

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.

|                          |  |
|--------------------------|--|
| <b>Editora Chefe</b>     | Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira |
| <b>Editora Executiva</b> | M.ª Viviane Carvalho Mocellin            |
| <b>Direção de Arte</b>   | M.ª Bruna Bejarano                       |
| <b>Diagramação</b>       | Elisangela Abreu                         |
| <b>Organizadora</b>      | Prof. Dr. Eduardo Eugênio Spers          |
| <b>Imagem da Capa</b>    | Shutterstock                             |
| <b>Bibliotecário</b>     | 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 Monte Verde, *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 Lívia do Carmo, *Universidade Federal de Goiás*  
 Prof.ª Dr.ª Luciane Spanhol Bordignon, *Universidade de Passo Fundo*  
 Prof. Dr. Manuel Ramiro Rodríguez, *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 Maurícea 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 Viciado](#)

[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 12 .....152**

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 17 .....220**

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 18 .....228**

CARACTERIZACIÓN AGROECOLÓGICA DE SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIOS SIPAS

[Gustavo Adolfo Alegría Fernández](#)

DOI 10.37572/EdArt\_29042134718

**CAPÍTULO 19 .....238**

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 20 .....255**

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

[Luís Pedro Alves Gonçalves](#)

DOI 10.37572/EdArt\_29042134720

**CAPÍTULO 21 .....261**

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 22 .....271**

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 23 .....281**

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

[Orlando Simões](#)

[Isabel Dinis](#)

[Rui Gomes](#)

DOI 10.37572/EdArt\_29042134723



**CAPÍTULO 24 .....289**

**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 25 .....296**

**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 Meirery Nery dos Santos](#)

[Geziel Rodrigues de Andrade](#)

[Lincoln Carlos Silva de Oliveira](#)

**DOI 10.37572/EdArt\_29042134727**

**CAPÍTULO 28.....329**

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 COMPLEJO<sup>1</sup>

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

<sup>1</sup> 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 <sup>xvii</sup>, <sup>xviii</sup> y <sup>xix</sup> (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).

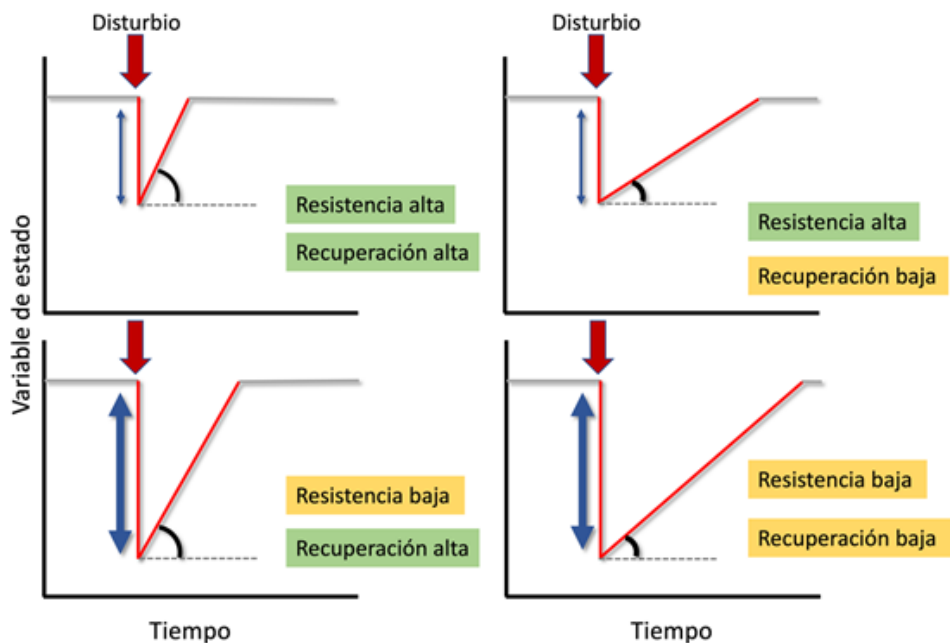
### 3 ESTABILIDAD Y RESILIENCIA

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).

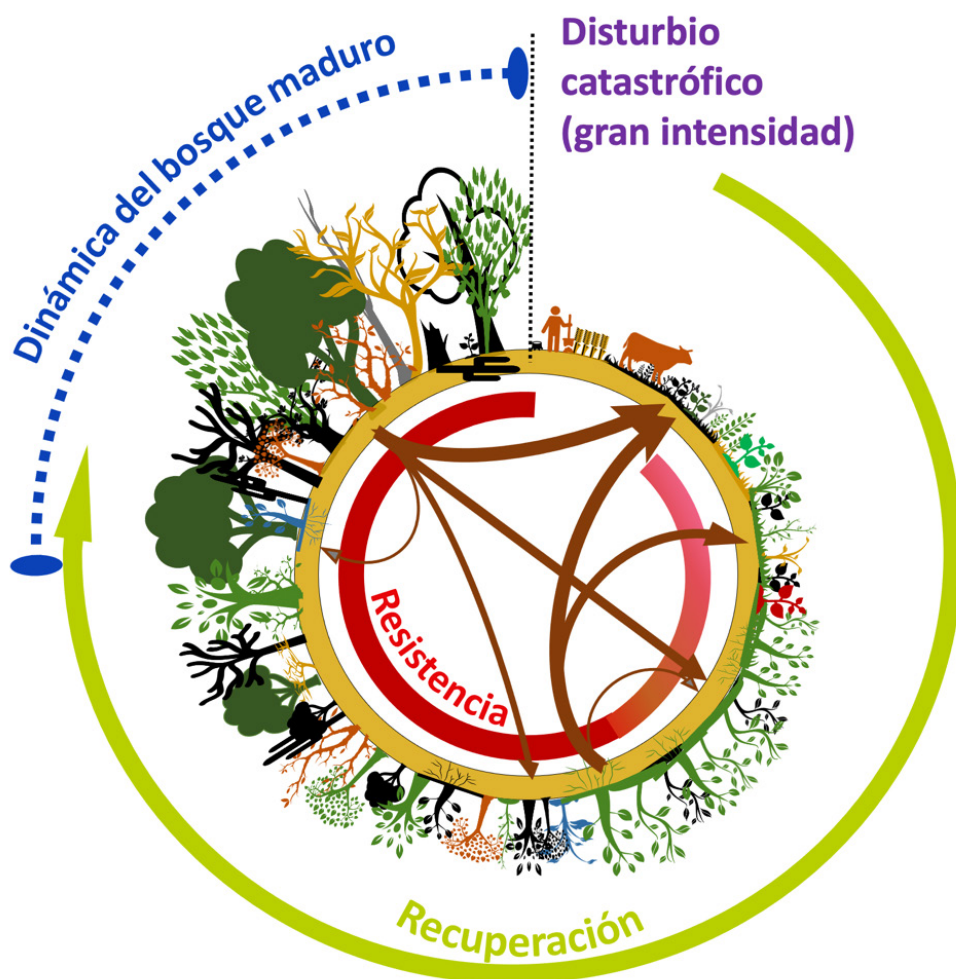
Los organismos que forman las comunidades bióticas poseen adaptaciones morfológicas y fisiológicas que les permiten enfrentar una gama de disturbios de diferentes intensidades, por lo que dichas comunidades con frecuencia –pero no siempre– recuperan un estado similar al que tenían antes del disturbio (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 Murdiyarso, 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.



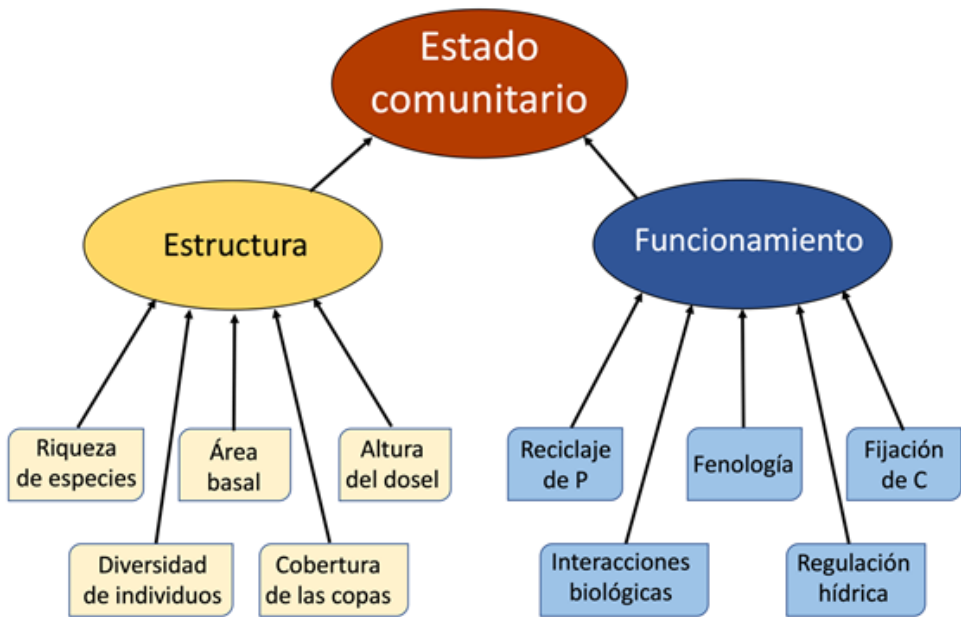
En virtud de las diferencias en el grado de perturbación en los ecosistemas, puede ser difícil elegir el marco conceptual más apropiado para estudiar la resiliencia, ya que hay una cierta superposición en los límites de sus enfoques. Para resolver esta disyuntiva, basta con reconocer que las diferentes 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 conciban 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub> 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  $\beta$ -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\[1958:CA FASA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/0012-9658(1997)078[1958:CA FASA]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 Baixos. <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., Chollett, 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 antagónicos. 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., Espírito-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., Bentos, 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., Nyth, C., Panonato, 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., Schietti, 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, Alemanha. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-88307-4\\_1](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>

## CAPÍTULO 2

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

*Data de submissão: 05/02/2021*

*Data de aceite: 04/03/2021*

**Margarita M. Alconada Magliano**

Edafología,  
Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales,  
Universidad Nacional de La Plata,  
Calle 60 y 119 s/N (1900)  
La Plata, Argentina  
margaalconada@yahoo.com.ar

**Luciano Juan**

Edafología,  
Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales,  
Universidad Nacional de La Plata,  
Calle 60 y 119 s/N (1900)  
La Plata, Argentina  
lulajuan83@yahoo.com.ar

**ABSTRACT:** Horticultural Belts throughout the country present common productive, environmental, social, and economic problems. In all cases, an analysis of the causes of the negative effects of these production systems is required in order to obtain sustainable productions. In this paper, some soil, irrigation water and productive management relationships in greenhouses of the Horticultural Belt of Gran La Plata, Buenos Aires, Argentina, are analyzed to promote reflective thinking about a state of actions and inactions that, in all cases,

lead to degradation and contamination of soil, water and crop products, with social and economic consequences, which begins with the salinization and sodification of soils. Possible origins of diagnostic errors, that are part of the problem, are exposed. Holistic procedures and visions are needed to modify the way in which soil, irrigation water, and the procedures that help prevent salinization and sodification are studied and analyzed, and associated degradations are established. Several practices (organic amendments, solarization, biofumigation, drains) that are intended to improve soil original conditions and degradations are proposed. It is necessary to know the single and combined effects of a very high number of natural and anthropic variables that interact in intensive productive schemes in order to decide with scientific and technological rigor, possible actions for effectively sustainable productions.

**KEY WORDS:** Salinization and sodification. Permeability. Irrigation water. Sustainable management.

**SUELOS AFECTADOS POR SALES EN SISTEMAS PRODUCTIVOS PROTEGIDOS. AGUA DE RIEGO Y MANEJO PRODUCTIVO**

**RESUMEN:** Los Cinturones Horticolas de todo el país presentan problemas productivos, ambientales, sociales y

económicos comunes. En todos los casos, a fin de obtener producciones sustentables, se requiere un análisis del origen de los efectos negativos que se generan en estos sistemas productivos. En este trabajo se analizan algunas relaciones entre el suelo, el agua de riego y el manejo productivo en invernaderos del Cinturón Hortícola del Gran La Plata, provincia de Buenos Aires, Argentina, con el objetivo de promover un pensamiento reflexivo sobre un estado de acciones e inacciones que, en todos los casos, conducen a la degradación y contaminación del suelo, agua y productos de cosecha, con consecuencias sociales y económicas, que comienzan con la salinización y sodificación del suelo. Se exponen posibles orígenes de estos procesos degradativos, y errores de diagnóstico, que son parte del problema. Se plantea la necesidad de modificar la forma en que se estudia el suelo y agua de riego, debiendo incorporarse visiones holísticas y procedimientos que contribuyan a prevenir la salinización y sodificación, y degradaciones asociadas. Se proponen diversas prácticas (enmiendas orgánicas, solarización, biofumigación, drenajes) que tienen como finalidad mejorar las condiciones originales y degradaciones del suelo. Es necesario conocer los efectos individuales y combinados de un muy elevado número de variables naturales y antrópicas que interactúan en estos esquemas productivos intensivos con la finalidad de decidir, con rigor científico y tecnológico, posibles acciones que efectivamente generen producciones sustentables.

**PALABRAS CLAVE:** Salinización y sodificación. Permeabilidad. Agua de riego. Manejo sustentable.

## 1 INTRODUCTION

*Intensive production, unsolved problems\_.* The technological level and management practices that are implemented in the so-called Horticultural Belts (HB) that surround the main cities of Argentina, depend on variables such as: surface of the establishments, form of land tenure, social components, labor and capital availability, technology access, production system and environmental characteristics. Some of these variables are shared by all HB, from the technological to the social, economic, productive and environmental consequences. They are characterized by high use of inputs, very high costs, varied productivity and profitability, with negative consequences on the environment in all cases. With the current production schemes, soils degradation, water and crop pollution, as well as damage to human health are widely denounced processes for different technical, scientific, and social fields, for more than 50 years. However, the persistence of some of the problems and even their exacerbation is alarming. It seems that some inescapable evidence cannot modify “immovable certainties” in the way to produce. The soils management in intensive crops is frequently carried out using procedures that are generally repeated year after year for decades. Although promising



modifications that include agroecological management, biological control and aspects related to crop ecophysiology are introduced, the production criterion is similar and could be erroneous when considering that the observed yield decreases and/or degradations are reversed with the use of more inputs, in type and quantity (Alconada-Magliano et al., 2018). On the other hand, from the scientific and technological fields, it is not possible to fill “the gap” of knowledge or inadequate transmissions to the productive sector, which is frequently occupied by commercial companies that promise solutions that should at least be more carefully analyzed. This lack of control is proof of an absent Argentine State in a dangerously autonomous food production scheme. Also, on occasion, research studies are carried out, which, although valuable, are not always part of a sequence of advances aimed at reversing environmental degradation and pollution. The reasons for insisting on some ways of producing and/or analyzing the problems that occur as a result of these operations are similar to that indicated by Pla Sentis (2014) for irrigated agriculture in other parts of the world: The cause-effect relationships of soil salinization-sodification and other degradation problems are not considered, as they are not addressed as hydrological processes that can be controlled at least in part.

In this paper, we analyze some relationships between soil, irrigation water and productive management of crops in greenhouses of the Horticultural Belt of Gran La Plata, to promote reflective thinking about a state of actions and inactions that in all cases lead to degradation and contamination of soils, water, and crop products, with social and economic consequences, which begins with the salinization and sodification of soils. The possible origins of the diagnostic errors that are part of the unsolved problem are analyzed. We would like to point out that it is possible to find solutions, if causes and effects, alone and in combination, of a very large number of variables which interact in intensive productive schemes are thoroughly analysed, without insisting on what is evidently not the right path to follow for solutions to be achieved.

