cuando se parte de un sistema afectado por un disturbio extremo, como la creación de un campo agrícola o ganadero que requirió la remoción total de la vegetación. En el caso del bosque maduro, los procesos asociados a su dinámica pueden ser tanto de ganancia como de pérdida y por lo tanto dicha dinámica no es direccional (representada por la línea punteada de color azul). Las flechas de color marrón en el interior del círculo representan los cambios producidos por disturbios puntuales de diferente intensidad; entre más gruesas son las flechas más intenso es el disturbio. Cuando la intensidad o la extensión de un disturbio son modestas, el bosque maduro puede mantener sus atributos y en los procesos de regeneración participan pocos individuos. Los disturbios de mayor intensidad pueden llevar al bosque maduro o al bosque sucesional al punto inicial de la sucesión. A su vez, la resistencia del bosque maduro disminuye en sentido contrario a las manecillas del reloj (barra de color rojo de intensidad decreciente dentro del círculo) conforme los elementos del bosque primario desaparecen; además de la pérdida de biomasa, se reduce la diversidad vegetal y, en consecuencia, disminuyen la redundancia y la posibilidad de que haya rutas complementarias (o alternativas) de reciclaje de materia y energía.



La razón de estas inconsistencias terminológicas podría residir en los diferentes marcos conceptuales utilizados para estudiar la recuperación de la vegetación, los cuales dependen de la escala espacio-temporal y de la intensidad del disturbio que la afectó. La recuperación asociada a los disturbios de gran magnitud, los cuales remueven toda o la mayoría de la biomasa en un lugar, son examinados dentro del marco conceptual de la sucesión secundaria (Horn, 1974; Turner et al., 1998; Johnson y Miyanishi, 2007). A su vez, la sucesión secundaria, definida de manera gruesa como el reemplazo direccional de especies y comunidades hasta que se alcanza una cierta estabilidad, se ha abordado fundamentalmente desde la perspectiva de la sinecología (ecología de comunidades y ecosistemas; Barbour et al., 1999).

Por otro lado, la recuperación del bosque que tiene lugar después de disturbios de pequeña escala, como los ocasionados por la caída de una rama o la muerte de un árbol, puede operar a partir de otros mecanismos, por ejemplo, la expansión de las copas de árboles vecinos o el crecimiento de individuos jóvenes que ya estaban presentes en el subdosel o el sotobosque (Messier et al., 1999). Estos procesos tienen una correspondencia más estrecha con el ámbito de la autoecología (ecofisiología y ecología de poblaciones; Barbour et al., 1999). Por supuesto, entre estos dos extremos existe una infinidad de situaciones intermedias; por ejemplo, la caída de un árbol de gran tamaño que arrastre en su caída a otros elementos del bosque y que cree un claro o hueco del dosel de gran tamaño (McNab et al., 2004) puede disparar simultáneamente procesos interpretables desde ambas perspectivas.

Estas situaciones intermedias dieron origen a un nuevo marco conceptual, conocido como dinámica de claros (Pickett y White, 1985). Por ejemplo, aun los bosques más prístinos tienen ciertos niveles de mortalidad o pérdida tanto natural (e.g., por senescencia o patógenos) como accidental (e.g., rayos, vientos, etc.), ya sea de partes de sus individuos (ramas o troncos) o de árboles completos. Cuando sólo resultan dañadas algunas partes de un individuo, el efecto será básicamente autoecológico o fisiológico (Putz et al., 1983). Sin embargo, cuando el disturbio involucra árboles de gran tamaño, los procesos de dinámica de claros se vuelven relevantes (Arriaga, 1988; Yamamoto, 2000; Dietze y Clark, 2008; Dechnik-Vázquez et al., 2016), mientras que si la comunidad es impactada por un huracán u otro disturbio intenso y de gran extensión, entonces operarían los procesos sucesionales propios del nivel comunitario (Vandermeer et al., 2004). Todos estos marcos conceptuales han permitido hacer grandes avances en el entendimiento de la recuperación de la vegetación, pero la prevalencia de cada uno depende esencialmente de la magnitud del disturbio.

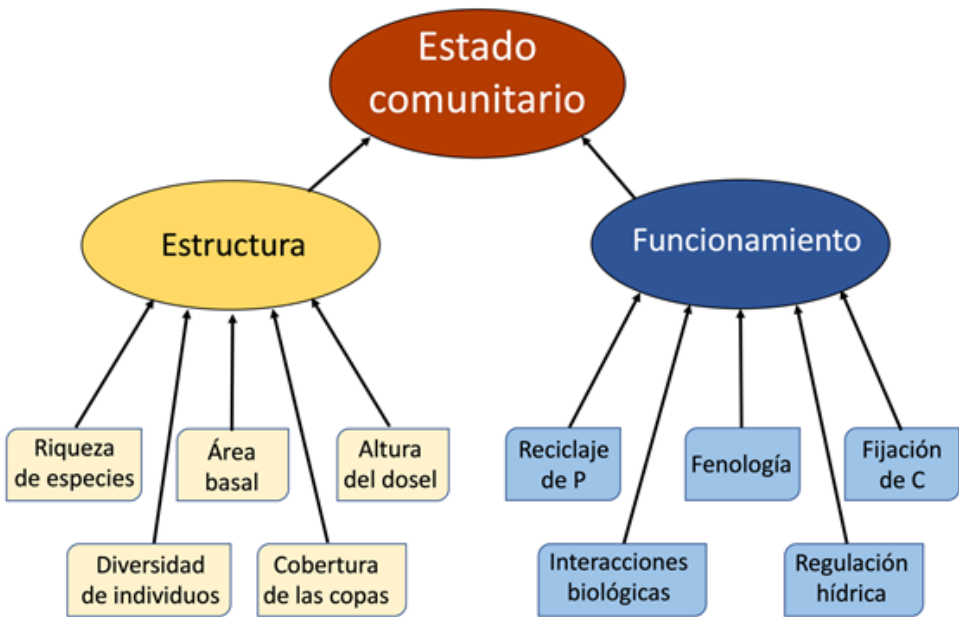
En virtud de las diferencias en el grado de perturbación en los ecosistemas, puede ser difícil elegir el marco conceptual más apropiado para estudiar la resiliencia, ya que hay una cierta superposición en los límites de sus enfoques. Para resolver esta disyuntiva, basta con reconocer que las diferentes comunidades sucesionales (conocidas como etapas serales) y los bosques maduros en realidad representan diferentes estados de un continuo ecológico (Norden et al., 2015). Cuando nos damos cuenta de esto, se hace evidente la necesidad de desarrollar nuevos enfoques que conciben a las comunidades vegetales de forma integral, considerando la gama completa de procesos (van Breugel et al., 2006; Rozendaal et al., 2017) y escalas temporales y espaciales involucradas en la recuperación de los bosques (Muñoz, 2018).

Cuando se desea determinar el estado de recuperación de una comunidad vegetal, ya sea de un bosque o cualquier otro tipo de vegetación, es necesario establecer el estado basal o punto de referencia contra el cual se tendrían que hacer las comparaciones. Como quedó establecido en la primera sección de este ensayo, es difícil establecer dicho estado de referencia debido a la naturaleza siempre cambiante de las condiciones ambientales, sobre todo del clima. Además, para complicar más las cosas, las diferentes variables o indicadores que se usan para describir la estructura de la vegetación no responden de la misma manera ni a la misma velocidad.

4 ESTADO COMUNITARIO: VARIABLE LATENTE MEDIBLE A TRAVÉS DE SUS COMPONENTES

El estudio de la dinámica de la vegetación requiere cuantificar de una manera tan precisa como sea posible el estado de la comunidad, pues solo a partir de esta información se podrá establecer cuánto cambia la vegetación en el tiempo, en qué dirección lo hace y con respecto a cuáles atributos. El estado de una comunidad en un punto en el tiempo puede definirse como la estructura y el funcionamiento de la vegetación en dicho momento. Sin embargo, estos dos componentes son propiedades abstractas que no son medibles de forma directa, y por ello debemos recurrir a otras variables que sí pueden ser cuantificadas y que reflejan el estado de estas propiedades. En otras palabras, el estado comunitario y sus dos componentes fundamentales –la estructura y el funcionamiento–, son variables latentes (i.e., atributos que no son directamente medibles, cuyas características son inferidas a partir de otras variables), mientras que las variables directamente cuantificables son variables observadas; a estas últimas se les conoce como ‘variables de estado’ (Figura 4).

Figura 4. Modelo del estado comunitario en un punto en el tiempo. El estado comunitario está definido por la estructura y el funcionamiento de la vegetación en dicho momento. El estado comunitario y sus dos componentes básicos son variables latentes (representados por los óvalos), es decir, no se pueden cuantificar directamente, y por ello deben medirse de manera indirecta por medio de variables o atributos que sí son susceptibles de medición directa. A estas últimas se les conoce como 'variables de estado' (representadas por los rectángulos).



Para estudiar la dinámica de la vegetación, podemos definir al estado comunitario como un espacio n -dimensional, donde cada dimensión representa cada una de las variables de estado de la vegetación. Esta idea es análoga al concepto multidimensional del nicho de las especies propuesto hace más de 60 años por G. Evelyn Hutchinson y ampliamente usado en la ecología teórica (Begon et al., 2006). El número de variables de estado potencialmente cuantificables es grande y esto dificulta la evaluación de la comunidad en su totalidad. En la práctica, sin embargo, en el estudio de la dinámica de las comunidades vegetales solo se utilizan unas pocas variables indicadoras que son conspicuas y que además están directamente relacionadas con funciones y características relevantes del sistema, tales como la biomasa, la densidad de individuos o el número de especies presentes en la comunidad (e.g., Holling, 1996; Norden et al., 2015; Poorter et al., 2016). Por ejemplo, la biomasa es un indicador de la cantidad de carbono almacenado en las plantas y de la productividad del sistema (Gurevitch et al., 2002); a su vez, la densidad se relaciona con el tipo, pero sobre todo con la intensidad de las interacciones poblacionales (Callaway y Walker, 1997) y la distribución de la biomasa

en el espacio (Stankova y Diéguez-Aranda, 2017), mientras que el número de especies usualmente está relacionado con la variedad de estrategias de aprovechamiento de recursos por parte de los organismos (Cardinale et al., 2007). Si bien estas variables de estado se usan con mucha frecuencia y de forma generalizada, su interpretación requiere cautela porque no siempre describen con precisión la estructura y el grado de desarrollo de la vegetación (Villéger et al., 2008).

El marco teórico de la resiliencia, así como los conceptos que hacen posible su evaluación en sistemas ecológicos reales, nos ayudan a entender los cambios que sufre la vegetación en un ambiente intrínsecamente cambiante, incluso sin la presencia humana. Sin embargo, es innegable que el ser humano se ha convertido en una de las fuentes más importantes de transformación ambiental por la extensión y magnitud de su huella ecológica. Por este motivo, el estudio de la resiliencia de la vegetación es una herramienta fundamental para entender su dinámica y, sobre todo, para poder predecir cuál será su futuro en el Antropoceno (Walker et al., 2004; Steffen et al., 2007).

5 LA VEGETACIÓN EN EL ANTROPOCENO

Tanto en América del Norte como en Sudamérica, la dinámica de la vegetación ha sido afectada por un 'nuevo' agente de disturbio crónico y que ha moldeado los paisajes de formas inéditas a partir del fin de la última glaciación del Pleistoceno. Con la llegada de los seres humanos a estos continentes hace unos 15 a 18 mil años (Bodner et al., 2012), las comunidades vegetales comenzaron a modificarse de nuevas maneras. En un principio, la caza alteró la abundancia de animales herbívoros y dispersores de semillas (Barnosky et al., 2004; Guthrie, 2006) y esto a su vez afectó a las abundancias relativas de las especies vegetales.

Más tarde, con la invención de la agricultura y el uso del fuego se comenzaron a eliminar grandes extensiones de bosques. El impacto es tan generalizado que para muchas regiones no sabemos bien a bien cómo era su cubierta vegetal antes de la ocupación humana. En México, dos ejemplos bien conocidos son la cuenca del Valle de México y la región del Bajío (Rzedowski y Rzedowski, 2001; Rzedowski et al., 2014). Durante miles de años de civilización agrícola, es probable que todos los ecosistemas potencialmente incendiables ya hayan sido afectados por el fuego al menos en una ocasión.

De hecho, se ha argumentado que algunas comunidades vegetales, por ejemplo, los bosques de pino localizados en los alrededores de áreas densamente pobladas,

en realidad son comunidades 'artificiales' (Rzedowski, 1978; Loidi, 1998), producto del efecto combinado de los fuegos recurrentes y la tala selectiva, aunados al efecto de la defaunación (Dirzo et al., 2014) y la extracción crónica de hongos, frutos, leña y otros productos no maderables (Ticktin, 2004). Otro posible ejemplo de estas comunidades artificiales lo tenemos en el trópico estacionalmente seco de México. En dichas regiones, algunas comunidades vegetales típicas de la sucesión secundaria no tienen correspondencia con los bosques nativos. Por lo tanto, es posible que estos acahuales (nombre con el que se conoce en México a estos bosques en desarrollo sucesional) dominados por leguminosas espinosas (Romero-Duque et al., 2007; Lebrija-Trejos et al., 2008), sean en realidad bosques o matorrales 'artificiales' creados de forma accidental por los seres humanos, a pesar de ser un componente común de la cubierta vegetal en los paisajes de grandes áreas del país (Rzedowski et al., 2014).