## **2 ORIGEN AND CONSEQUENCES OF INTENSIVE PRODUCTION DEGRADATIONS OF GRAN LA PLATA HB**

Intensive production under plastic coverings generates, in all cases, soil degradation due to salinization, sodification, alkalization, organic matter decreases and structure and permeability loss that generate waterlogging, and associated with this, diseases and pests development. Attempts to revert this are made with the addition of fertilizers, organic fertilizers (manures), biocides in plants and in the soil, and more recently through the application of a significant number of products whose origin and effectiveness has not



been properly proven, such as are generically referred to as “biostimulants”, which include products marketed as “humic acids”. Although, under certain circumstances, beneficial effects are obtained, in general, it is difficult to attribute it to a particular practice, not being the effects permanent. Also, they do not solve the situation posed by not addressing the main problem (Alconada-Magliano et al. 2018). On the contrary, the greater use of uncontrolled inputs increases costs, decreases economic benefit, and contaminate harvest products, environment and mainly human consumption water (Auge, 2005).

## 2.1 ORIGIN OF THE PROBLEM

The origin of the problem starts by not considering the natural peculiarities of the soil and irrigation water which, although they vary within the region of Gran La Plata, have general physical-chemical characteristics that condition management. However, it is common to apply “recipes” that were generated for other regions of the world and productive schemes (hydroponics, sanded), and / or follow recommendations of commercial companies. Consequently, inorganic and organic fertilizers are added in excess. These are a source of nutrients, salts, and even pollutants, contributing to the salinization and sodification of soils and deficiencies of other nutrients. In the region is frequent the Ca deficiency in tomato and pepper fruits (Blossom end rot) still with very rich Ca values in soils. It should be noted that even some practices that try to improve drainage can incorporate salts and especially  $\text{Na}^+$ , such as gypsum depending on its quality (Magra and Ausilio, 2004). Regarding organic fertilizers, salinity-sodicity-alkalinity is very variable, and very high doses are used (approx.  $40 \text{ tn. ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$ ). For example, in a recent trial  $23.6 \text{ dS.m}^{-1}$  and  $13.5 \text{ dS.m}^{-1}$  were measured in uncomposted and composted rice husk chicken manure respectively (Larrieu et al. 2019). On products marketed as “humic acids”, it can be indicated that salinity, sodicity and alkalinity are also very variable. In a recent test carried out with a product that is marketed in the region, it was measured  $58.4 \text{ dS.m}^{-1}$  of EC, while the label indicates  $2.53 \text{ dS.m}^{-1}$ . with no yield improvements (unpublished).

Although in some cases soil nutrition is analyzed prior to the management, this is usually done on the superficial horizon without considering that it works as part of a much deeper soil that is linked to groundwater and other soil and landscape elements. Consequently, everything that is done on the surface has a deep impact and determines that the soil continues to be suitable for crops, as well as the groundwater continues to be potable for human consumption.

## 2.2 SOILS AND WATER IN THEIR NATURAL CONDITION

Figure 1 shows the soils where mainly the horticultural production of the region is developed, classified as *Vertic Argiudoll* (Seguí and Estancia Chica Series), and *Typic Hapludert* (Gorina Serie) (Soil Survey Staff, 1999 in Hurtado et al. 2006). In their natural condition their main limitation is a restricted permeability due to the presence of a large number of expansive type clays from the surface, mainly in the Gorina Serie, and a low phosphorus content. The rest of the chemical variables are at adequate levels. However, after the addition of P to improve the limiting natural condition, phosphoric acid continues to be added for pH control and because it is part of the disseminated “recipes”. The phosphoric acid results inconducent and P hyperfertilization is confirmed in many region studies (Alconada et al. 2000).

The irrigation water comes from two aquifers, the Pampeano and the Puelche, and they are characterized by a similar chemical composition due to the hydraulic communication that exists between them (Auge, 2005). This author indicates that Ca and Na bicarbonate type waters prevail in the Pampeano, and sodium in the Puelche, with saline levels between 0.5 and 1.0 g / l. The average chemical composition of water in the High Plain environment (intensive production area) is as follows:  $\text{HCO}_3^-$  7.6 me.l<sup>-1</sup> (89%);  $\text{Cl}^-$  me.l<sup>-1</sup> (11%) and similar in  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{SO}_4^{2-}$  0.4-0.45 me.l<sup>-1</sup>, (4-5%);  $\text{Na}^+$  7.7 me.l<sup>-1</sup> (77%);  $\text{Ca}^{+2}$  1 me.l<sup>-1</sup> (11%);  $\text{Mg}^+$  20.7 me.l<sup>-1</sup> (9%) and  $\text{K}^+$  0.25 me.l<sup>-1</sup> (3%) (Auge, 2005). As an example, Table 1 shows the water composition that irrigate soils in Figure 1 and in Table 2, ions participation in percentage terms.

Figure 1. Main soils horticultural production is carried out in Gran La Plata, Buenos Aires, Argentina

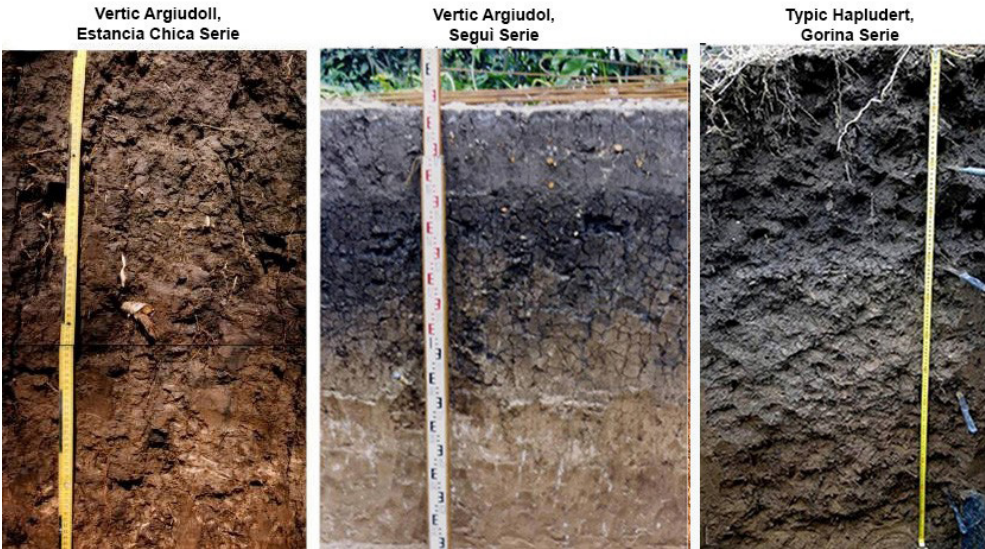


Table 1. Water chemical composition from different productive sites of Gran La Plata: pH, electric conductivity (EC in  $\mu\text{S} \cdot \text{m}^{-1}$ , cations and anions (me.  $\text{l}^{-1}$ ), sodium adsorption ratio (SAR) (modified from Alconada and Zembo, 2000)

| Water well | pH  | EC  | $\text{HCO}_3$ | TSS | Cl   | $\text{SO}_4$ | Ca   | Mg   | Na   | K    | $\text{CaCO}_3$ | SAR  |
|------------|-----|-----|----------------|-----|------|---------------|------|------|------|------|-----------------|------|
| A          | 7,8 | 700 | 8,63           | 758 | 0,79 | 0,21          | 0,82 | 7,10 | 1,88 | 1,26 | 396             | 0,94 |
| B          | 7,8 | 700 | 7,53           | 655 | 0,62 | 0,04          | 3,05 | 0,91 | 3,91 | 0,25 | 198             | 2,78 |
| C          | 7,9 | 550 | 6,03           | 538 | 0,45 | 0,08          | 3,20 | 3,05 | 1,61 | 0,33 | 313             | 0,91 |
| D          | 7,6 | 570 | 7,10           | 743 | 0,80 | 1,40          | 0,40 | 1,00 | 8,10 | 0,20 | 70              | 9,68 |
| E          | 7,3 | 758 | 6,74           | 591 | 0,42 | 0,35          | 3,40 | 1,89 | 1,91 | 0,34 | 265             | 1,17 |

An important variability is appreciated mainly in the cation content that significantly modify the effect on the soil (Pla Sentis, 2015). This author points out the need to incorporate classic measurements of SAR (Soil Adsorption Ratio) and ESP (Percent Exchangeable Sodium), using the CROSS index (Cations Ratio of Soil Structural Stability,  $\text{CROSS} = \text{Na} \cdot 0,56 \cdot \text{K} / [(\text{Ca} + 0,6\text{Mg})^2]^{1/2} \text{meq/l}^{1/2}$ ) in order to consider the dispersing effect of  $\text{Mg}^{+2}$  because in some circumstances this adds to the effect of the high  $\text{Na}^+$  level.

## 2.3 WATER QUALITY INTERPRETATION PROCEDURES

The US Lab. Staff (USDA, 1954) is the most widespread interpretation criteria in many laboratories in Argentina (Handbook N°60) which is currently in disuse in the world because it qualifies water in the opposite way to what happens in the soil. Thus, the dispersive effects that a high SAR would favor can be controlled with a higher salinity by allowing some flocculation (Porta et al. 1994). This is considered in the FAO criterion (Ayres and Wescott, 1987) where the combined effect of the SAR and EC is analyzed, as well as the effect of specific ions. However, greater precision in the calculation of the contributions or losses of dissolved or precipitated salts in the soil and in the composition of the drainage water, is presented in the SALSODIMAR Model (Pla Sentis, 1997, 1998, 2006, 2015). This model estimates the salinization and sodification processes of soils based on the associated hydrological processes. It calculates the salts balance and the interactions between the ions present in the irrigation water, groundwater and soil solution. It also considers the evapotranspiration (EVT), the hydrological properties of the soil, and foresees the needs of irrigation and washing, as well as the excesses that sharpen the degradations, for a particular climate and crop. It is a simple and fast calculation program (Excel sheet), and even when all the edaphic variables that are requested are not available, an estimation of them obtains better approximations than with other interpretation procedures (Alconada and Zembo, 2000).

Some examples are set out to incorporate considerations when interpreting water quality. In all cases, the waters presented in Table 1 produce a gradual increase in soil  $\text{Na}^+$  and pH, which is modified according to management. Figure 2 shows different handling of wet drip irrigation bulbs with D water in the *Typic Hapludert* (Table 1). In Figure 3 this soil is compared in its natural condition and degraded.

Figure 2. Wet irrigation bulbs: a) mishandling with saline halo (left); b) mishandling with salts, compaction and waterlogging (center); and c) management adjusted to soil condition without salts (right)



Figure 3. *Typic Hapludert* soil profile in its natural field condition, with granular structure (right), same soil under greenhouse, with surface cracking (left)



Figure 4 compares the *Vertic Argiudoll* in adjacent greenhouses with two management: type, traditional in the region (soil pulverization by tillage and indiscriminate handling of inputs) vs. good practices (crop rotation, green manures, chisel tillage, fertigation adjusted to the needs of the crop, etc). The waters correspond to those of type A, B or C (Table 1). The degradations produced are a result of the management implemented and do not arise only from the water quality.



Figure 4. *Typic Argiudoll*: traditional management with soil pulverization (left) vs. good practices (right)



### 3 MANAGEMENT PRACTICES

#### 3.1 USE OF ORGANIC AMENDMENTS

Compost is the result of the transformation process of animal and plant remains due to its use as food for different soil organisms (bacteria, fungi, worms, mites, insects, etc) (Romàn et al. 2013). In recent years, the volume of waste and the amount of organic matter that has been disposed has progressively increased. This poses a serious problem of waste disposal for society and on environmental conservation. Therefore, the elimination, reduction or reuse of biodegradable waste should be a priority of environmental policies. Composting is defined as a process of controlled aerobic transformation of organic materials contained in waste through the activity of microorganisms. This process takes place in a variable time of approximately 3 to 4 months, fulfilling three phases depending on the temperature each acquires: mesophilic (15 to 45°C), thermophilic (45 to 70°C) and maturation (at room temperature, 16°C), obtaining the transformation from an organic residue into a stable product, which can be free of pathogens and applied to the soil (Sztern and Pravia.1999; Romàn et al. 2013).

Composting gives the possibility of safely transforming organic waste into an input for agricultural production if the thermal cycle is reached. Reaching high temperatures reduces the presence of pathogens in the soil and weed seeds. If not, negative effects may occur. The compost can be a substrate, amendment or organic fertilizer for the soil,

because it improves soil conditions since it can increase water storage; the porosity of the soil and provide a greater number of nutrients than traditional fertilizers. It is also a way to reduce garbage in large quantities. An important feature of compost is the capability to influence soil microflora by suppressing many soil borned pathogens diseases such as *Pythium sp*, *Phytophthora sp*, *Fusarium sp* (Szczech and Smolińska, 2001; Borrero et al. 2004).

It should be noted that the mentioned advantages may not be achieved unless all aspects related to the quality of the waste and appropriate procedures to achieve a human health safe product are considered. As said before, use of organic amendments is very common in this area although is not clear for the farmers the reason of its use. Table 2 shows an analitical evaluation of organic amendments (modificated from Costa et al. 1991in Soler, 1998). This evaluation, like others present in literature and also the laws on the use and handling of hazardous waste, are not considered. In general, non-composted manure of varied origins are applied. This could bring different types of problems of degradation and contamination of soil, water and crop products.

In the *Typic Hapludert* (Figure 1) of the Gran La Plata region, studies were carried out comparing the effect on the soil and the crops of the aggregate of chicken bed manure without composting and the same material but composted. The doses were the most used in the region, 40 t-1. ha<sup>-1</sup>. year for non-composted chicken manure, and equivalent dose considering the organic carbon content of the same material but composted, a double dose of compost and a control without any application (Alconada et al. 2018, Larrieu, et al. 2019).

Figure 5 shows the materials used in this test with respect to a vermicompost (not tested this time). The crop management was the usual in the region but without the addition of inorganic fertilizers in irrigation carried out by drip system. No salinity was observed in any of the treatments with the lowest doses or in the witness. With the highest dose of compost, a slight salinization is appreciated. The absence of inorganic fertilizers avoided the salinization that is commonly observed with the traditional crop management, as shown in Figure 6. It is concluded in this study, that adjusted doses of composted manure can be used in replacement of synthetic fertilizers. It is noteworthy that the improvements in the physical properties of these soils due to the addition of these amendments were not conclusive, requiring further studies (Alconada-Magliano et al. 2018; Larrieu et al. 2019). Another result was a general increase in beneficial microbial population, having assured the elimination of pathogens by composting the materials. There was no significant nematode population in any case (Alconada-Magliano et al. 2018)

Table 2. Evaluation criterion of the chemical composition of organic amendments (compost) (modified from Costa *et al.* 1991 in Soler 1998)

|   |    | Low       | Medium     | High  |
|---|----|-----------|------------|-------|
| macronutrients %                            | N  | 0.5-1.5   | 1.5-3      | 3     |
|   | P  | 0.5-1     | 1-2        | 2     |
|   | K  | 0.02-0.16 | 0.15-0.3   | 0.3   |
|   | Ca | 0.6-1.5   | 1.5-3.5    | 3.5   |
|   | Mg | 0.1-0.25  | 0.25-0.4   | 0.4   |
|   | S  | 0.5-1.0   | 1-1.5      | 1.5   |
| micronutrients ppm                          | Fe | 1000-8000 | 8000-13000 | 15000 |
|   | Mn | 20-150    | 150-400    | 400   |
| heavy metals ppm                            | Pb | 100-400   | 400-1000   | 1000  |
|   | Zn | 100-1200  | 1200-2000  | 2000  |
|   | Cu | 100-600   | 600-1200   | 1200  |
|   | Ni | 20-100    | 100-200    | 200   |
|   | Cd | 1-15      | 15-35      | 35    |
| Electrical conductivity mS.cm <sup>-1</sup> |    | 0-1       | 1-2        | 2     |
| Humidity %                                  |    | 10-25     | 25-50      | 50    |
| Organic matter %                            |    | 35-50     | 50-65      | 65-80 |

Figure 5. Uncomposted (left) and composted (center) rice husk chicken manure and vermicompost (right)



Figure 6. Wet bulb from drip irrigation. Treatment with low dose compost (left), with high dose compost (center), and in traditional management with salinity and sodicity problems (right)





### 3.2 PHYSICAL METHODS FOR SOIL DISINFECTION: EXPERIENCES IN SOLARIZATION AND BIOFUMIGATION

The lack of crop rotation generates problems in the effectiveness of soil disinfection methods. Crop damage causes yield losses. According to this, it is increasingly important to look for management alternatives that allow facing various adversities. Soil disinfection is done in order to eliminate or reduce the presence of pathogens that may be present in the soil. There are chemical methods, such as the use of different types of fumigants, and physical methods, among which are the use of water vapor, solarization, biofumigation and biosolarization (Alconada, 2004; Alconada-Magliano et al. 2018).

- *Biofumigation*: consists of incorporating some type of organic matter into the soil (plant remains, manure), at a rate of 5 kg.m<sup>-2</sup> of soil, and then covering it with transparent polyethylene to cause the temperature to rise. It should be noted that the use of manure carries other risks as previously discussed. The decomposition of the incorporated organic matter releases toxic gases that serve to control pests and soil diseases, and may also have some effect on the weed seed. Among the plant species whose remains are more effective for good biofumigation are crucifers such as cabbage, broccoli, cauliflower, which, when decomposed, release a large amount of toxic compounds (methylisothiosyanate and ammonium). The good practices mentioned, with crucifers incorporation included were carried out in the photo in Figure 4. Figure 7 shows soil covered with transparent polyethylene that is being biofumigated.

Local biofumigation experiences were carried out in soil that had nematodes, incorporating traces of chopped broccoli (5 kg.m<sup>2</sup> of soil) (April 2011), leaving the soil covered with transparent polyethylene for 90 days. The practice was also tested in October 2012, comparing the effect of incorporating chicken bed and chopped broccoli (5 kg.m<sup>2</sup> of soil in both cases). The soil was covered with transparent polyethylene for 15 days (Figure.7), reaching average temperatures of 22.3°C in the biofumigation with chicken bed and 23.1°C when broccoli was incorporated. In all situations, after biofumigation, the presence of nematodes in the soil was significantly reduced although they were not completely eliminated. (Alconada-Magliano et al. 2018).

It is important to remember that for the biofumigation to be carried out correctly, it is necessary to take into account to incorporate organic matter into the soil, preferably well chopped cruciferous; that the soil is well tilled and humid, not flooded; to place the transparent polyethylene making good contact with the soil and that the site is exposed for several days, depending how many on the time of the year, to solar radiation.

Figure 7. Soil covered with polyethylene after organic matter incorporation for Biofumigation (photo M Cuellas)



### 3.3 SOIL DRAINAGE IMPROVEMENTS

As practices tested in the region with success to increase the rooting depth (effective depth) and improve water circulation are indicated: subsurface drains, tillage with subsoiled and to a lesser extent with chisel (Alconada Magliano et al, 2018).

*Tillage with chisel or subsoiler\_.* Regarding the use of chisels and subsoiler these are vertical tillage that allowed to increase the effective depth of the soil by decreasing the apparent density, improving water storage, and increasing productivity. In the region the use of subsoiler was more effective than chisel (Cerisola in Alconada Magliano et al. 2018).

*Gypsum\_.* The use of gypsum on soils is also a frequent practice in the region, and although it may produce temporary improvements (Cuellas, 2015), in general, the doses are insufficient for the proposed objective of replacing  $\text{Na}^+$  with  $\text{Ca}^{+2}$  and improving the soil structure. In soils such as those present in the region (Figure 1), it is necessary to improve subsurface permeability.

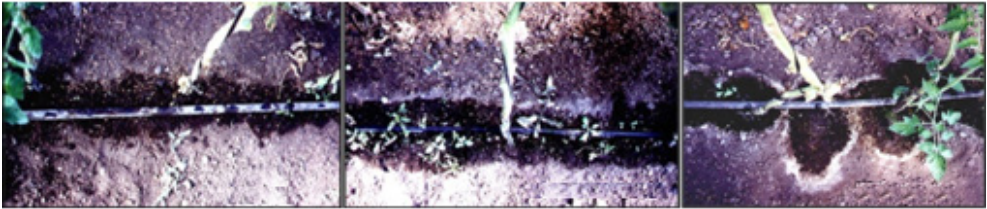
*Use of subsurface drains\_.* In cases where salts accumulation has occurred and / or soil conditions favor the accumulation of salts due to intensive management systems (Figure 1), subsurface drains can be installed in the most clayey horizon (Btss). In the region of the study, at approximately 20-30 cm depth was instated (Figure 8). These drains prevent the accumulation of surface water and the rise of salts when the soil dries between two consecutive irrigations.

Figure 9 shows the effect of drains over the surface of the *Typic Hapludert* soil (Figure 1). Figure 9 compares drains (without accumulation of salts), drains plus gypsum addition (slight accumulation of salts attributed to gypsum), soil with traditional management without drains (highly salinized). In Alconada-Magliano et al. (2018), Cuellas (2015) and Cuellas (2019), the installation details of these drains and the promising results obtained when they are properly installed (slope, depth, filtering material) are presented.

Figure 8. PVC drains installed on top of the Btss horizon covered with granite stone and detail of the drain with use of level to maintain slope



Figure 9. Effect of the drains on soil's surface: only drain (left), drains plus gypsum (center) and greenhouse with traditional management without drains



## 4 CONCLUSIONS

Salinization, sodicity, and/or alkalization, with loss of structure and permeability, is produced by inappropriate management practices for the natural conditions of soil and water of the region studied.

The water evaluation criteria of U.S. Salinity Lab.Staff (USDA, 1954) is not adequate. Procedures that consider the salt balance that results from the involved hydrological processes, depending on the soil, crop, climate, and management should be used. Productive and water management practices determine the magnitude of the observed degradations. Taking this to consideration it is possible to obtain sustainable productions with lower costs. Control depends mainly on handling.

The use of tillage tools that pulverize the soil should be avoided. Use of chisel or subsoil tillage (subsoiler), and subsurface drains, are suitable alternatives for poor drainage soils.

Use of organic amendments such as composted rice husk chicken manure, and other residue available composted, could be a good tool to improve poor or degraded soil conditions. But it is important to determine salinity and composition in order to evaluate the overall impact over the soil.

Composted manure application, controlled in quality and quantity, could replace the use of synthetic fertilizers in soils such as those of Gran La Plata.

In the same way, physical methods for soil disinfection could be used to decrease crop cost and chemicals use but it does not seem to be a definitive solution for plague and weed control.

The use of excess fertilizers and other commercial products not adequately known in their quality and purpose, exacerbate the problems of degradation and contamination of the soil, water and crop products.

## REFERENCES

Alconada, M ; L Giuffre; L Huergo y C Pascale. 2000. Hiperfertilización con fósforo de suelos Vertisoles y Molisoles en cultivo de tomate protegido. In: Avances en Ingeniería Agrícola 1998-2000, Ed. Facultad de Agronomía, UBA. 343-347p.

Alconada-Magliano, M. 2004. Desinfección del suelo con vapor. Efecto sobre la nutrición de los cultivos. Ediciones, INTA. 123p. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=AR2004000072>

Alconada M and J Zembo. 2000. Influencia cualitativa del riego con aguas subterráneas en suelos con producciones intensivas a campo y en invernáculo. 1er Joint World Congress on Groundwater. Brasil.

Alconada-Magliano M, SB Martínez and M Garbi (Ed). 2018. Producción intensiva flori-hortícola sustentable en el Gran La Plata, 61 p. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/73390>.

Ayers RS and DW Westcot (1987). Calidad del agua en la agricultura. FAO. 174p.

Auge MP. 2005. Hidrogeología de La Plata, Argentina. En RE de Barrio, RO Etcheverry, MF Caballe & E Llambias (Ed.) Geología y Recursos Minerales de la Provincia de Bs As. Relatorio del XVI Congreso Geológico Argentino, La Plata: Pp 293-312.

Borrero, C, Trillas, MI, Ordovás, J, Tello, JC, Avilés, M. 2004. Predictive factors for the suppression of Fusarium wilt of tomato in plant growth media. *Phytopathology*. 94, 1094-1101.

Hurtado M, J Giménez and M Cabral. 2006. Análisis Ambiental del partido de La Plata. Aportes al Ordenamiento territorial. Ed. 1ra. Buenos Aires: CFI.134p.

Cuellas, MV. 2015. Control de la salinización del suelo mediante sistemas de drenes en producciones intensivas de cultivos bajo cubierta. Tesis de Magister Sc en Ciencias del Suelo, UBA, 159 p <http://ri.agro.uba.ar/files/download/tesis/maestria/2015cuellasmarisol.pdf>

Cuellas, MV. 2019. Problemáticas de los suelos en producciones bajo cubierta del periurbano AMBA. VI Congreso de la RAS (Red Argentina de la Salinidad) de la AACs, FAUBA, Buenos Aires, Actas: 140 a 145. <http://share.agro.uba.ar/d/XhzRkgJe2Sb>

Larrieu, L; M Cuellas, AE Pellegrini y MM Alconada-Magliano. 2019. Enmiendas orgánicas sobre el suelo y cultivos hortícolas protegidos. VI Congreso de la RAS (Red Argentina de la Salinidad) de la AACs. FAUBA. Buenos Aires. 303-308.

Magra G y A Ausilio. 2004. Yeso agrícola: algunas características de diferentes productos existentes en el mercado. Facultad de Ciencias Agrarias. UNR.

Pla Sents I. 1997. Evaluación de los procesos de salinización de suelos bajo riego. *Edafología SECS (Spain)*: 241-267

Pla Sents I. 1998. Modelling the processes of dissolution and precipitation of salts in soils as related to management of irrigation and drainage. *Proc. 16th World Congress of Soil Science ISSS Montpellier (France)* I: 98-104

Pla Sents I. 2006. Hydrological approach for assessing desertification processes in the Mediterranean region. In: Kepner et al., Eds.) "Desertification in the Mediterranean Region: A Security Issue", Springer: 579-600.

Pla Sents I. 2015. Advances in the prognosis of soil sodicity under dryland and irrigated conditions. *International Soil and Water Conservation Research WASWAC (China)* 2(4): 50-63.

Porta JG; M López-Acevedo and C Roquero, 1994. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Ed. Mundi Prens. 807 p.

Soil Survey Staff. 1999. Soil taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. United States Department of Agriculture. *Agriculture Handbook* N° 436, 869 p.

Román, P, MM Martínez and A Pantoja. 2013. FAO Manual de compostaje del agricultor. 112p. <http://www.fao.org/docrep/019/i3388s/i3388s.pdf>

Soler Rovira, PA. 1998. Evaluación del impacto ambiental y riesgo de contaminación producidos por la aplicación agrícola de lodos de depuradora. Universidad Autónoma de Madrid. Facultad de Ciencia. Tesis Doctoral. 276 p.

Sztern D, and M Pravia. 1999. Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y procedimientos. Organización Panamericana de la Salud Organización Mundial de la Salud 69 p. <http://www.ingenieroambiental.com/newinformes/compost.pdf>

Szczech, M., Smolińska, U. 2001. Comparison of suppressiveness of vermicomposts produced from animal manures and sewage sludge against *Phytophthora nicotianae* Breda de Haan var. *nicotianae*. J. Phytopathol. 149, 77-82.

USDA, US Salinity Lab. Staff. 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils. 166p. [https://www.ars.usda.gov/ARSEUserFiles/20360500/hb60\\_pdf/hb60complete](https://www.ars.usda.gov/ARSEUserFiles/20360500/hb60_pdf/hb60complete).

## CAPÍTULO 3

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

Data de submissão: 25/01/2021

Data de aceite: 24/02/2021

#### **Eduardo de Sá Pereira**<sup>1</sup>

Doctor en Agronomía.

Universidad Nacional del Sur

INTA – Instituto Nacional de

Tecnología Agropecuaria.

Agencia de Extensión Rural Coronel Suárez

Área de Manejo de Suelo y Cultivos.

Sauce Corto 589 – (7540) Coronel Suárez

Pcia. de Buenos Aires – ARGENTINA

desapereira.eduardo@inta.gob.ar

CV

#### **Gonzalo Arroquy**<sup>1</sup>

Lic. en Economía y

Administración Agropecuaria

Universidad de Buenos Aires

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria

Agencia de Extensión Rural Coronel Suarez

Área de Economía.

Sauce Corto 589 – (7540) Coronel Suárez

Pcia. De Buenos Aires – ARGENTINA

CV

#### **Alberto Raul Quiroga**<sup>2</sup>

Doctor en Agronomía

Universidad Nacional del Sur

INTA – Instituto Nacional de

Tecnología Agropecuaria

EEA Anguil

Estación Experimental Agropecuaria Anguil

“Guillermo Covas” Anguil – Pcia de La Pampa

ARGENTINA.

CV

#### **Cristian Álvarez**<sup>2</sup>

Doctor en Geología

Universidad Nacional de Río Cuarto

INTA – Instituto Nacional de

Tecnología Agropecuaria

AER General Pico – EEA Anguil

Gral. Pico - Pcia. de La Pampa – ARGENTINA.

CV

#### **Romina Fernández**<sup>2</sup>

Doctora en Agronomía

Universidad Nacional del Sur

INTA - Instituto Nacional de

Tecnología Agropecuaria

EEA Anguil – Estación Experimental

Agropecuaria Anguil “Guillermo Covas”

Anguil – Pcia de La Pampa – ARGENTINA

CV

#### **Juan Alberto Galantini**<sup>3</sup>

Doctor en Química Agraria

Università degli Studi di Bari, Italia 2001

Comisión de investigaciones Científicas de la

Provincia de Buenos Aires - (CIC).

Centro de Recursos Naturales

Renovables de la Zona Semiárida

CERZOS (CONICE/UNS).

Barrio Altos del Palihue – Bahía Blanca

Pcia. de Buenos Aires. ARGENTINA

<https://orcid.org/0000-0002-4536-8605>

<sup>1</sup> INTA AER Coronel Suárez (EEA Cesáreo Naredo);

<sup>2</sup> INTA (EEA Anguil).

<sup>3</sup> CERZOS (UNS-CONICET).