Desde tiempos prehispánicos, debido al aumento de la población y al desarrollo urbano, los bosques han sido afectados por la extracción selectiva de especies maderables y este fenómeno se ha incrementado en tiempos modernos, lo cual seguramente ha promovido nuevos cambios en su estructura y composición (Villela et al., 2006). En realidad, no se han podido evaluar con precisión los efectos de la tala selectiva; esta actividad difiere mucho entre localidades ya sea porque se realiza en diferentes estados de la vegetación o porque el volumen de extracción y el tipo de especies cosechadas varían dependiendo de factores sociales, económicos y culturales (Rist et al., 2012). Para complicar la situación, hay sinergismos complejos entre los factores involucrados, es decir, el fuego, la defaunación, la extracción selectiva de especies, la presencia de especies exóticas, el cambio climático global y el aumento de CO₂ en la atmósfera (Ticktin, 2004; Botkin et al., 2007; Dirzo et al., 2014).

Todos estos procesos han hecho que las comunidades vegetales modernas diverjan más fuertemente de lo que lo harían en ausencia de seres humanos (Tabarelli et al., 2012; Arroyo-Rodríguez et al., 2013). Asimismo, es probable que la vegetación del futuro nunca sea igual a la que existió previamente, por ejemplo, en el siglo pasado. Es decir, el estado basal de la vegetación que se pudo haber definido en la generación de nuestros padres y abuelos seguramente será diferente del que tratarán de definir las siguientes generaciones (Figura 5).

Figura 5. En el sur de México, como en muchas otras partes del planeta, es indudable que la vegetación de grandes áreas consideradas actualmente en buen estado de conservación sufrió un fuerte impacto humano en el pasado, cuando gran parte de ese territorio se destinaba a la producción agrícola. Imagen de la zona arqueológica de Calakmul (Campeche), México, en una de las áreas de conservación más importantes de bosque tropical en el país.



(Foto: Jorge A. Meave).

La vegetación predominante en el siglo XXI estará conformada mayoritariamente por comunidades alteradas por la actividad humana. Esto explica por qué son cada vez más frecuentes las voces que afirman que ya no tiene sentido separar los sistemas sociales de los ecológicos (Reyers et al., 2018). La mayoría de los bosques que lograrán sobrevivir en el futuro serán comunidades secundarias, es decir, estarán en diferentes etapas serales o estados de desarrollo (Bongers et al., 2015). Por ello, gran parte de la investigación sobre la dinámica de los bosques se está enfocando actualmente en el estudio de estas comunidades y los procesos de regeneración natural (Chazdon, 2014). Sin embargo, la amenaza inminente de los efectos del cambio climático y las crecientes necesidades humanas nos obliga a reflexionar sobre si ese es el único camino a seguir. Aceptando el hecho de que las comunidades vegetales son entidades dinámicas, que no tienen un estado basal único y que la idea de mantener comunidades prístinas en un planeta sobrepoblado es utópica, debemos promover nuevas líneas de investigación que nos permitan mantener comunidades vegetales funcionales, al margen de si se parecen o no a las originales. Por ejemplo, los ecólogos de la vegetación podrían explorar nuevas

formas de acelerar la regeneración natural, reconocer e incluso incrementar el valor económico de la vegetación secundaria, creando incentivos para evitar que esta sea desmontada, o buscar vías para la construcción de comunidades vegetales que fijen CO₂ más eficientemente, que promuevan la infiltración del agua al subsuelo o que protejan los suelos contra la erosión.

En síntesis, es muy probable que en el futuro nuestro afán por definir el estado basal o de referencia de la vegetación a partir de un bosque prístino pierda sentido. Tal vez la tarea más urgente será asegurarnos de que persista una cubierta vegetal suficiente y funcional que permita atender diferentes necesidades, tanto sociales como de conservación, desdibujando cada vez más la frontera –siempre artificial– entre la investigación básica y la aplicada (Seastedt et al., 2008). Idealmente, deberemos mantener comunidades vegetales que representen, tanto como sea posible, comunidades prístinas, con características más o menos parecidas a las que existían en el pasado. No obstante, en este momento la humanidad enfrenta el reto de construir de manera artificial, pero con el apoyo de tanta información como sea posible, nuevas comunidades vegetales que brinden servicios ecosistémicos eficientemente para enfrentar las necesidades siempre crecientes de la población humana. Este cambio de paradigma podría repercutir en la conceptualización misma de la resiliencia, ya que además de incluir a los componentes de resistencia y recuperación a los disturbios naturales y antropogénicos, deberá incorporar también la capacidad de evolucionar y transformarse con los cambios, particularmente en el contexto del desarrollo sustentable (Reyers et al., 2018).

REFERENCIAS

Archibold, O. W. (1995). *Ecology of world vegetation*. Chapman and Hall, Londres, Reino Unido. <https://doi.org/10.1007/978-94-011-0009-0>

Arriaga, L. (1988). Gap dynamics of a tropical cloud forest in northeastern Mexico. *Biotropica*, 20(3), 178-184. <https://doi.org/10.2307/2388232>

Arroyo-Rodríguez, V., Rös, M., Escobar, F., Melo, F. P., Santos, B. A., Tabarelli, M. & Chazdon, R. (2013). Plant β -diversity in fragmented rain forests: testing floristic homogenization and differentiation hypotheses. *Journal of Ecology*, 101(6), 1449-1458. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12153>

Austin, M. P. (2006). Vegetation and environment: discontinuities and continuities. En E. van der Maarel (ed.). *Vegetation ecology* (pp. 52-84). Blackwell Science, Malden, Estados Unidos de América.

Barbour, M. G., Burk, J. H., Pitts, W. D., Gilliam, F. S. & Schwartz, M. W. (1999). *Terrestrial plant ecology* (3ª ed.). Benjamin/Cummings, Menlo Park, Estados Unidos de América.

Barnosky, A. D., Koch, P. L., Feranec, R. S., Wing, S. L. & Shabel, A. B. (2004). Assessing the causes of Late Pleistocene extinctions on the continents. *Science*, 306(5693), 70-75. <https://doi.org/10.1126/science.1101476>