Agencia de Extensión Rural INTA (EEA C. Naredo). Sauce Corto 589 – (7540) Coronel Suárez, Provincia. de Buenos Aires; Argentina. desapereira.eduardo@inta.gob.ar



**RESUMEN:** El sudoeste bonaerense es una región con gran variabilidad climática lo que hace que sus precipitaciones pasen de períodos de escasez, propios de zonas semiáridas, a excesos significativos, propios de regiones húmedas. Los cambios de uso del suelo provocan alteraciones en los aportes y dinámica del carbono orgánico (CO), modificando el nivel de equilibrio. Para conocer los cambios a corto plazo producidos por las prácticas de manejo en el CO total es necesario identificar las fracciones más sensibles: carbono orgánico particulado (COP) y carbono orgánico mineral (COM). El objetivo de este trabajo fue evaluar cómo asociado a diferentes prácticas de manejo se han producido cambios en las fracciones orgánicas y en algunas propiedades edáficas relacionadas con la dinámica hídrica de los suelos. Los tratamientos consistieron en dos sistemas de manejo de cultivos contrastantes: 100% agrícola vs rotación con pastura y/o campo natural (CN). Se evaluó in situ infiltración, y se tomaron muestras sin disturbar de 0-20 cm de profundidad para determinar conductividad hidráulica, densidad aparente, carbono total y particulado, pH, textura, test proctor y fósforo. Todos los indicadores evaluados mostraron que estos procesos han tenido lugar en los suelos estudiados. Por ejemplo, comparando los valores promedio de densidad aparente, se comprueba una importante disminución en la porosidad total de los suelos A, la cual como muestran diversos estudios tendrían lugar a expensas de pérdidas de la macroporosidad. De tener lugar este proceso descrito también debería haberse modificado el movimiento del agua en el interior del suelo, aspecto que pudo ser comprobado a través de la evaluación de la conductividad hidráulica e infiltración básica. De los mismos se desprende que la disminución de la superficie con pasturas perennes de los últimos 25 años y de la proporción de gramíneas en la rotación, ha incidido sobre la pérdida de COT y COP y porosidad de suelo, comprobándose aumentos en la densidad aparente, encostramiento, y de la susceptibilidad de suelo a compactarse.

**PALABRAS CLAVE:** Infiltración. Compactación. Conservación. Agricultura. Erosión.

#### CHANGES IN THE PHYSICAL-HYDRIC PROPERTIES OF SOILS BELONGING TO A MICRO-BASIN OF THE SAUCE CORTO STREAM IN THE INTERSERRANA PAMPA SUBHUMEDA ARGENTINA

**ABSTRACT:** The southwest of Buenos Aires is a region with great climatic variability, which causes its rainfall to go from lean periods, typical of semi-arid areas, to significant excesses, typical of humid regions. Changes in land use cause alterations in the characteristics and dynamics of organic carbon (CO), modifying the balance level. To know the short-term changes produced by the management practices in total CO, it is necessary to identify the most sensitive fractions: particulate organic carbon (COP) and mineral organic carbon (COM). The objective of this work was to evaluate how, associated with different management practices, changes have been produced in organic fractions and in some edaphic properties related to the hydric dynamics of soils. The treatments consisted of two contrasting crop management systems: 100% agricultural vs. rotation with pasture and / or natural field (CN). In-situ infiltration was evaluated, and undisturbed samples from 0-20 cm deep were taken to determine hydraulic conductivity, apparent density, total and particulate carbon, pH, texture, proctor test and phosphorus. All the

evaluated indicators showed that these processes have taken place in the studied soils. For example, comparing the average values of apparent density, an important decrease in the total porosity of the soils A is verified, which as shown by various studies would take place at the expense of macroporosity losses. If this process described take place, the movement water inside the soil should also have changed, aspect that could be compared through the evaluation of the hydraulic conductivity and basic infiltration. From these it can be deduced that the decrease in the surface area with perennial pastures of the last 25 years and the proportion of grasses in the rotation, have influenced the loss of COT and COP and soil porosity, verifying increases in apparent density, crusting, and the susceptibility of soil to compaction.

**KEYWORDS:** Infiltration. Compaction. Conservation. Agriculturization. Erosion.

## RECONOCIMIENTO

Dicha actividad se realizó con el financiamiento y en el marco del Proyecto Especifico de Gestión del Agua en Cultivos de Secano de INTA (cartera 2013-2018), coordinado por el Dr. Cristian Álvarez y por su Proyecto Integrador el Dr. Alberto Quiroga (EEA Anguil).

## 1 INTRODUCCIÓN

La concentración de dióxido de carbono en la atmósfera, producto de la actividad humana, viene alterando desde hace varias décadas el clima del planeta, proceso conocido como “cambio climático”. La quema de combustibles fósiles y la destrucción de la vegetación natural, entre otros, son las principales causas de la acumulación de gases. En la Argentina, la emisión de dióxido de carbono per cápita (o huella de carbono) es de 5,7 toneladas al año, muy por debajo de los registros citados en Norteamérica (20 toneladas) o en Inglaterra (11,8 toneladas) (Rusticucci, 2014). Aun así, el efecto colateral del incremento de temperaturas igual afecta a nuestro país. Sin embargo, si bien el sudoeste bonaerense es una región con gran variabilidad climática, con períodos de escasez de precipitaciones propio de zonas semiáridas y con periodos de excesos hídricos propio de regiones húmedas, el cambio climático viene a agravar una problemática ya existente aumentando la intensidad y la frecuencia de eventos extremos, lo que genera mucha incertidumbre y obliga a implementar estrategias de mitigación (Casanovas, 2014). Diversas estimaciones, entre ellas las proporcionadas por el Instituto de Pronóstico del Cambio Climático (1995), indican que la influencia del efecto invernadero daría un incremento de la temperatura media global del orden de 1 a 3°C para el año 2100 (Perillo *et al.*, 1997). El avance del monocultivo de soja o la rotación trigo/soja en el sudoeste bonaerense puede haber generado importantes cambios en propiedades edáficas, principalmente en aquellas influenciadas por disminuciones en los contenidos de materia

orgánica. Estos posibles deterioros del suelo por efecto del manejo junto a los efectos del cambio climático estarían contribuyendo al deterioro de las propiedades físicas del suelo (Sá Pereira *et al.*, 2014).

Los cambios de uso del suelo provocan alteraciones en los aportes y dinámica de la materia orgánica (MO), modificando el nivel de equilibrio. Para conocer los cambios a corto plazo producidos por las prácticas de manejo en la MO total es necesario identificar las fracciones más sensibles como la materia orgánica particulada (MOP) y material orgánico mineral (MOM).

## 1.1 ANTECEDENTES

Puede decirse que la erosión hídrica es un problema prioritario en la subregión Pampa Ondulada y en particular en el piedemonte de la Sierra de la Ventana (Gáspari *et al.*, 2000). Según datos de estos autores el porcentaje del partido de Coronel Suárez afectado por la erosión ascendía al 59 %. Esta situación se habría agravado por cambios en los sistemas de producción, disminución de la superficie con pasturas y creciente agriculturización. Teniendo en cuenta además que, a principios de la década del 90, en la mayor parte de las sub-cuencas, se realizaban cultivos agrícolas (trigo, maíz, avena) alternando con pasturas perennes, complementando esta rotación con la aplicación de técnicas de manejo del suelo a partir de franjas y curvas de nivel (INTA, 1989). En los últimos años el área dedicada a cultivos anuales se incrementó de un 30 a un 70% con predominio de los cultivos de soja o trigo/soja y en menor medida maíz. La mayor frecuencia de cultivos de verano dio lugar a largos períodos de barbechos entre los mismos (6-7 meses) con muy bajos aportes de residuos y niveles de cobertura de los suelos.

Ante el evidente cambio en el comportamiento hídrico de los suelos, los habitantes de la región, en particular los establecidos en la cuenca hídrica del Arroyo Sauce Corto, comienzan a reunirse por la preocupación ante las crecientes de los arroyos y la problemática de erosión, inundaciones urbanas y la consecuente pérdida de productividad (Gaspari *et al.*, 2000). Bruno *et al.* (1994) utilizando la ecuación de M.U.S.L.E. (Modified Universal Soil Loss Equation) calcularon que en promedio entre 2 y 8 Tn/ha/año correspondería a la pérdida de suelo de cuencas afluentes del arroyo sauce corto.

Durante las últimas décadas del siglo XX y los años transcurridos del presente siglo, en la vertiente norte del Sistema de Ventania se produjeron múltiples eventos de excesos hídricos (inundaciones y anegamientos) que se originaron por precipitaciones de diferente duración y magnitud (Cano, 2019). En estudios llevados adelante por Gentili *et al.*, 2007 el su equipo de trabajo del Departamento de Geografía de la UNS en la serie Arroyo Corto registraron pérdidas aproximadas de 32 tn/ha/año con pendientes del 1 al 3%.

Un factor clave para el territorio es la rotación de cultivos que contribuye positivamente al manejo de malezas, enfermedades y fertilidad del suelo. Además, permite estratificar el uso del agua y nutrientes del suelo a través de diferentes profundidades efectivas de raíces y mejorar la eficiencia de uso del agua de los cultivos (Copeland *et al.*, 1993; Anderson *et al.*, 2002; Moroke *et al.*, 2005). Covas (1989) señala que la rotación con pasturas perennes es la base para preservar la productividad de los suelos de la “pampa semiárida y subhúmeda”.

## 1.2 DESCRIPCIÓN DE LOS SUELOS DOMINANTES

A partir de muestras de suelo tomadas a campo y de la cartografía edafológica a escala 1:50000 (INTA, 1989) se pudo determinar que el dominio edáfico al que pertenece el área de estudio es el 1, Hapludol lítico, franco fino. (Atlas de Suelos de la República Argentina”, INTA-Castelar). El material originario de los suelos de este Dominio es una delgada capa de loess de menos de 50 cm de espesor, correspondiente al “Bonaerense” de Frenguelli ó “Postlujanense” de Tricart. Este depósito cubre gran variedad de rocas ígneas (granitos-granodioritas), metamórficas (gneises - migmatitas), y sedimentarias (ortocuarcitas). La edafización se produjo en el loess y en ningún caso hubo alteración de las rocas subyacentes. Estas solo tienen importancia por ser el límite físico inferior del suelo.

En las partes medias y bajas de las sub-cuencas y asociados a un paisaje de pendientes adyacentes a las Sierras, con superficies onduladas e inclinaciones de hasta 3%, y en presencia de afloramientos de tosca en las partes altas de las lomas, se observaron suelos correspondientes al dominio edáfico 2 (Argiudol). Dentro de los suelos menores se constataron Hapludoles típicos, en el flanco sur de las Sierras, y Argiudoles ácuicos, en las partes más deprimidas.

El perfil de los suelos de esta área corresponde a Argiudoles típicos, los cuales presentan un buen desarrollo con un importante horizonte A que resulta susceptible a la erosión hídrica (Gaspari *et al.*, 2000).

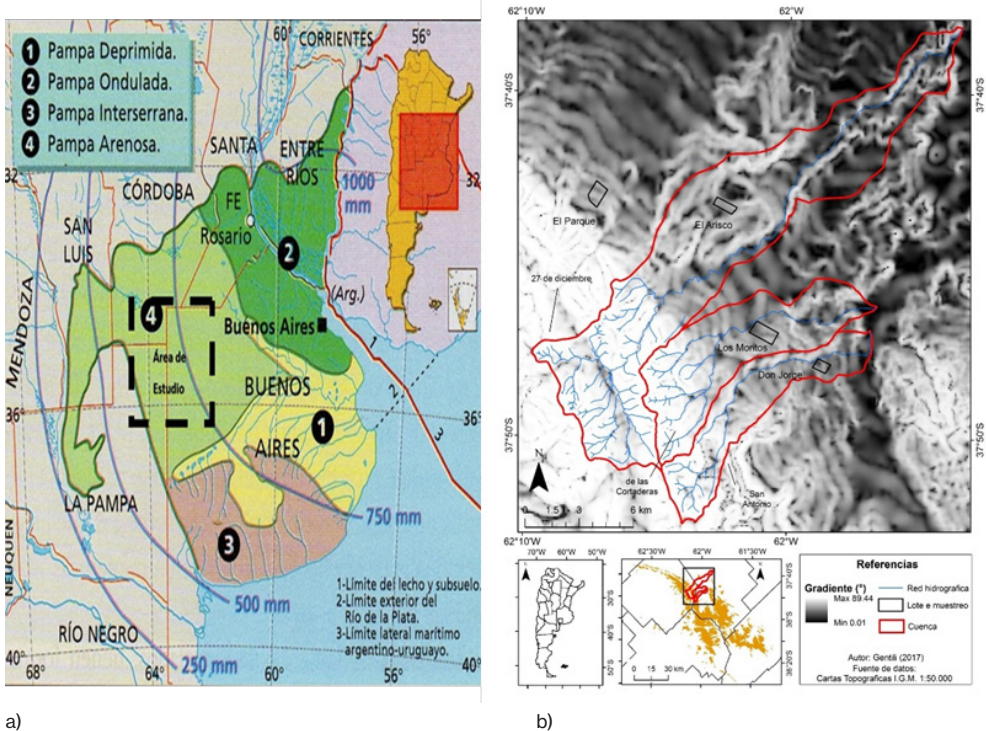
Durante el año 2016 en el marco del Proyecto Específico de Gestión del Agua en Cultivos de Secano, coordinado por Cristian Álvarez y su Integrador por Alberto Quiroga (EEA Anguil), con participación de Eduardo de Sá Pereira, Gonzalo Arroquy (AER Coronel Suárez) y Romina Fernández (EEA Anguil) realizaron una caracterización de sitios en base a indicadores de calidad de suelo. Fueron seleccionados algunos sitios en la cuenca alta (piedemonte de sierra), con la finalidad de evaluar cómo asociado a diferentes prácticas de manejo se han producido cambios en las fracciones orgánicas y en algunas propiedades edáficas relacionadas con la dinámica hídrica de suelos pertenecientes a las sub cuencas del Arroyo “El Hinojo” y “Las Cortaderas” (Figura 2).

### 1.3 CARACTERÍSTICAS DE CLIMA Y SUELO DE LOS SITIOS EN ESTUDIO

El trabajo fue realizado en establecimientos de la zona de Pie de Sierras (Tabla 1; Figura 1), los cuales pertenecen al área de influencia de la Agencia de Extensión Rural INTA Coronel Suárez en el Pje. “El Hinojo”. Los suelos del sector bajo estudio correspondieron a Argiúdoles típicos (Mapa de suelos de la provincia de Buenos Aires, 1989) que presenta una secuencia de horizontes Ap-BA-Bt-BC-C (Soil Survey Staff, 2010) de textura franco-arcillo-limosa (69,3 % limo+arcilla) perteneciente principalmente a la serie Arroyo corto.

La Pampa Interserrana (PI) (3) integra la llanura Pampeana Argentina (Figura 1). La región limita al N-NO con el sistema de lagunas Encadenadas, el cual la separa de la Pampa arenosa, al E y O con los dos sistemas serranos Bonaerense de Tandilia Y Ventania respectivamente y al S-SE con el océano atlántico. El estudio se centra en el área periserrana de Sierra de la Ventana, comprendida entre las isoyetas de 500 y 750 mm.

Figura 1: a) “Las Cuatro Pampas” (Adaptado Morello y Solbrig, 1997 citado por Pereyro 2020). b) Mapa de pendiente expresada en grados en los sitios evaluados de las 3 sub-cuencas de Arroyo Sauce Corto, Arroyo de las Cortaderas y 27 de diciembre en la zona de pie de Sierra de Coronel Suárez. (Gentili et al., 2007).



El clima se puede clasificar como templado a moderadamente frío, con precipitaciones media anual de 770 mm, con heladas de hasta -10°C y temperatura media anual de 14°C.

## 2 METODOLOGÍA

### 2.1 TRATAMIENTO Y DETERMINACIONES

Los tratamientos consistieron en dos sistemas de manejo de cultivos contrastantes: 100% agrícola (A) vs rotación con pastura de gramínea perenne (P) (Tabla 1) y (Foto 1 y 2). Se tomaron muestras de suelo sin disturbar en 0-20 cm de profundidad y se llevaron a cabo las siguientes determinaciones de las propiedades físicas y químicas en cada uno de los sitios en estudio.