- Begon, M., Townsend, C. R. & Harper, J. L. (2006). *Ecology: from individuals to ecosystems* (4a ed.). Blackwell, Malden, Estados Unidos de América.
- Behling, H. (2003). Late glacial and Holocene vegetation, climate and fire history inferred from Lagoa Nova in the southeastern Brazilian lowland. *Vegetation History and Archaeobotany*, 12(4), 263-270. <https://doi.org/10.1007/s00334-003-0020-9>
- Bekker, M. F. & Taylor, A. H. (2010). Fire disturbance, forest structure, and stand dynamics in montane forests of the southern Cascades, Thousand Lakes Wilderness, California, USA. *Ecoscience*, 17(1), 59-72. <https://doi.org/10.2980/17-1-3247>
- Berga, M., Székely, A. J. & Langenheder, S. (2012). Effects of disturbance intensity and frequency on bacterial community composition and function. *PLoS One*, 7(5), e36959. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0036959>
- Bodner, M., Perego, U. A., Huber, G., Fendt, L., Röck, A. W., Zimmermann, B., Olivieri, A., Gómez-Carballa, A., Lancioni, H., Angerhofer, N., Bobillo, M. C., Corach, D., Woodward, S. R., Salas, A., Achilli, A., Torroni, A., Bandelt, H.-J. & Parson, W. (2012). Rapid coastal spread of First Americans: novel insights from South America's Southern Cone mitochondrial genomes. *Genome Research*, 22, 811-820. <https://dx.doi.org/10.1101%2Fgr.131722.111>
- Bongers, F., Chazdon, R., Poorter, L. & Peña-Claros, M. (2015). The potential of secondary forests. *Science*, 348(6235), 642-643. <https://doi.org/10.1126/science.348.6235.642-c>
- Botkin, D. B., Saxe, H., Araújo, M. B., Betts, R., Bradshaw, R. H. W., Cedhagen, T., Chesson, P., Dawson, T. P., Etterson, J. R., Faith, D. P., Ferrier, S., Guisan, A., Hansen, A. S., Hilbert, D. W., Loehle, C., Margules, C., New, M., Sobel, M. J. & Stockwell, D. R. B. (2007). Forecasting the effects of global warming on biodiversity. *BioScience*, 57(3), 227-236. <https://doi.org/10.1641/B570306>
- Box, E. O. & Fujiwara, K. (2006). Vegetation types and their broad-scale distribution. En E. van der Maarel (ed.) *Vegetation ecology* (pp. 106-128). Blackwell Science, Malden, Estados Unidos de América.
- Bush, M. B. & Colinvaux, P. A. (1990). A pollen record of a complete glacial cycle from lowland Panama. *Journal of Vegetation Science*, 1(1): 105-118. <https://doi.org/10.2307/3236060>
- Cadenasso, M. L., Pickett, S. T. A. & Grove, J. M. (2006). Dimensions of ecosystem complexity: heterogeneity, connectivity, and history. *Ecological Complexity*, 3(1), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2005.07.002>
- Callaway, R. M. & Walker, L. R. (1997). Competition and facilitation: a synthetic approach to interactions in plant communities. *Ecology*, 78(7), 1958-1965. [https://doi.org/10.1890/0012-9658\(1997\)078\[1958:CAFASA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(1997)078[1958:CAFASA]2.0.CO;2)
- Cardinale, B. J., Wright, J. P., Cadotte, M. W., Carroll, I. T., Hector, A., Srivastava, D. S., Loreau, M. & Weis, J. J. (2007). Impacts of plant diversity on biomass production increase through time because of species complementarity. Impacts of plant diversity on biomass production increase through time because of species complementarity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 104(46), 18123-18128. <https://doi.org/10.1073/pnas.0709069104>
- Carrión, J. S. (2010). The concepts of potential natural vegetation (PNV) and other abstractions (trying to pick up fish with wet hands). *Journal of Biogeography*, 37(11), 2213-2215. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2010.02419.x>
- Chazdon, R. L. (2003). Tropical forest recovery: legacies of human impact and natural disturbances. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 6(1-2), 51-71. <https://doi.org/10.1078/1433-8319-00042>

Chazdon, R. L. (2014). *Second growth. The promise of tropical forest regeneration in an age of deforestation*. University of Chicago Press, Chicago. <https://doi.org/10.7208/chicago/9780226118109.001.0001>

Correa-Metrio, A., Bush, M. B., Cabrera, K. R., Sully, S., Brenner, M., Hodell, D. A., Escobar, J. & Guilderson, T. (2012). Rapid climate change and no-analog vegetation in lowland Central America during the last 86,000 years. *Quaternary Science Reviews*, 38, 63-75 <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2012.01.025>

Crowley, T. J. & Lowery, T. S. (2000). How warm was the Medieval Warm Period? *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 29(1), 51-54. <https://doi.org/10.1579/0044-7447-29.1.51>

Dale, V. H., Joyce, L. A., McNulty, S., Neilson, R. P., Ayres, M. P., Flannigan, M. D., Hanson, P. J., Irland, L. C., Lugo, A. E., Peterson, C. J., Simberloff, D., Swanson, F. J., Stocks, B. J. & Wotton, B. M. (2001). Climate change and forest disturbances: climate change can affect forests by altering the frequency, intensity, duration, and timing of fire, drought, introduced species, insect and pathogen outbreaks, hurricanes, windstorms, ice storms, or landslides. *BioScience*, 51(9), 723-734. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2001\)051\[0723:CCAFD\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2001)051[0723:CCAFD]2.0.CO;2)

Daruka, I. & Ditlevsen, P. D. (2016). A conceptual model for glacial cycles and the middle Pleistocene transition. *Climate Dynamics*, 46(1-2), 29-40. <https://doi.org/10.1007/s00382-015-2564-7>

Dechnik-Vázquez, Y. A., Meave, J. A., Pérez-García, E. A., Gallardo-Cruz, J. A. and Romero-Romero, M. A. (2016). The effect of treefall gaps on the understorey structure and composition of the tropical dry forest of Nizanda, Oaxaca, Mexico: implications for forest regeneration. *Journal of Tropical Ecology*, 32(2), 89-106. <https://doi.org/10.1017/S0266467416000092>

Dietze, M. C. & Clark, J. S. (2008). Changing the gap dynamics paradigm: vegetative regeneration control on forest response to disturbance. *Ecological Monographs*, 78(3), 331-347. <https://doi.org/10.1890/07-0271.1>

Dirzo, R., Young, H. S., Galetti, M., Ceballos, G., Isaac, N. J. B., & Collen, B. (2014). Defaunation in the Anthropocene. *Science*, 345(6195), 401-406. <https://dx.doi.org/10.1126/science.1251817>

Fieguth, P. (2017). *An introduction to complex systems. society, ecology and nonlinear dynamics*. Springer, Cham, Suiza. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-44606-6>

Garwood, N. C., Janos, P. D. & Brokaw, N. (1979). Earthquake-caused landslides: a major disturbance to tropical forests. *Science*, 205(4410), 997-999. <https://doi.org/10.1126/science.205.4410.997>

Grime, J. P. (2001). *Plant strategies and vegetation processes*. 2ª ed., John Wiley & Sons, Chichester, Reino Unido.

Gurevitch, J., Scheiner, S. M. & Fox, G. A. (2002). *The ecology of plants*. Sinauer, Sunderland, Estados Unidos de América.