- Determinación de la densidad aparente.
- Determinación de la capacidad de infiltración del suelo con infiltrómetros de anillo simple (5 repeticiones) (Foto 1).
- Muestras de suelo para determinación de fracciones texturales, fraccionamiento de materia orgánica (MOP >50  $\mu\text{m}$  y MOM <50  $\mu\text{m}$ ), contenido de fósforo (P) extractable obtenido por el método de Bray y Kurtz (1945) y pH.
- Identificación de zonas afectadas por erosión hídrica mediante observación de espesor del horizonte A, presencia estructura laminar (encostramiento), plantas descalzadas, orientación y traslado de residuos superficiales por el agua a través de la pendiente.
- Evaluación de la susceptibilidad a la compactación, densidad aparente máxima y humedad crítica mediante ensayos de compactación utilizando el test Proctor.
- Distribución de agregados, mediante el tamizado en seco, para obtener las fracciones de  $\leq 2$ , 2 a 3, 3 a 4, 4 a 8 y  $\geq 8$  mm de diámetro. Posteriormente a cada fracción de agregados se registró el peso, correspondiente a un volumen de 1000  $\text{cm}^3$ , denominando a este indicador peso volumétrico de los agregados (PVA) y refiriendo los resultados a  $\text{g cm}^{-3}$  (Fernández *et al.*, 2016).

Tabla 1: Secuencia de cultivos en cada uno de los sitios en estudio, ubicación geográfica y serie de suelo. A: 100% agrícola; P: pastura. RTR/malezas (rastreo de trigo enmalezado)

| Año            | A1           | A2            | A3           | P1           | P2            | P3            |
|----------------|--------------|---------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| Latitud        | 37° 42' 44"  | 37°43' 45"    | 37°43' 2"    | 37° 47' 47"  | 37° 42' 22"   | 37° 44' 6"    |
| Longitud       | 61° 59' 44"  | 62° 03' 27"   | 62° 06' 14"  | 61° 58' 31"  | 62° 05' 59"   | 62° 03' 15"   |
| Serie de Suelo | Arroyo Corto | Rancho Grande | Arroyo Corto | Arroyo Corto | La Colina     | Arroyo Corto  |
| 2006           | Cebada       | RTR/malezas   | Trigo        | Soja         | CN (prístino) | CN (prístino) |
| 2007           | Soja         | RTR/malezas   | soja         | Trigo        | CN            | CN            |



| Año  | A1            | A2          | A3     | P1              | P2 | P3 |
|------|---------------|-------------|--------|-----------------|----|----|
| 2008 | Trigo         | RTR/malezas | cebada | soja            | CN | CN |
| 2009 | Soja          | Soja        | trigo  | cebada          | CN | CN |
| 2010 | Candeal/Trigo | Trigo       | soja   | Soja            | CN | CN |
| 2011 | Soja          | Soja        | Cebada | Cebada          | CN | CN |
| 2012 | Cebada        | Cebada/Soja | soja   | Pastura Inicial | CN | CN |
| 2013 | Soja          | Maíz        | cebada | Pastura         | CN | CN |
| 2014 | Trigo/Cebada  | Soja        | Trigo  | Pastura         | CN | CN |
| 2015 | Soja          | Soja        | Cebada | Pastura         | CN | CN |
| 2016 | Cebada        | Cebada/Soja | Soja   | Pastura         | CN | CN |

Foto 1: Evaluación de la captación de agua a partir de la determinación de infiltración.



### 3 RESULTADOS Y DISCUSIONES

#### 3.1 MUESTRAS DE SUELO

Es importante aclarar como se observa en la Tabla 2 que todos los sitios de muestreo presentaron similar composición granulométrica y altos contenidos de limo que le confieren al suelo una fertilidad física deficiente y altamente dependiente de los contenidos de materia orgánica. Coincidiendo con la mayoría de los investigadores el proceso de agriculturización habría producido en esta región una significativa disminución en los contenidos de materia orgánica (MO), principalmente de las fracciones más lábiles. En relación a los suelos bajo pasturasde gramíneas perennes el material orgánico particulado (MOP) de los sitios A descendió a un 26%. Mientras que el material orgánico mineral (MOM) representó en promedio un 66% de la situación de referencia (CN). En el mismo sentido el Índice de materia orgánica/arcilla + Limo (IMO) experimentó en



promedio una fuerte disminución desde valores de 9 en suelos bajo pasturas a 4,8 en suelos bajo secuencias agrícolas (Tabla 2). Es importante tener presente que en suelos Haplustoles de la Región Semiárida valores de IMO inferiores a 5 caracterizaron sitios con limitaciones en la provisión de nitrógeno y con importantes respuestas a la fertilización (Quiroga *et al.*, 2009). Estos autores comprobaron pérdidas de la fertilidad física cuando el descenso de MO tiene lugar en suelos con contenido de limo superiores al 30%. En estos casos, dependiendo del nivel de cobertura, tienen lugar con frecuencia, encostramientos superficiales y compactaciones subsuperficiales como se muestra en la Foto 2, con fuerte reducción de la infiltración (captación del agua de las precipitaciones), las cuales en áreas con pendiente se traducen en incremento de los escurrimientos. Precisamente los escurrimientos y la pérdida de suelos por erosión hídrica (con anegamientos de caminos rurales) son señalados por los productores como una problemática creciente en la región.

Tabla 2: Resultados de análisis de muestras de suelo de cada sitio de pH, Pe, material orgánico particulado (MOP >50 µ), material orgánico mineral (MOM<50µ), materia orgánica total (MOT); índice de materia orgánica (IMO) y porcentajes de arena, limo y arcilla.

| Sitio.  | Limo | Arcilla | Arena | MOT  | IMO  | MOP % | MOM % | Pe ppm | pH   |
|---------|------|---------|-------|------|------|-------|-------|--------|------|
| A1      | 47,6 | 21,0    | 31,4  | 2,6  | 3,9  | 0,24  | 2,44  | 10,5   | 7,4  |
| A2      | 43,5 | 16,6    | 39,9  | 3,2  | 5,3  | 0,32  | 2,86  | 6,0    | 6,0  |
| A3      | 58,2 | 14,0    | 27,8  | 3,7  | 5,2  | 0,36  | 3,38  | 20,8   | 6,0  |
| P1      | 51,2 | 14,8    | 34,1  | 4,1  | 6,3  | 0,86  | 3,21  | 15,4   | 6,3  |
| P2      | 50,1 | 14,1    | 35,8  | 7,2  | 11,3 | 1,14  | 5,80  | 50,1   | 5,8  |
| P3      | 41,6 | 13,5    | 44,9  | 5,2  | 9,5  | 1,32  | 3,88  | 60,3   | 6,7  |
| Media A | 49,8 | 17,2    | 33,0  | 3,2b | 4,8b | 0,31b | 2,89b | 12,4a  | 6,5a |
| Media P | 47,6 | 14,1    | 38,3  | 5,5a | 9,0a | 1,11a | 4,30a | 41,9b  | 6,3a |

Foto 2: Limitantes por encostramiento: a) perfil Horizonte A somero (menor a 5 cm) y b) agregado compacto con raíces en sentido horizontal por efecto de estructura laminar (porosidad planar).

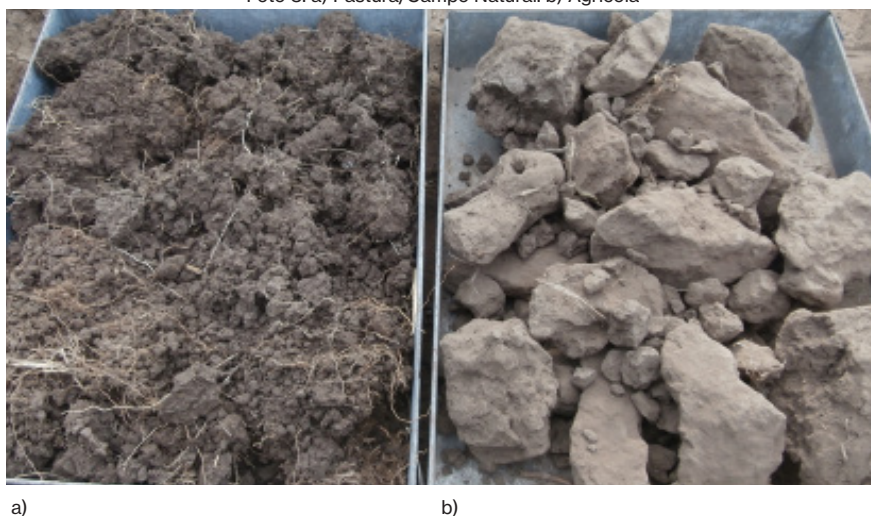


a)

b)

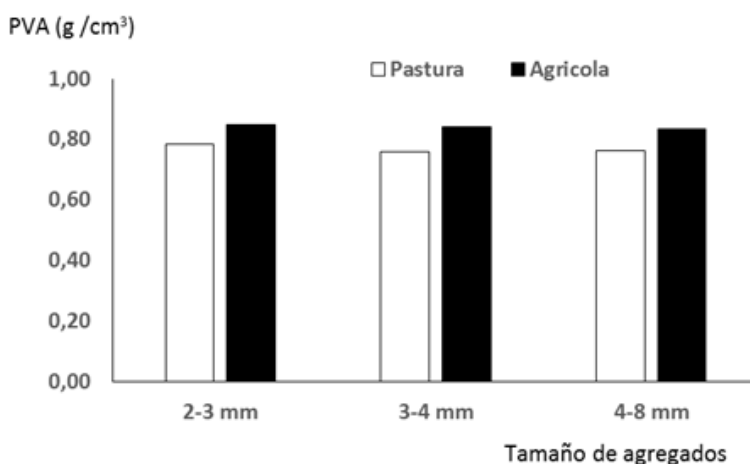
Si bien estos resultados deben considerarse preliminares y/o exploratorios y resulta necesario ampliar el número de sitios y el área de muestreo, las tendencias mostradas por los indicadores nos alertan sobre la significativa influencia que tendría el uso de la tierra sobre la calidad de los suelos. Por ejemplo, en la Tabla 3, comparando los valores promedio de densidad aparente, se comprueba un importante incremento en este indicador y consecuentemente disminución en la porosidad total del horizonte A, la cual como muestran diversos estudios tendrían lugar a expensas de pérdidas de la macroporosidad. De tener lugar este proceso descrito también debería haberse modificado el movimiento del agua en el interior del suelo, aspecto que pudo ser comprobado a través de la evaluación de la conductividad hidráulica (Figura 2). La Tabla 3 muestra valores promedio de  $32 \text{ y } 14 \text{ cm}^3/\text{hora}$  para los suelos bajo pasturas y agrícolas respectivamente, lo cual permite inferir que se requeriría un mayor tiempo para que la precipitación ingrese en los perfiles de suelos influenciados por la agricultura. Ese mayor tiempo en suelos con pendiente implica mayor riesgo de escurrimiento y erosión. Otro indicador utilizado en este estudio es la infiltración que confirma los procesos y el sentido de los cambios en la dinámica hídrica de los suelos expuesta anteriormente por los indicadores (Tabla 3). En la misma se muestra que los valores resultan muy contrastantes:  $186 \text{ y } 36 \text{ mm/hora}$  en los perfiles bajo gramíneas perenne y bajo agricultura, respectivamente. Estas diferencias permiten inferir en la menor capacidad que presentan los suelos, principalmente debido a la pérdida de MO influyendo negativamente en los procesos de captación del agua de las precipitaciones. La Foto 3 muestra el desarrollo de la estructura del suelo para ambos manejos poniendo en evidencia una menor biomasa de raíces y agregados más compactos en el manejo con menor contenido de MO.

Foto 3: a) Pastura/Campo Natural. b) Agrícola



Esto último expuesto, puede ser evidenciado en la Figura 2, donde se presenta el peso volumétrico de los agregados (PVA) de 2-3, 3-4 y 4-8 mm de diámetro. En este sentido se encontró mayor PVA en los tres diámetros de agregados, bajo el uso A. Esta diferencia de peso correspondió a 8, 10 y 9 % más peso por unidad de volumen para los diámetros de 2-3, 3-4 y 4-8 mm, respectivamente. Fernández et al. (2016), sugirieron que el PVA sería un indicador práctico, útil y que reflejaría indirectamente la porosidad de los agregados. Estos autores encontraron en la Región Semiárida Pampeana que descensos en los niveles de MO, y sus fracciones debido al uso A, se relacionaron con incrementos en DAM, SC y PVA de los distintos tamaños de agregados, respecto de suelos bajo P.

Figura 2: Peso volumétrico de los agregados de suelo (2-3 mm, 3-4 mm y 4-8 mm), bajo uso agrícola y pastura.



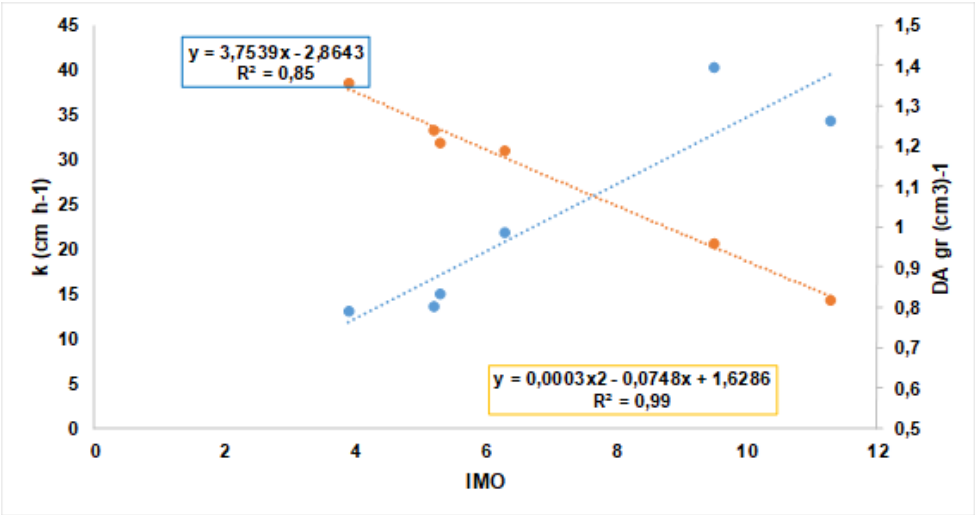
A fin de confirmar y reforzar la información obtenida a partir de los indicadores utilizados se procedió a tomar muestras superficiales de cada uno de los sitios y someterlas en laboratorio a un ensayo de compactación. Cada muestra compuesta de suelo de aproximadamente 10 kg fue dividida en 6 submuestras y llevadas a distintos contenidos de humedad para poder representar distintas situaciones que se pueden presentar a campo. Cada una de estas submuestras fueron sometida a una determinada presión constante y en base a los resultados obtenidos se determinaron los valores de: densidad aparente máxima (DAm), susceptibilidad a la compactación (SC) y humedad crítica (HC) a la cual el suelo es más sensible a perder porosidad cuando es sometido a una presión externa (transito maquinaria, pisoteo ganadería). En la Tabla 3 se muestran los resultados de cada uno de estos indicadores comprobándose que efectivamente los suelos con menor contenido de MO son más susceptibles a compactarse y que bajo una misma presión incrementan en mayor grado la DA, es decir experimentan una mayor pérdida de macroporosidad.