Guthrie, R. D. (2006). New carbon dates link climatic change with human colonization and Pleistocene extinctions. *Nature*, 441, 207-209. <https://doi.org/10.1038/nature04604>

Heusser, L. E., Hendy, I. L. & Barron, J. A. (2015). Vegetation response to southern California drought during the Medieval Climate Anomaly and early Little Ice Age (AD 800–1600). *Quaternary International*, 387, 23-35. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2014.09.032>

Hodgson, D., McDonald, J. L. & Hosken, D. J. (2015). What do you mean, 'resilient'? *Trends in Ecology & Evolution*, 30(9), 503-506. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2015.06.010>

- Holling, C. S. (1996). Engineering resilience versus ecological resilience. En Schulze, P. E. (ed.), *Engineering within ecological constraints* (pp. 31-43). National Academy Press, Washington D.C., Estados Unidos de América. <https://doi.org/10.17226/4919>
- Hooper, D. U., Chapin III, F. S., Ewel, J. J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., Lawton, J. H., Lodge, D. M., Loreau, M., Naeem, S., Schmid, B., Setälä, H., Symstad, A. J., Vandermeer, J. & Wardle, D. A. (2005). Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*, 75(1), 3-35. <https://doi.org/10.1890/04-0922>
- Horn, H. S. (1974). The ecology of secondary succession. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 5, 25-37. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.05.110174.000325>
- Johnson, E. A. & Miyanishi, K. (2007). Disturbance and succession. En E. A. Johnson & Miyanishi, K. (eds.) *Plant disturbance ecology: the process and the response* (pp. 1-14). Elsevier, Amsterdam, Países Bajos. <https://doi.org/10.1016/B978-012088778-1/50003-0>
- Keenan, R. J. & Kimmins, J. P. (1993). The ecological effects of clear-cutting. *Environmental Reviews*, 1(2), 121-144. <https://www.jstor.org/stable/envirevi.1.2.121>
- Kenkel, N. C. (1988). Pattern of self-thinning in jack pine: testing the random mortality hypothesis. *Ecology*, 69(4): 1017-1024. <https://doi.org/10.2307/1941257>
- Lamb, H. H. (1995). *Climate, history and the modern world*. Routledge, Londres, Reino Unido. <https://doi.org/10.4324/9780203433652>
- Lapola, D. M., Oyama, M. D., Nobre, C. A. & Sampaio, G. (2008). A new world natural vegetation map for global change studies. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 80(2), 397-408. <https://doi.org/10.1590/s0001-37652008000200017>
- Lebrija-Trejos, E., Bongers, F., Pérez-García, E. A. & Meave, J. A. (2008). Successional change and resilience of a very dry tropical deciduous forest following shifting agriculture. *Biotropica*, 40(4), 422-431. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7429.2008.00398.x>
- Loidi, J. (1998). Sobre "Los Bosques Ibéricos". *Lazaroa*, 19, 183-188. <https://revistas.ucm.es/index.php/LAZA/article/view/44614>
- Loreau, M., Naeem, S., Inchausti, P., Bengtsson, J., Grime, J. P., Hector, A., Hooper, D. U., Huston, M. A., Raffaelli, D., Schmid, B., Tilman, D. & Wardle, D. A. (2001). Biodiversity and ecosystem functioning: current knowledge and future challenges. *Science*, 294(5543), 804-808. <https://dx.doi.org/10.1126/science.1064088>
- Matthews, J. A. & Briffa, K. R. (2005). The 'Little Ice Age': re-evaluation of an evolving concept. *Geografiska Annaler*, 87(1), 17-36. <https://doi.org/10.1111/j.0435-3676.2005.00242.x>
- McCauley, D. J., Power, E. A., Bird, D. W., McInturff, A., Dunbar, R. B., Durham, W. H., Micheli, F. & Young, H. S. (2013). Conservation at the edges of the world. *Biological Conservation*, 165, 139-145. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.05.026>
- McNab, W. H., Greenberg, C. H. & Berg, E. C. (2004). Landscape distribution and characteristics of large hurricane-related canopy gaps in a southern Appalachian watershed. *Forest Ecology and Management*, 196(2-3), 435-447. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.04.004>
- Messier, C., Doucet, R., Ruel, J. C., Claveau, Y., Kelly, C. & Lechowicz, M. J. (1999). Functional ecology of advance regeneration in relation to light in boreal forests. *Canadian Journal of Forest Research*, 29(6), 812-823. <https://doi.org/10.1139/x99-070>

Mumby, P. J., Chollet, I., Bozec, Y. M. & Wolff, N. H. (2014). Ecological resilience, robustness and vulnerability: how do these concepts benefit ecosystem management? *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 7, 22-27. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2013.11.021>

Muñoz Avilés, R. 2018. Resiliencia del bosque tropical caducifolio: un análisis desde la perspectiva de los procesos antagonísticos. Tesis (Maestría en Ciencias), Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México. <http://132.248.9.195/ptd2018/mayo/0774416/Index.html>

Norden, N., Angarita, H. A., Bongers, F., Martínez-Ramos, M., Granzow-de la Cerda, I., van Breugel, M., Lebrija-Trejos, E., Meave, J. A., Vandermeer, J., Williamson, G. B., Finegan, B., Mesquita, R. & Chazdon, R. (2015). Successional dynamics in Neotropical forests are as uncertain as they are predictable. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 112(26), 8013-8018. <https://doi.org/10.1073/pnas.1500403112>

Patten, D. T. (1998). Riparian ecosystems of semi-arid North America: diversity and human impacts. *Wetlands*, 18(4), 498-512. <https://doi.org/10.1007/BF03161668>

Penna, A. N. (2015). *The human footprint. A global environmental history*. 2ª ed. Wiley-Blackwell, Chichester, Reino Unido.

Pérez-García, E. A. & Meave, J. A. (2005). Heterogeneity of xerophytic vegetation of limestone outcrops in a tropical deciduous forest region in southern México. *Plant Ecology*, 175(2), 147-163. <https://doi.org/10.1007/s11258-005-4841-8>

Pickett, S. T. A. & Cadenasso, M. L. (2006). Vegetation dynamics. En: E. van der Maarel (ed.). *Vegetation ecology* (pp. 172-194). Blackwell Science, Malden, Estados Unidos de América.

Pickett, S. T. A. & White, P. S. (eds.) (1985). *The ecology of natural disturbance and patch dynamics*. Academic Press, Orlando, Estados Unidos de América. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-02952-3>

Poorter, L., Bongers, F., Aide, T. M., Almeyda Zambrano, A. M., Balvanera, P., Becknell, J. M., Boukili, V., Brancalion, P. H. S., Broadbent, E. N., Chazdon, R. L., Craven, D., de Almeida-Cortez, J. S., Cabral, G. A. L., de Jong, B. H. J., Denslow, J. S., Dent, D. H., DeWalt, S. J., Dupuy, J. M., Durán, S. M., Espirito-Santo, M. M., Fandino, M. C., César, R. G., Hall, J. S., Hernández-Stefanoni, J. L., Jakovac, C. C., Junqueira, A. B., Kennard, D., Letcher, S. G., Licona, J.-C. Lohbeck, M., Marin-Spiotta, E., Martínez-Ramos, M., Massoca, P., Meave, J. A., Mesquita, R., Mora, F., Muñoz, R., Muscarella, R., Nunes, Y. R. F., Ochoa-Gaona, S., de Oliveira, A. A., Orihuela-Belmonte, E., Peña-Claros, M., Pérez-García, E. A., Piotto, D., Powers, J. S., Rodríguez-Velázquez, J., Romero-Pérez, I. E., Ruiz, J., Saldarriaga, J. G., Sanchez-Azofeifa, A., Schwartz, N. B., Steininger, M. K., Swenson, N. G., Toledo, M., Uriarte, M., van Breugel, M., van der Wal, H., Veloso, M. D. M., Vester, H. F. M., Vicentini, A., Vieira, I. C. G., Bents, T. V., Williamson, G. B. & Rozendaal, D. M. A. (2016) Biomass resilience of tropical secondary forests. *Nature*, 530(7589): 211-214. <https://doi.org/10.1038/nature16512>

Poorter, L., van der Sande, M. T., Thompson, J., Arets, E. J. M. M., Alarcón, A., Álvarez-Sánchez, J., Ascarrunz, N., Balvanera, P., Barajas-Guzmán, G., Boit, A., Bongers, F., Carvalho, F. A., Casanoves, F., Cornejo-Tenorio, G., Costa, F. R. C., de Castilho, C. V., Duivenvoorden, J. F., Dutrieux, L. P., Enquist, B. J., Fernández-Méndez, F., Finegan, B., Gormley, L. H. L., Healey, J. R., Hoosbeek, M. R., Ibarra-Manríquez, G., Junqueira, A. B., Levis, C., Licona, J. C., Lisboa, L. S., Magnusson, W. E., Martínez-Ramos, M., Martínez-Yrizar, A., Martorano, L. G., Maskell, L. C., Mazzei, L., Meave, J. A., Mora, F., Muñoz, R., Nytc, C., Pansonato, M. P., Parr, T. W., Paz, H., Simoes Penello, M. Pérez-García, E. A., Rentería, L. Y., Rodríguez-Velázquez, J., Rozendaal, D. M. A., Ruschel, A. R., Sakschewski, B., Salgado Negret, B., Schiatti, J., Sinclair, L., Souza, P. F., Souza, F. C., Stropp, J., ter Steege, H., Swenson, N. G., Thonicke, K., Toledo, M., Uriarte, M., van der Hout, P., Walker, P., Zamora, N. & Peña-Claros, M. (2015). Diversity enhances carbon storage in tropical forests. *Global Ecology and Biogeography*, 24(11), 1314-1328. <https://doi.org/10.1111/geb.12364>

- Potts, D. L., Huxman, T. E., Enquist, B. J., Weltzin, J. F. & Williams, D. G. (2006). Resilience and resistance of ecosystem functional response to a precipitation pulse in a semi-arid grassland. *Journal of Ecology*, 94(1), 23-30. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2005.01060.x>
- Pretzsch, H. (2009). Forest dynamics, growth, and yield: a review, analysis of the present state, and perspective. En *Forest dynamics, growth and yield. From measurement to model* (pp. 1-39). Springer, Berlin, Heidelberg, Alemania. https://doi.org/10.1007/978-3-540-88307-4_1
- Putz, F. E., Coley, P. D., Lu, K., Montalvo, A. & Aiello, A. (1983). Uprooting and snapping of trees: structural determinants and ecological consequences. *Canadian Journal of Forest Research*, 13(5), 1011-1020. <https://doi.org/10.1139/x83-133>
- Rankin, W. T. & Tramer, E. J. (2002). Understory succession and the gap regeneration cycle in a *Tsuga canadensis* forest. *Canadian Journal of Forest Research*, 32(1), 16-23. <https://doi.org/10.1139/x01-168>
- Reyers, B., Folke, C., Moore, M. L., Biggs, R. & Galaz, V. (2018). Social-ecological systems insights for navigating the dynamics of the Anthropocene. *Annual Review of Environment and Resources*, 43, 267-289. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-110615-085349>
- Ribeiro, M. C., Metzger, J. P., Martensen, A. C., Ponzoni, F. J. & Hirota, M. M. (2009). The Brazilian Atlantic Forest: how much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. *Biological Conservation*, 142(6), 1141-1153. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2009.02.021>
- Rist, L., Shanley, P., Sunderland, T., Sheil, D., Ndoye, O., Liswanti, N. & Tieguhong, J. (2012). The impacts of selective logging on non-timber forest products of livelihood importance. *Forest Ecology and Management*, 268, 57-69. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.04.037>
- Romero-Duque, L. P., Jaramillo, V. J. & Pérez-Jiménez, A. (2007). Structure and diversity of secondary tropical dry forests in Mexico, differing in their prior land-use history. *Forest Ecology and Management*, 253(1-3), 38-47. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.07.002>
- Rozendaal, D. M. A., Chazdon, R. L., Arreola-Villa, F., Balvanera, P., Bentos, T. V., Dupuy, J. M., Hernández-Stefanoni, J. L., Jacobac, C. C., Lebrija-Trejos, E. E., Lohbeck, M., Martínez-Ramos, M., Massoca, P. E. S., Meave, J. A., Mesquita, R. C. G., Mora, F., Pérez-García, E. A., Romero-Pérez, I. E., Saenz-Pedroza, I., van Breugel, M., Williamson, G. B & Bongers, F. (2017). Demographic drivers of aboveground biomass dynamics during secondary succession in Neotropical dry and wet forests. *Ecosystems*, 20(2), 340-353. <https://doi.org/10.1007/s10021-016-0029-4>
- Rull, V. (2015). Long-term vegetation stability and the concept of potential natural vegetation in the Neotropics. *Journal of Vegetation Science*, 26(3), 603-607. <https://doi.org/10.1111/jvs.12278>
- Rykiel Jr., E. J. 1985. Towards a definition of ecological disturbance. *Australian Journal of Ecology*, 10(3), 361-365. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.1985.tb00897.x>
- Rzedowski, J. (1978). *Vegetación de México*. Limusa, México D.F., México.
- Rzedowski, G. C. & J. Rzedowski. 2001. *Flora Fanerogámica del Valle de México*, Instituto de Ecología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Pátzcuaro, México.
- Rzedowski, J., Zamudio, S., Calderón de Rzedowski, G. & Paizanni, A. (2014). El bosque tropical caducifolio en la cuenca lacustre de Pátzcuaro (Michoacán, México). *Flora del Bajío y de regiones adyacentes, fascículo complementario XXIX*, Instituto de Ecología A.C., Centro Regional del Bajío, Pátzcuaro, México.
- Saunders, D. A., Arnold, G. W., Burbidge, A. A. & Hopkins, A. J. M. (eds.) (1987). *Nature conservation: the role of remnants of native vegetation*. Surrey Beatty and Sons, Chipping Norton, Reino Unido.