Tabla 3: Densidades aparente (DA, gr/cm³), densidad aparente máxima (DAm), conductividad hidráulica (kg cm³/hora), infiltración promedio (mm/hora), humedad crítica (HC), susceptibilidad a compactación (SC) y compactación relativa (CR), bajo uso agrícola (A) y pastura (P).

| Sitios de muestreo | DA      | k       | Infiltración promedio (mm/hora) | DAm  | HC   | SC   | CR   |
|--------------------|---------|---------|---------------------------------|------|------|------|------|
| A 1                | 1,36 a  | 13,2 a  | 24                              | 1,37 | 23,7 | 0,17 | 84,9 |
| A 2                | 1,21 b  | 15,13 a | 76                              | 1,46 | 19,7 | 0,23 | 93,1 |
| A 3                | 1,24 bc | 13,75 a | 8,5                             | 1,43 | 15,2 | 0,39 | 89,7 |
| P 1                | 1,19 c  | 21,88 a | 55,7                            | 1,31 | 23,2 | 0,11 | 65,7 |
| P 2                | 0,82 e  | 34,4 b  | 231                             | 1,15 | 27,5 | 0,11 | 56,2 |
| P 3                | 0,96 d  | 40,28 b | 271                             | 1,33 | 20,6 | 0,15 | 81,5 |

Finalmente, al relacionar los distintos indicadores entre sí, se pudo comprobar que el cambio en el contenido de MO ha incidido sobre los distintos indicadores comprobándose estrecha relación con la DA ( $R^2$ : -0,97), con la conductividad hidráulica ( $R^2$ : 0,82), con la DAm ( $R^2$ : -0,87), con la humedad crítica ( $R^2$ : 0,53) y con la susceptibilidad a compactación ( $R^2$ : -0,53). Tanto el IMO como la MOP mostraron estrecha relación con los indicadores mejorando en algunos casos la relación respecto de la MOT. A manera de ejemplo en la Figura 3 se muestra la estrecha relación entre la K y DA en función del IMO.

Figura 3: Relación entre la conductividad hidráulica y densidad aparente (DA) con el Índice de materia orgánica/arcilla + limo (IMO), en Udoles bajo dos manejos contrastantes (agricultura continua y pasturas de gramíneas perennes).



Reiterando lo expuesto, este estudio preliminar pretende aportar elementos objetivos que nos permitan reflexionar/alertar sobre los efectos que los cambios en el uso de la tierra pueden tener sobre indicadores edáficos vinculados con la dinámica hídrica

de los suelos. A partir de esta información pueden plantearse algunos interrogantes como por ejemplo que estrategia de manejo implementar para recuperar parte de los atributos perdidos por el suelo.

#### 4 CONCLUSIONES

Estos resultados exploratorios muestran diferencias importantes en las propiedades de los suelos influenciados por distintas prácticas de uso y manejo.

La disminución de la superficie con pasturas perennes como también la proporción de gramíneas en la rotación, han incidido sobre la porosidad del suelo, comprobándose aumentos en la densidad aparente, encostramiento y mayor susceptibilidad del suelo a compactarse.

El mayor tamaño de los agregados que conforman la masa de suelo, bajo el uso A estaría indicando una pérdida de porosidad interna de los mismos, que podría limitar procesos relacionados a la nutrición de los cultivos y una disminución directa de la captura de agua.

Por otra parte, también se comprueba disminución en la infiltración y movimiento del agua dentro del suelo, con disminuciones muy importante en la infiltración con respecto a suelos bajo gramíneas perennes.

Si bien en el territorio se verifica un incremento de los escurrimientos o excedentes superficiales de agua y de pérdida de suelo por erosión hídrica, que en parte podrían estar vinculados con estos cambios mencionados en las propiedades de los suelos, es necesario considerar que también existen efectos del cambio climático que podrían estar acentuando estos procesos (ej: aumento en la cantidad e intensidad de precipitaciones).

Como fue expuesto anteriormente, las relevancias de estos procesos indican la necesidad de profundizar estos estudios, ampliando el número de casos y área de evaluación, a fin de validar estos resultados exploratorios y de ser necesario elaborar estrategias de recuperación y/o adecuación.

Es importante destacar que sobre este último punto la zona cuenta con experiencia en prácticas conservacionistas tendientes a mejorar la captación del agua de lluvia y reducir las pérdidas de agua por escurrimiento (ej: usos de cultivos de coberturas, curvas de nivel, etc). Las agencias de extensión rural de Torquinst, Saavedra y Coronel Suárez poseen experiencias en estas prácticas desarrolladas en sistemas mixtos de producción donde la superficie de pasturas y gramíneas anuales era importante, principalmente asociadas a unas de las prácticas citadas anteriormente como curvas de nivel y terrazas como forma de conservación del agua. No obstante, las ventajas reconocidas en estas prácticas para mejorar la gestión del agua, las mismas no han tenido continuidad en el tiempo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AER Coronel Suárez: 2013. Documento interno de la Agencia de Extensión Rural Coronel Suárez (EEA Bordenave).

Anderson, R; D Tanaka & S Merrill. 2002. Yield and water use of broadleaf crops in a semiarid climate. *Agric. Water Manage.* 58:255-266.

Bruno, JE; FJ Gaspari; ME Presutti; SJ Magnin & CR Orona. 1994. Methods for environmental degradation diagnosis in watersheds – Its application to the basin of Sauce Corto – Province of Buenos Aires – Argentina. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales – Universidad Nacional de La Plata (UNLP) 60 y 118 – La Plata – Argentina – e-mail: jebruno@isis.unlp.edu.ar and Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CIC).

Casanovas, M. 2014. Clima desbocado: de las sequías extremas a las inundaciones en apenas cinco meses. Dirección de Economía Ambiental del Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible (OPDS). Diario El Día. La Plata. 20 de Julio de 2014.

Covas, G. 1989. Evolución del manejo de los suelos en la región pampeana semiárida. *Actas Primeras Jornadas de Suelos de Regiones Semiáridas*, Santa Rosa, La Pampa.1-12pp.

Copeland, P;R Allmaras; R Crookston & W Nelson. 1993. Corn-soybean rotation effects on soil water depletion. *Agron. J.* 85:203-210.

Fernández, R; A Quiroga & C Álvarez; C Lobartini & E Noellemeyer. 2016. Valores umbrales de algunos indicadores de calidad de suelos en molisoles de la región semiárida pampeana. *Ciencia del Suelo*. 34: 279-292.

Gaspari, FJ; RM Rickfelder; BA Hauri; G de Otazua & IO Cornely 2000. Método de diagnóstico de degradación ambiental aplicados al estudio de la cuenca del Arroyo Sauce Corto.

Gentili J; V. Gil & Campo A. Factores generadores de erosión hídrica potencial y medidas de mitigación en el partido de Coronel Suárez. En: *Dimensiones humanas del cambio ambiental en Argentina*. In: Tancredi I. & Da Costa Pereira, N. Capítulo 4: Los problemas ambientales vinculados a los recursos hídricos: (pp. 241 – 259). Buenos Aires.

I.N.T.A., 1989. Mapa de suelos de la provincia de Buenos Aires. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. Proyecto PNUD ARG 85/019. 525.

I.N.T.A., 1995.

Moroke, T; R Schwartz; K Brown & A Juo. 2005. Soil water depletion and root distribution of three dryland crops. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 69:197-205.

Perillo, GME. 1997. Evaluación de la vulnerabilidad de la costa argentina al ascenso del nivel del mar. (editor), PNUD/SECYT ARG/95/G/31 62 pp.

Quiroga, A; R Fernández & E Noellemeyer. 2009. Grazing effect on soil properties in conventional and no-till systems. 2009. *Soil Tillage Res*, 105, 164-170.

Rusticucci, M. 2014. Diario La Prensa directora del Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos de la Facultad de Ciencias. Exactas <http://www.laprensa.com.ar/418504-El-cambio-climatico-llego-para-quedarse.note.aspx>. 27 de Enero de 2014.

RIAN 2017. Red de información agropecuaria nacional. Informes periodicos de la AER CoronelSuárez. <http://ssdinta.hostingbahia.com.ar/informes/Informe%20Recorrida%20INTA%20fina%202016-17.pdf>

Sá Pereira, E de; JA Galantini; A Quiroga & MR Landriscini 2014.Efecto de los cultivos de cobertura otoño invernales, sobre el rendimiento y acumulación de N en maíz en el sudoeste bonaerense. Revista de Ciencia del Suelo v 32(2): 219-231.

Sá Pereira, E. de; G. Arroquy; A. Quiroga; C. Álvarez; R. Fernandez; J. Galantini. 2018. Consideraciones sobre algunos cambios en propiedades físico hídrica de suelos pertenecientes a la Cuenca del Arroyo Sauce Corto. Publicación Técnica N° 108/2016 ISSN 0325-2132. Ediciones INTA. ARGENTINA. 20 pp. [https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta\\_consideraciones.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_consideraciones.pdf)

Sá Pereira, E. de; G. Arroquy; A. Quiroga; C. Álvarez; R. Fernandez; J. Galantini. 2018. Cambios en propiedades físico-hídrica de suelos pertenecientes a la cuenca del arroyo sauce corto en la región sudoeste bonaerense. XXVI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. San Miguel de Tucumán. Tucumán.



## CAPÍTULO 4

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

Data de submissão: 27/02/2021

Data de aceite: 24/03/2021

#### **José Omar Plevich**

Grupo de Dasonomía,  
Departamento Producción Vegetal,  
Facultad de Agronomía y Veterinaria – FAV,  
Universidad Nacional de Río Cuarto – UNRC,  
Río Cuarto/Córdoba, Argentina.  
<http://orcid.org/0000-0002-3082-8779>

#### **Marco Jesús Utello**

Grupo de Dasonomía,  
Departamento Producción Vegetal,  
Facultad de Agronomía y Veterinaria – FAV,  
Universidad Nacional de Río Cuarto – UNRC,  
Río Cuarto/Córdoba, Argentina.  
<http://orcid.org/0000-0003-0067-8922>

#### **Santiago Ignacio Fiandino**

Grupo de Dasonomía,  
Departamento Producción Vegetal,  
Facultad de Agronomía y Veterinaria – FAV,  
Universidad Nacional de Río Cuarto – UNRC,  
Río Cuarto/Córdoba, Argentina  
<http://orcid.org/0000-0003-4974-760X>

#### **Juan Carlos Tarico**

Grupo de Dasonomía,  
Departamento Producción Vegetal,  
Facultad de Agronomía y Veterinaria – FAV,  
Universidad Nacional de Río Cuarto – UNRC,  
Río Cuarto/Córdoba, Argentina.  
<http://orcid.org/0000-0002-0268-152X>

#### **Ángel Ramón Sanchez Delgado**

Grupo de Pesquisa AGOMATEMÁTICA,  
Departamento de Matemática – DEMAT,  
Instituto de Ciências Exatas – ICE,  
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro-  
UFRRJ, Seropédica/RJ, Brasil.  
<http://orcid.org/0000-0002-5108-4107>

#### **Javier Enrique Gyenge**

Grupo de Ecología Forestal,  
Consejo Superior de Investigaciones  
Científicas y Técnicas – CONICET,  
Instituto Nacional de Tecnología  
Agropecuaria – INTA,  
Tandil/Buenos Aires, Argentina.  
<http://orcid.org/0000-0003-3895-5112>

**RESUMEN:** El objetivo del trabajo fue estudiar la producción primaria neta aérea y la eficiencia del uso del agua (EUA) de un verdeo de Avena sativa en tres sistemas silvopastoriles. El ensayo se desarrolló en el campo de docencia y experimentación Pozo del Carril, ubicado a los 32° 58' S y 64° 40' O. Los sistemas silvopastoriles fueron instalados en la primavera de 1998 mediante una plantación de tres especies forestales que determinó callejones cultivables. En marzo de 2012 se realizó la siembra de avena en dichos callejones y en un lote testigo sin árboles. Los resultados mostraron que en las parcelas integradas por *Pinus elliottii* y en

*Quercus robur* la producción de avena no presentó diferencias con respecto al testigo sin árboles ( $p < 0,05$ ), mientras que en la que estuvieron integradas por *Eucalyptus viminalis* la producción de forraje fue menor. La biomasa herbácea en la zona central de los callejones, tanto en *P. elliottii*, como en *Q. robur* fue similar o superior a la del testigo dependiendo si la disponibilidad de agua fue suficiente o menor a la demanda hídrica del cultivo, respectivamente ( $p < 0,05$ ). La EUA mostró un patrón similar a la de la biomasa aérea. Las parcelas integradas por *E. viminalis* fueron las menos eficientes, mientras que en los sistemas con *P. elliotti* y *Q. robur*, el sector del callejón donde se encontró la mayor EUA fue la zona central y las exposiciones al norte de las hileras de árboles.

**PALABRAS CLAVE:** Sistemas agroforestales. Avena sativa. Sistemas en callejones. Biomasa herbácea. Eficiencia del uso del agua.

## 1 INTRODUCCIÓN

La agroforestería es el conjunto de técnicas de manejo de tierras, que implican la combinación de árboles forestales, ya sea con la ganadería, o con los cultivos (Combe, J. & Budowski, G., 1979). Numerosos ejemplos dan cuenta que la interacción entre ambos estratos vegetales modulan la productividad del sistema, pudiendo ser ésta mayor, igual o menor en sistemas mixtos que en aquellos monoespecíficos. Esta observación indica que existen combinaciones entre distintas especies forestales y de cultivos que maximizarían la productividad de cada estrato en particular y del sistema en general. La productividad primaria neta es una variable integradora del funcionamiento del ecosistema y refleja la entrada de energía a la cadena alimenticia (Mac Naughton, S. J. et al., 1989).

En Argentina, las combinaciones de leñosas perennes con pasturas y animales se presentan en formas muy diversas, lo que ha generado diferentes tipos de sistemas silvopastoriles (SSP), siendo los que más se destacan: pastoreo en plantaciones maderables, pastoreo en callejones, árboles y arbustos dispersos en potreros, y cortinas rompevientos (Plevich, J. O. et al., 2002).

Pese a la utilización de los sistemas silvopastoriles, existe muy poca información sobre producción de sus componentes, en especial para la región de estudio en donde la disponibilidad de agua limitaría el rendimiento de los sistemas productivos (Brichi E. et al., 1991 ; Plevich, J. O. et al., 2002). Basado en estos motivos, los objetivos de este trabajo fueron estudiar la producción primaria neta aérea del componente herbáceo (PPNA) de sistemas silvopastoriles desarrollados en la llanura ondulada del sur de Córdoba, así como analizar la dinámica de la evapotranspiración (ETR) asociada a esta, y su eficiencia en el uso del agua en sitios a diferentes distancias de los árboles.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 SITIO DE ESTUDIO:

El trabajo se desarrolló en el campo de docencia y experimentación (CAMDOCEX) Pozo del Carril, perteneciente a la universidad Nacional de Río Cuarto, ubicado a los 32° 58' S y 64° 40' O, a 550 m.s.n.m. Dpto. Río Cuarto, Córdoba, Argentina. Este ambiente se ubica en la provincia geomorfológica llanura chaco-pampeana y dentro de ella pertenece a la asociación geomorfológica Faja Eólica Ondulada Periserrana.