- Schimel, D. S., VEMAP Participants & Braswell, B. H. (1997). Continental scale variability in ecosystem processes: models, data, and the role of disturbance. *Ecological Monographs*, 67(2): 251-271. [https://doi.org/10.1890/0012-9615\(1997\)067\[0251:CSVIEP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9615(1997)067[0251:CSVIEP]2.0.CO;2)
- Seastedt, T. R., Hobbs, R. J. & Suding, K. N. (2008). Management of novel ecosystems: are novel approaches required? *Frontiers in Ecology and the Environment*, 6(10), 547-553. <https://doi.org/10.1890/070046>
- Sheil, D. & Murdiyarso, D. (2009) How forests attract rain: an examination of a new hypothesis. *BioScience*, 59(4), 341-347. <https://doi.org/10.1525/bio.2009.59.4.12>
- Sheil D. & Wunder, S. (2002). The value of tropical forest to local communities: complications, caveats, and cautions. *Conservation Ecology*, 6(2), art9. <https://hdl.handle.net/10568/18570>
- Sprugel, D. G. (1991). Disturbance, equilibrium, and environmental variability: what is 'natural' vegetation in a changing environment? *Biological Conservation*, 58(1), 1-18. [https://doi.org/10.1016/0006-3207\(91\)90041-7](https://doi.org/10.1016/0006-3207(91)90041-7)
- Stankova, T. V. & Diéguez-Aranda, U. (2017). A two-component dynamic stand model of natural thinning. *Forest Ecology and Management*, 385, 264-280. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.11.023>
- Steffen, W., Crutzen, P. J. & McNeill, J. R. 2007. The Anthropocene: are humans now overwhelming the great forces of nature? *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 36(8), 614-621. [https://doi.org/10.1579/0044-7447\(2007\)36\[614:taahno\]2.0.co;2](https://doi.org/10.1579/0044-7447(2007)36[614:taahno]2.0.co;2)
- Stringer, C. & Galway-Witham, J. (2017). On the origin of our species. *Nature*, 546(7657), 212-214. <https://doi.org/10.1038/546212a>
- Tabarelli, M., Peres, C. A. & Melo, F. P. (2012). The 'few winners and many losers' paradigm revisited: emerging prospects for tropical forest biodiversity. *Biological Conservation*, 155, 136-140. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.06.020>
- Tanner, E. V. J., Kapos, V. & Healey, J. R. (1991). Hurricane effects on forest ecosystems in the Caribbean. *Biotropica*, 23(4), 513-521. <https://doi.org/10.2307/2388274>
- Terradas, J. (2001). *Ecología de la vegetación: de la ecofisiología de las plantas a la dinámica de comunidades y paisajes*. Omega, Barcelona, España.
- Thompson, I., Mackey, B., McNulty, S. & Mosseler, A. (2009). Forest resilience, biodiversity, and climate change: a synthesis of the biodiversity/ resilience/stability relationship in forest ecosystems. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, Technical Series no. 43, Montreal, Canadá. <https://www.cbd.int/doc/publications/cbd-ts-43-en.pdf>
- Ticktin, T. (2004). The ecological implications of harvesting non-timber forest products. *Journal of Applied Ecology*, 41(1), 11-21. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2004.00859.x>
- Turner, M. G., Baker, W. L., Peterson, C. J. & Peet, R. K. (1998). Factors influencing succession: lessons from large, infrequent natural disturbances. *Ecosystems*, 1(6), 511-523. <https://doi.org/10.1007/s100219900047>
- Valiente-Banuet, A. & Verdú, M. (2013). Plant facilitation and phylogenetics. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 44, 347-366. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110512-135855>
- van Breugel, M., Martínez-Ramos, M. & Bongers, F. (2006). Community dynamics during early secondary succession in Mexican tropical rain forests. *Journal of Tropical Ecology*, 22(6), 663-674. <https://doi.org/10.1017/S0266467406003452>

- Vandermeer, J., Granzow de la Cerda, I., Perfecto, I., Boucher, D., Ruiz, J. & A. Kaufmann, A. (2004). Multiple basins of attraction in a tropical forest: evidence for nonequilibrium community structure. *Ecology*, 85(2), 575-579. <https://doi.org/10.1890/02-3140>
- Villela, D. M., Nascimento, M. T., de Aragão, L. E. O. & Da Gama, D. M. (2006). Effect of selective logging on forest structure and nutrient cycling in a seasonally dry Brazilian Atlantic forest. *Journal of Biogeography*, 33(3), 506-516. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2005.01453.x>
- Villéger, S., Mason, N. W. H. & Mouillot, D. (2008). New multidimensional functional diversity indices for a multifaceted framework in functional ecology. *Ecology*, 89(8), 2290-2301. <https://doi.org/10.1890/07-1206.1>
- Vitousek, P. M., Mooney, H. A., Lubchenco, J. & Melillo, J. M. (1997). Human domination of Earth's ecosystems. *Science*, 277(5325), 494-499. <https://doi.org/10.1126/science.277.5325.494>
- Walker, B., Holling, C. S., Carpenter, S. R. & Kinzig, A. (2004). Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. *Ecology and Society*, 9(2), 5. <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art5/>
- Walter, H. & Box, E. (1976). Global classification of natural terrestrial ecosystems. *Vegetatio*, 32(2), 75-81. <https://doi.org/10.1007/BF02111901>
- Willis, K. J., Jeffers, E. S. & Tovar C. (2018). What makes a terrestrial ecosystem resilient? *Science*, 359(6379), 988-989. <https://doi.org/10.1126/science.aar5439>
- Wisz, M. S., Pottier, J., Kissling, W. D., Pellissier, L., Lenoir, J., Damgaard, C. F., Dormann, C. F., Forchhammer, M. C., Grytnes, J.-A., Guisan, A. Heikkinen, R. K., Høye, T. T., Kühn, I., Luoto, M., Maiorano, L., Nilsson, M.-C., Normand, S., Öckinger, E., Schmidt, N. M., Termansen, M., Timmermann, A., Wardle, D. A., Aastrup, P. & Svenning, J. C. (2013). The role of biotic interactions in shaping distributions and realised assemblages of species: implications for species distribution modelling. *Biological Reviews*, 88(1), 15-30. <https://doi.org/10.1111/j.1469-185X.2012.00235.x>
- Wood, B. (1992). Origin and evolution of the genus *Homo*. *Nature*, 355(6363), 783-790. <https://doi.org/10.1038/355783a0>
- Yamamoto, S. -I. (2000). Forest gap dynamics and tree regeneration. *Journal of Forest Research*, 5(4), 223-229. <https://doi.org/10.1007/BF02767114>

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

A

Ácidos húmicos 120, 121, 123, 130
Active tourism 282, 285
Adsorbentes de baixo custo 296, 297, 298, 299, 306
Agricultura de base ecológica 261, 267
Agricultura familiar 149, 162, 236, 241, 243, 245, 248, 254, 261, 263, 266, 267, 270
Agricultura industrial 228, 229, 230
Agricultura sustentável 160, 220
Agriculturização 41, 43, 47
Agrobiodiversidade 255, 256, 257, 259
Agroecologia 144, 146, 149, 151, 159, 161, 162, 236, 237, 252, 253, 254, 260, 261, 269, 270, 341
Agrofloresta 143, 144, 145, 146, 147, 148, 149, 151
Agrotóxicos 238, 249, 250, 252, 329, 330, 331, 332, 333, 334, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343
Área de Proteção Permanente 143, 144
Aridez 152, 157
Atividade leiteira 238, 240, 241, 245, 246, 247, 248, 249, 250, 252
Avena sativa 55, 56, 57, 59

B

Baccharis spp 132, 133, 135, 140
Biocompósito 311, 312, 313, 314, 315, 316

C

Caatinga 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 213, 214, 215
Callejones 55, 56, 57, 58, 59, 60, 61
Cambio climático 2, 3, 14, 15, 42, 43, 52, 53, 74, 82, 169, 229, 307
Carboximetilcelulose 318, 319, 320, 321, 322, 323, 324, 326, 327
Compactación 41, 46, 48, 50, 51
Comunicação de Riscos 329, 331, 334
Comunidades vegetales funcionales 2, 15

Conhecimento agroecológico 255, 257, 259, 269
Conservação 143, 149, 193, 197, 205, 207, 208, 209, 210, 212, 256, 260, 282, 290, 291, 292, 294
Conservación 2, 15, 16, 41, 52, 62, 157, 165, 169, 171, 175, 235
Contaminación 25, 38, 221, 223, 227, 235, 297, 298, 299, 307
Contaminación ambiental 221, 227, 299
Cultura 238, 239, 240, 241, 242, 243, 246, 247, 248, 249, 251, 252, 260, 271, 272, 273, 274, 275, 277, 278, 279, 328
Cultura da soja 238, 239, 240, 241, 242, 243, 246, 247, 249, 251, 252

D

Densidad 5, 12, 41, 46, 49, 50, 51, 52, 69, 72, 98, 121, 125, 126, 127, 128, 129, 180, 181, 183, 184, 185, 187, 188, 328
Desenvolvimento rural sustentável 254, 261, 269, 270, 271
Detección de cambios 65, 66, 67, 69, 70, 72, 78
Dinámica de la vegetación 1, 2, 4, 9, 11, 12, 13
DRX 311, 312, 313, 314

E

Ebenaceae 168, 169, 170, 177, 178
Ecológico 4, 5, 8, 11, 13, 15, 221, 222, 237, 251, 254, 269
Educação ambiental 289, 290, 291, 292, 333
Eficiencia del uso del agua 55, 56
Energías renovables 84, 85
Erosión 16, 41, 42, 43, 44, 46, 48, 49, 52, 53, 230, 235
Estabelecimento de plântulas 194, 203
Evapotranspiración 56, 57, 58, 67, 96, 116
Extensão rural 238, 241, 246, 248, 254, 260, 261, 263, 264, 265, 267, 268, 269, 270, 329, 331, 333, 338, 341

F

Fechas de siembra 180, 181, 184, 186, 187, 234, 236
Fertilización 48, 180, 181, 183, 184, 185, 188, 236
Fitoquímica 169, 170

G

Germinação de sementes 194, 202, 206, 208, 209, 210, 212, 213, 214

Gestión 42, 44, 52, 63, 84, 85, 159, 163, 233

Grano 66, 69, 172, 180, 181, 182, 183, 184, 185, 186, 187, 188, 189

H

Herbácea 56, 57, 58, 62, 63, 182, 199

Heritage 280, 281, 282, 283, 287

Horticultura 124, 184, 213, 221, 227, 328

Huerta 131, 152, 153, 154, 155, 157, 158

I

Imágenes Landsat 65, 67, 68

Imágenes multitemporales 65, 69

Indicadores de sustentabilidad 228, 229, 231, 232, 233, 234

Índices de vegetación 65, 66, 67, 68, 69, 71

Inestabilidad climática 2, 5

Infiltración 16, 41, 46, 47, 48, 49, 51, 52, 156

Insolación 96, 97, 98, 99, 115

Inteligencia computacional 95, 96

Investigación Acción Participativa 228, 229, 237

Irrigation water 24, 26, 27, 28, 29, 190

J

JBR 197, 289, 290, 291, 292, 293

L

Land change modeler 132, 136

Landsat 65, 67, 68, 73, 132, 133, 135, 142

Logística Reversa 329, 330, 331, 332, 333, 334, 336, 338, 340, 341, 342, 343

M

Manejo do solo 121, 124

Manga 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317

Memória hídrica 194, 196, 198, 200, 201, 203, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214

Mezquite 152, 153, 154, 155, 157, 158

Modelo 9, 12, 68, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 102, 103, 104, 105, 108, 109, 110, 111, 114, 115, 116, 124, 142, 143, 145, 146, 152, 154, 157, 158, 163, 228, 230, 231, 242, 250, 255, 256, 257, 262, 267, 282, 301, 322

Montemuro 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280

O

Optimización 84, 101, 175, 177, 192, 299

Organo-argilominerais 311, 312, 313

P

Permeability 24, 26, 28, 35, 37, 178

Pesquisa 55, 122, 123, 124, 125, 129, 193, 196, 197, 198, 199, 240, 241, 243, 257, 261, 263, 264, 266, 267, 269, 270, 273, 274, 290, 291, 293, 294, 313, 320, 330, 335, 336, 344

“Picos de Europa” 281, 282, 283, 284, 285, 286, 287, 288

PLA 26, 29, 38, 311, 312, 313, 314, 315, 316

Plantio 143, 146, 147, 247, 255, 256, 257, 258, 260, 292, 318, 320

Polimérico, 312, 319, 321, 323, 324, 328

Política pública 160, 246

Predicción 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 105, 107, 108, 109, 110, 111, 112, 114, 115, 116

Produção de base ecológica 238, 249, 251, 252, 254

Protected area 132, 134, 138

R

Redes alimentarias alternativas 159, 160, 161

Relação E4/E6 121, 126, 129

Remote sensing 73, 132, 133, 135, 141

Restauração Florestal 144, 290

Riego 24, 25, 37, 38, 63, 84, 85, 86, 87, 88, 90, 91, 93, 94, 95, 101, 154, 156, 180, 181, 183, 184, 185, 188, 189, 235, 308

S

Salinization and sodification 24, 26, 27, 29

Saúde 265, 277, 319, 320, 329, 330, 331, 335, 336, 337, 338, 339, 340, 341, 342, 343

Segmentación de Series Hidrometeorológicas 74, 75, 79

Seguridad alimentaria y nutricional 160, 162, 167

Sementes 193, 194, 195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202, 203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210, 211, 212, 213, 214, 215, 250, 255, 256, 257, 258, 259, 260, 292, 293

Silvestre 169, 171, 172, 175

Solos temperados 120, 121, 122, 124

Solos tropicais 120, 121, 123, 125, 126, 129

Sustainable management 24, 283

Sustancia coloidal 220, 221, 222

Sustentable 16, 25, 37, 63, 76, 82, 83, 152, 153, 158, 160, 161, 162, 163, 164, 166, 168, 169, 170, 171, 176, 177, 189, 230, 231, 233, 237

T

Teatro 271, 272, 273, 274, 275, 276, 277, 278, 279, 280

Travel Cost Method 282, 284, 286, 288

V

Variabilidade 41, 42, 75, 79, 84, 89, 182, 183, 184

Z

Zapotillo 169, 171



**EDITORA
ARTEMIS**