### 2.2 TRATAMIENTO Y DISEÑO EXPERIMENTAL:

El diseño del ensayo consistió en cuatro bloques completos aleatorizados de manera de controlar la heterogeneidad del terreno. Los mismos se ubicaron en función de la pendiente del ensayo. Para el experimento se contemplaron tres sistemas silvopastoriles: *Pinus elliottii*-Avena sativa; *Eucalyptus viminalis*-Avena sativa y *Quercus robur*-Avena sativa. Para contar con un testigo el cultivo Avena sativa también se implantó en un potrero vecino sin árboles. Los árboles fueron plantados en la primavera de 1998 en doble hileras con un marco de plantación de 2×2m, separadas por callejones de 21m. Tanto en los sistemas silvopastoriles como en el testigo la avena se sembró el 5 de marzo de 2012 y se lograron aproximadamente 220 plántulas/m<sup>2</sup>.

### 2.3 RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS:

Para llevar adelante la determinación de la distribución espacial y temporal de la productividad primaria neta (PPNA) de Avena y la evapotranspiración (ETR) asociada, se tomaron muestras en los callejones a diferentes distancias desde el fuste (2,5; 5; 7,5; 10; m) y en dos exposiciones: al norte y al sur de la hilera de árboles; además del testigo sin árboles. El ensayo considero cuatro repeticiones. En relación a la PPNA, en cada uno de los puntos propuestos, se consideraron dos momentos de muestreo: uno el 5 de mayo, antes del primer pastoreo (primer ciclo) y el otro muestreo el 15 de octubre, antes del segundo y último pastoreo (segundo ciclo). En ambas fechas se cortó toda la biomasa aérea presente en una superficie de 0,25 m<sup>2</sup> (a ras del piso). Posteriormente, las muestras se secaron en estufa a una temperatura de 100°C hasta peso constante para la obtención de la materia seca. Los pastoreos se efectuaron con vacas de cría de raza Aberdeen angus con una alta carga instantánea estableciendo la salida de los animales cuando la altura del remanente llegó a los 10 cm. Para analizar la evapotranspiración (ETR), en cada punto donde se muestreó la biomasa aérea de la herbácea se tomaron muestras de suelo (Haplustol típico) en los siguientes horizontes A (0-20 cm), AC (20-40 cm) y C (40-60 cm)

al momento de la siembra, y en los dos momentos de muestreo del material vegetal. Con estas muestras y según el procedimiento descrito por (Gil R. C. & Martelotto F. E., 1993), se obtuvieron las láminas de agua útil (mm). Con los datos de láminas útiles de agua para las fechas mencionadas y siguiendo los lineamientos propuestos por (Martelotto E. et al., 2004) se efectuó el balance hídrico para cada punto de muestreo a los fines de obtener la evapotranspiración real en cada uno de ellos. Posteriormente los datos de PPNA y la ETR en Avena fueron relacionados para obtener la eficiencia en el uso del agua (EUA). Los datos PPNA y EUA obtenidos dentro de los callejones de los sistemas silvopastoriles y el testigo se analizaron mediante ANAVA y test de comparación de medias (DGC) utilizando el programa Infostat (Di Rienzo J. A. et al., 2013). En primer lugar, se evaluó el efecto de la leñosa acompañante (factor principal) sobre la herbácea con respecto al testigo. Luego se introdujo un factor más al análisis: la interacción especie arbórea y distancia al fuste, lo que permitió estudiar la influencia de los árboles dentro del callejón con respecto a la situación sin árboles.

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La temporada de crecimiento del verdeo comprendió desde el 5 de marzo al 15 de octubre de 2012 presentando ciertas particularidades en cuanto a la marcha de las temperaturas y a la cantidad y distribución de las precipitaciones. Dichas particularidades se vieron al comienzo de la temporada, con un otoño muy húmedo y cálido con respecto al promedio de los últimos 20 años (Fig 1 y 2).

Figura 1. Representación gráfica de la marcha de las precipitaciones mensuales del sitio de ensayo ("Pozo del carril") para el año 2012 con respecto al promedio de los últimos 20 años.

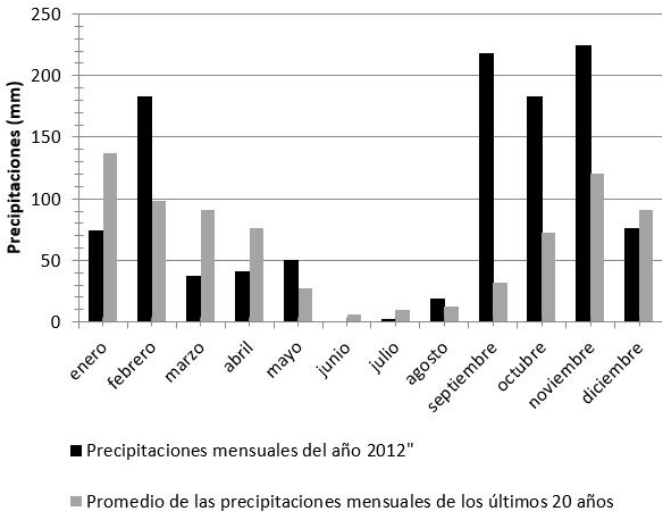
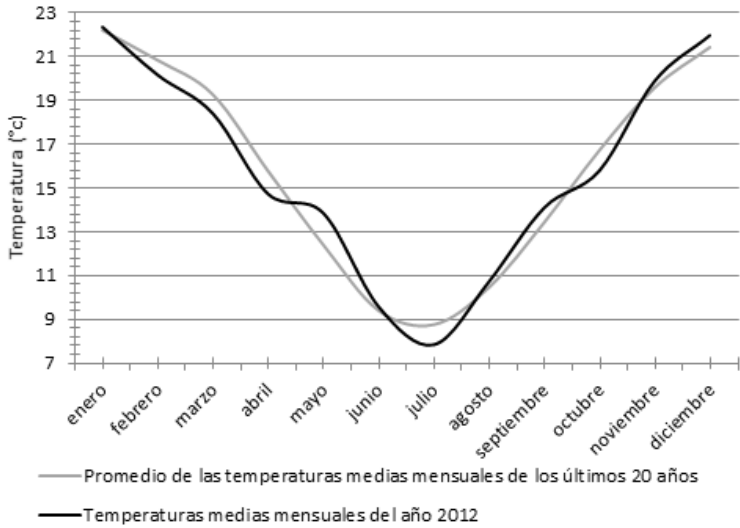


Figura 2. Temperaturas medias mensuales del sitio de ensayo ("Pozo del carril") con respecto al promedio de los últimos 20 años.



En el invierno se manifestaron temperaturas y precipitaciones acordes a la media de la región. Luego en la primavera volvieron a darse registros pluviométricos superiores al promedio de los últimos veinte años. La lluvia acumulada durante la temporada de crecimiento fue de 733 mm mientras que si consideramos dicha temporada con respecto al promedio de los últimos 20 años solo llega a 426mm. Esto queda expresado en la buena respuesta que tuvieron todos los tratamientos (de 383 a 689 g/m<sup>2</sup>, tabla 1). A manera de comparación, en un ensayo llevado a cabo en la región con una precipitación acumulada de 437mm se lograron un promedio 320 g/m<sup>2</sup>, cuando se compararon 9 variedades de *A. sativa* y *Secale cereale* (Perotti, J., 2000), esto representa, casi la mitad de la mayoría de los tratamientos en nuestro ensayo. No se advirtió que los árboles tuvieran un efecto neto facilitador sobre los verdeos (tabla 1) como han encontrado otros investigadores en ambiente semiáridos (Fernández, M. E., 2003).

Tabla 1. Producción de biomasa seca aérea de Avena sativa en los callejones de sistemas silvopastoriles y en el testigo sin árboles.

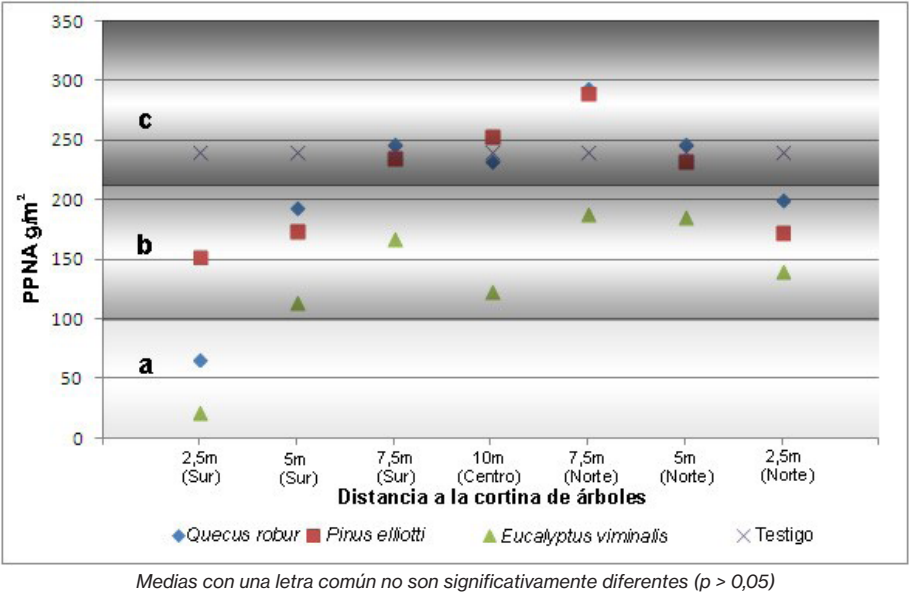
| Tratamiento         | PPNA (g/m <sup>2</sup> ) |
|---------------------|--------------------------|
| <i>Q. robur</i>     | 688,92 <b>b</b>          |
| <i>P. elliotii</i>  | 659,60 <b>b</b>          |
| Testigo             | 630,60 <b>b</b>          |
| <i>E. viminalis</i> | 383,48 <b>a</b>          |
| R <sup>2</sup>      | 0,32                     |
| CV                  | 30,59                    |
| Probabilidad        | p<0,0001                 |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p>0,05$ )

De esta manera, la producción de Avena de todo el callejón y tomando todo el período de cultivo, fue significativamente inferior cuando creció acompañada por *E. viminalis*, que cuando lo hizo con *P. elliotti* y *Q. robur*, en donde la PPNA del cultivo fue similar entre sí y la del testigo (tabla 1). Es importante reiterar que la PPNA varió a lo ancho del callejón, siendo mayor en la parte central que en los sitios más cercanos a los árboles (figura 3 y 4).

En las parcelas integradas por *E. viminalis*, se observó una menor o similar PPNA del cultivo en todas las porciones del callejón que la estimada en el resto de los tratamientos en ambos ciclos. Esto indicaría que la competencia o eventual alelopatía que produce la leñosa (Avila et al., 2007), superan ampliamente a la posible facilitación que pudieran estar generando la presencia de este tipo de estrato arbóreo.

Figura 3. PPNA del primer ciclo en los callejones silvopastoriles en relación a la distancia al fuste del árbol y en la situación sin árboles (testigo).

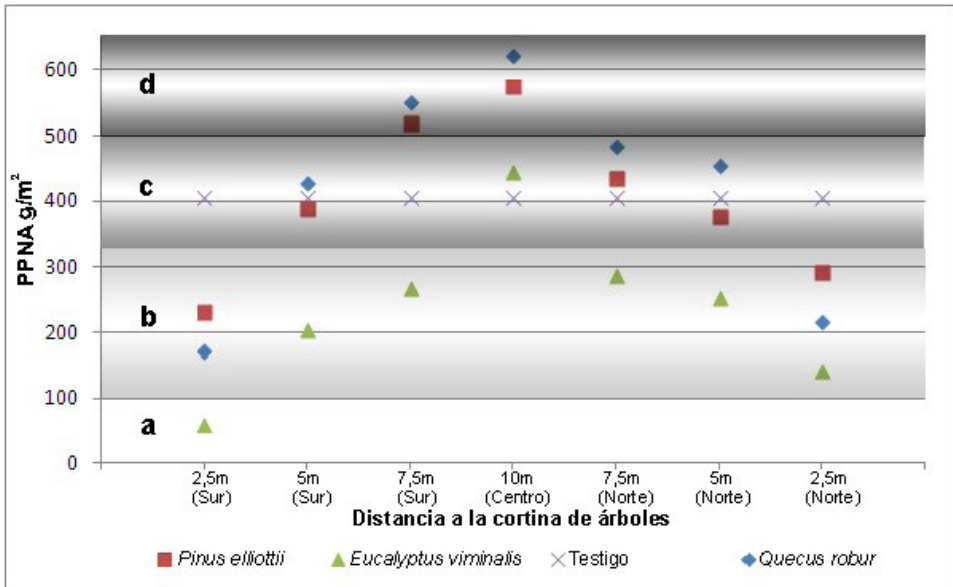


Cuando se compararon los tratamientos más cercanos al fuste en los callejones acompañados por *P. elliotti* y *Q. robur* (2,5 m tanto al norte como al sur de la cortina forestal), se encontraron diferencias de PPNA entre ellos durante el primer ciclo de Avena donde las condiciones hídricas fueron muy favorables. En el sistema con *P. elliotti*, a diferencia de *Q. robur*, la posición expuesta al sur más cercana al fuste (2,5 metros) difiere significativamente mostrando PPNA superiores; esto podría estar asociado a sus diferencias morfofisiológicas entre estos árboles. Más allá de la influencia de las copas de estas dos especies en las zonas más alejada de los árboles (> 2,5 m N y > 5 m S), la facilitación que generan las cortinas durante el primer ciclo de la Avena, en



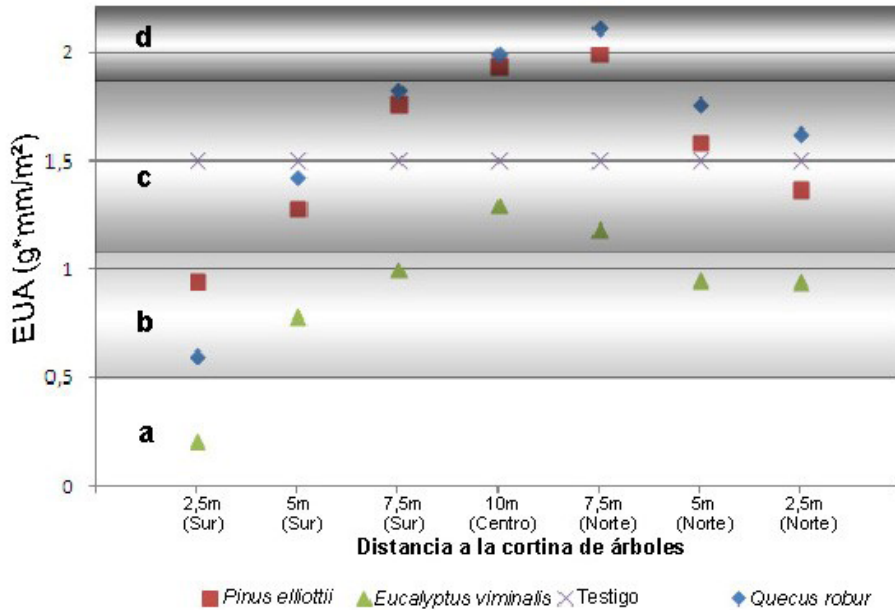
este año húmedo, no se observan, ya que no hubo diferencias en cuanto a la PPNA del cultivo si lo comparamos con la observada en el testigo sin árboles. Las modificaciones microclimáticas que se esperaría de las cortinas (Reifsnnyder et al., 1989) no parece tener gran influencia y pudieron haber quedado ocluidas.

Figura 4. PPNA del segundo ciclo en los callejones silvopastoriles en relación a la distancia al fuste del árbol y en la situación sin árboles (testigo).



En el segundo ciclo (figura 4) las facilitaciones y complementariedades (Vishwanatham, M. K. et al., 1996) que generan los sistemas mixtos pueden apreciarse en la PPNA en la región central del callejón (7,5 y 10 m), tanto en *P. elliotti*, como en *Q. robur*. En estas situaciones, la PPNA de la Avena superó significativamente al resto de los tratamientos inclusive al testigo sin árboles, marcando una clara ventaja de la forrajera que crece en esa posición con respecto a aquellas desprovistas de estas cortinas. Si bien el porcentaje de sombreado no se midió en este trabajo, muchos autores, y para diferentes especies, fundamentalmente en regiones templadas, encuentran que el límite para la producción de forraje ronda el 70% de interceptación de la radiación (Schlichter, T, 1999) ; Fernández, M. E. et al., 2002). Esto permitiría hipotetizar que en ese sector la disminución de la radiación no supera dicho umbral. La EUA y la PPNA mostraron patrones similares comparando situaciones geográficas dentro de los callejones (figura 5).

Figura 5. Representación gráfica de la EUA del verdeo de avena de las parcelas de *Pinus elliottii*, *Eucalyptus viminalis*, *Quercus robur* y la del testigo sin árboles.



Así, es posible, apreciar que existe una tendencia de los tres sistemas silvopastoriles en cuanto a la EUA, ya que el sector central de estos y ligeramente expuesto al norte muestran una mayor EUA. Esto se ajusta a la teoría de que estos sistemas logran generar condiciones más favorables (Ibrahim et al., 2006) ;Schroth, G. et al., 2003) para el crecimiento y productividad de los verdeos en determinados puntos geográficos del mismo.

Además en ese sector se combinan tres elementos claves como: una buena iluminación; y modificaciones microclimáticas (Torres, 1983 ; Reifsnnyder et al., 1989), que favorecen a la conservación de la humedad del perfil; y se encuentra lo suficientemente lejos de las cortinas, lo que llevan al mínimo la competencia.

#### 4 CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados encontrados en este ensayo, la producción de la herbácea difiere según la especie leñosa acompañante en el sistema silvopastoril, mostrándose *Eucalyptus viminalis* como una especie muy competitiva. En *Pinus elliottii* y en *Quercus robur* la competencia producida sobre el verdeo es contrarrestada en cierto modo por las facilitaciones, lo que permite que ambas especies no difieran estadísticamente con respecto al testigo sin árboles en ese año en particular.

En cuanto a las interacciones leñosa-herbácea los resultados sugieren que cuando las condiciones de humedad no son restrictivas, la producción se ve limitada en primera

instancia por los altos niveles de sombra. Cuando las condiciones de humedad se tornan limitantes, los puntos que recibieron sombra en determinados momentos, y se encontraban lo suficientemente alejados de la influencia de las raíces de la leñosa, lograron mayor producción ( $p < 0,05$ ) que el testigo. En cuanto a la EUA, solo las parcelas integradas por *Eucalyptus viminalis* fueron inferior al testigo. En *Pinus elliottii* y en *Quercus robur* el sector del callejón, que hace su uso más eficiente, es la zona central y expuesta al norte.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Avila, L., Murillo, W., Durango, E., Torres, F., Quiñones, W., & Echeverri, F. (2007). Efectos alelopáticos diferenciales de extractos de eucalipto. *Scientia et Technica*, 1(33), Article 33. <https://doi.org/10.22517/23447214.5851>

Brichi E., Cantero A., & Bonadeo E. (1991). Caracterización física de los principales subgrupos de suelos y su relación con cultivos y sistemas de labranza en el Sur Oeste de Córdoba. *Actas XIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo-Bariloche*.

Combe, J. & Budowski, G. (1979). Classification of traditional agroforestry techniques. En *Workshop on Traditional Agro-forestry System in Latin America* (pp. 17-47). CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Di Rienzo J. A., Casanoves F., Balzarini M. G., Gonzalez L., Tablada M., & Robledo C.W. (2013). *Di Rienzo J.A., Casanoves F., Balzarini M.G., Gonzalez L., Tablada M., Robledo C.W. InfoStat versión (2013). Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. [Cited 2013 dic. 13]. Available from: <http://www.infostat.com.ar>. [Infostat]. Córdoba, Argentina* Facultad de Ciencias Agraria, Universidad Nacional de Córdoba.

Fernández, M. E. (2003). *Influencia del componente arbóreo sobre aspectos fisiológicos determinantes de la productividad herbácea en sistemas silvopastoriles de la Patagonia argentina. Tesis doctoral. [PhD Thesis]*.

Fernández, M. E., Gyenge, J. E., Dalla Salda, G., & Schlichter, T. M. (2002). Silvopastoral systems in northwestern Patagonia I: growth and photosynthesis of *Stipa speciosa* under different levels of *Pinus ponderosa* cover. *Agroforestry Systems*, 55, 27-35.

Gil R. C. & Martelotto F. E. (1993). *El agua edáfica. Guía práctica para su determinación. Área de Desarrollo Rural, INTA, E.E.A. Manfredi, Córdoba, Argentina. Área de Desarrollo Rural, INTA, E.E.A. Manfredi, Córdoba, Argentina.*

Ibrahim, M., Villanueva, C., & Casasola, F. (2006). *Sistemas silvopastoriles como una herramienta para el mejoramiento de la productividad y restauración de la integridad ecológica de paisajes ganaderos*. 29(4), 39.

Mac Naughton, S. J., Oosterheld, M., Frank, D. A., & Williams, K. J. (1989). Ecosystem – Level patterns of primary productivity and herbivore in terrestrial habitats. *Nature*, 341, 142-144. <https://doi.org/101038/341142a0>

Martelotto E., Salas P., Lovera E., Salinas A., Giubergia J. P., & Lingua S. (2004). *Planilla de balance hídrico para riego. Proyecto Regional: Agricultura Sustentable y Gestión Agroambiental. INTA, EEA Manfredi, Córdoba, Argentina.*

Perotti, J. (2000). *Ensayo demostrativo de ocho variedades de verdeos de invierno. [Informe Técnico]*. INTA. [www.produccion-animal.com.ar](http://www.produccion-animal.com.ar)

Plevich, J. O., Nuñez, C. O., Pagliaricci, H. R., & Ohanian, A. E. (2002). *Sistemas silvopastoriles*. Escuela de Posgrado. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional de Río Cuarto.

Reifsnyder, W. E., Darnhofer, T., International Council for Research in Agroforestry, World Meteorological Organization, United Nations Environment Programme, & Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (Eds.). (1989). *Meteorology and agroforestry: Proceedings of an International Workshop on the Application of Meteorology to Agroforestry Systems Planning and Management, Nairobi, 9-13 February 1987*. ICRAF.

Schlichter, T. (1999). *Desarrollo de sistememas silvopastoriles en base a plantaciones de Pinus spp.* [Extensión Forestal. INTA Bariloche, Argentina]. [www.inta.gob.ar/bariloche/nqn/forestal/publica/10.pdf](http://www.inta.gob.ar/bariloche/nqn/forestal/publica/10.pdf).

Schroth, G., Lehmann, J., & Barrios, E. (2003). Soil Nutrient Availability and Acidity. En *Trees, Crops and Soil Fertility: Concepts and Research Methods* (2003.<sup>a</sup> ed.). Eds. G Schroth, National Institute for Research in the Amazon, Manaus, Brazil and F L Sinclair, School of Agricultural and Forest Sciences, University of Wales, Bangor, UK. [www.cabi-publishing.org](http://www.cabi-publishing.org)

Torres, F. (1983). Role of woody perennials in animal agroforestry. *Agroforestry Systems*, 1(2), 131-163. <https://doi.org/10.1007/BF00596354>

Vishwanatham, M. K., Samra, J. S., & Sharma A. R. (1996). Biomass production of trees and grasses in a silvopasturesystem on marginal lands of Doon Valley of north-westIndia. *Agroforestry Systems*, 46, 181-196. <https://doi.org/10.1023/a:1006230528225>

# CAPÍTULO 5

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

*Data de submissão: 27/02/2021*

*Data de aceite: 24/03/2021*

**Liria Boix**

Facultad de Ciencias Agropecuarias,  
Universidad Católica de Santa Fé.

Echague 7151.

Santa Fé, Argentina.

[institucional@ucsf.edu.ar](mailto:institucional@ucsf.edu.ar)

<https://orcid.org/0000-0001-7285-1400>

**RESUMEN:** El crecimiento agrícola ha sido constante en el país y Santiago del Estero es una de las provincias que presenta un importante aumento en el área de superficie cultivada en el NOA para los últimos años. Resulta de interés conocer la dinámica en el tiempo del uso del suelo e inventariar tales cambios con precisión mediante análisis de imágenes de satélite. Este trabajo aplica técnicas de detección de cambio y realiza un análisis multi-temporal con imágenes Landsat, en el Dto Pellegrini, para un periodo de 30 años. En el análisis se calculan y comparan diferentes índices de vegetación, se cuantifica el crecimiento y se generan mapas de la región resaltando el uso de imágenes de satélites multitemporales. Las

técnicas aplicadas son (1) Comparación de índices de vegetación, (2) Diferenciación de imágenes y (3) RGB-ndvi.

**PALABRAS CLAVES:** Índices de vegetación. Imágenes Landsat. Detección de cambios. Imágenes multitemporales.

### 1 INTRODUCCIÓN

La aplicación de técnicas de Detección de Cambios mediante el uso de imágenes de satélite es muy usado para resaltar, en zonas de interés, diferencias producidas en el tiempo, contrastar un antes y después de una actividad, identificar componentes de cambio de la cobertura terrestre, distribución espacial de la vegetación, crecimiento agrícola, recursos naturales, crecimiento urbano, etc. Además, su aplicación tiene una gran importancia en el monitoreo, identificación y descripción de los datos que se obtienen, y la ventaja que permite análisis cuantitativos de estos cambios y diferencias. A esto se suma la aplicación de estudios multitemporales que visualizan esos contrastes, pudiéndose crear mapas y realizar análisis de usos del suelo y cobertura de la tierra.

Son muchas las aplicaciones de detección de cambios mediante análisis de datos obtenidos por satélites, desde técnicas de comparación visual hasta enfoques cuantitativos (Wickware y Howarth 1981). Su aplicación en combinación con índices de vegetación permite discriminar y pueden resaltar características propias de la vegetación y por lo tanto muy usados en el análisis de paisajes agrícolas (Pinter et al., 1994).

Los índices de vegetación reducen la información espectral en un valor, que se relaciona con una propiedad o característica de la vegetación, en particular combinado la banda NIR (causada por la refracción de la energía debido a la estructura celular de la hoja) y banda Roja causada por la absorción de la clorofila. El más usado es el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), debido a su estrecha relación con la biomasa foliar y su simplicidad de cálculo e interpretación (Michener et al., 1997, Hayes et al., 2002; Sader et al., 2003; Volcani et al., 2005). A pesar de ser el NDVI el índice más usado, otros estudios han aplicado otros índices tales como el SAVI y EVI demostrando su éxito dependiendo de las características del suelo (Chuvieco, 2006). Estos casos se dan, por ejemplo, cuando la cubierta vegetal no es completa y debe considerarse la contribución del suelo subyacente a la señal de reflectancia y facilitar la identificación de cambios sobre la superficie (Coppin et al., 2004; Jin et al., 2005a).

La provincia Santiago del Estero ha mostrado en esta última década una tendencia de cambio creciente en cuanto a la producción de cultivos de granos, que se enlazada a factores socioeconómicos, culturales y ambientales. Según informe INTA SE 2016, la provincia presenta un importante aumento en el área de superficie cultivada: la producción de soja, que es el de mayor producción, abarca un 99,1% y registró un récord histórico de producción con 2.949.636 toneladas en 2010 (3,1% del total nacional), equivalente a 869.000 hectáreas (4,4% del total nacional). La producción de maíz se incrementó un 227% entre el 2010 y 2015 con un área aproximada de 490.200 hectáreas (8,1% del total nacional); el sorgo que se utiliza como forraje para la ganadería (10,9%) y, en menor medida, el trigo (4,0%). El Departamento Pellegrini, en esta provincia se destaca en el NOA por este crecimiento, a lo que se suma además, la producción de pastos, siendo el Gatton Panic la especie más difundida que si bien corresponde a zonas tropicales con una necesidad histórica de 1000 mm anuales, tiene la capacidad de adaptarse a las limitaciones que presenta el noroeste de Sgo. que cuenta con unos 550mm al año, condición que debe a su morfología y fisiología, otorgándole alta resistencia a la desecación.

Los cambios, como el antes mencionado, son muy dinámicos, y los de la vegetación depende de las características del suelo, varía en el espacio y en el tiempo ocupando diferentes extensiones. Es de interés contar con esta información a escala regional de



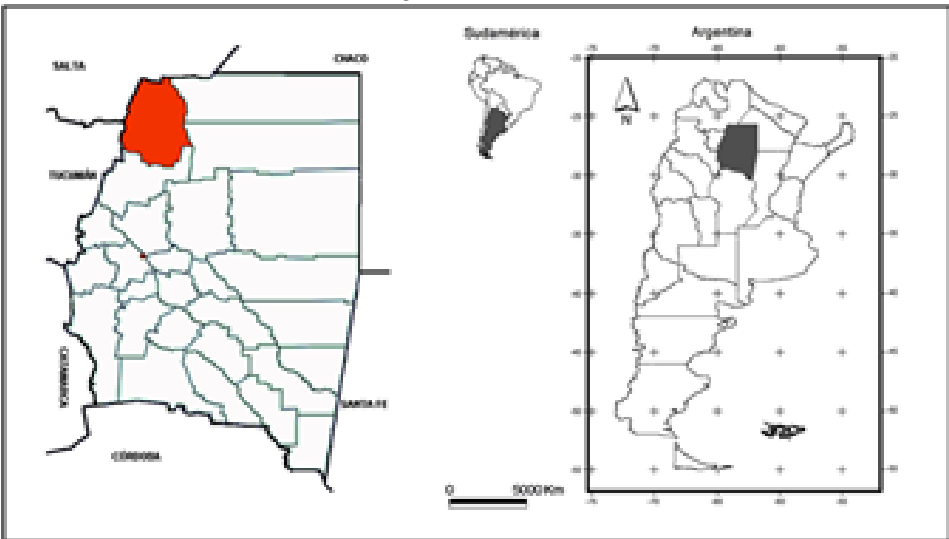
forma integrada que permita considerar la heterogeneidad espacial de los recursos. Este trabajo aplica técnicas de detección de cambios mediante análisis comparado de índices de vegetación usando datos multitemporales de imágenes Landsat para el periodo 1986-2017, de tal manera de visualizar y cuantificar el crecimiento agrícola y la clases de cobertura de la tierra para esta zona.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio es el departamento Pellegrini en las coordenadas 26.20°S 64.24°W (Fig. 1) de 7.330 Km<sup>2</sup>, ubicado al noroeste de la provincia de Santiago del Estero. La vegetación natural predominante en la provincia es el bosque Chaqueño semiárido, xerófito y abierto (SAyDS, 2004), el denominado bosque nativo forma parte de la región del Parque Chaqueño. La temperatura media del mes más cálido es de 26,8 °C y la del mes más frío es de 13,9°C y el periodo libre de heladas es de 273 días (INTA, EEA Santiago del Estero), los valores de evapotranspiración potencial son mayores a la precipitación durante los 12 meses del año, lo cual indica un balance hídrico medio mensual bajo para todo el año. La provincia cuenta con bosques naturales de diferentes aptitudes maderables, donde predominan el quebracho colorado y el quebracho blanco, especies fundamentales del bosque original; entre otras especies se encuentran el itín, el algarrobo y el vinal.

Fig 1. Área de interés



## 2.2 PRE-PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

Se utilizaron imágenes Landsat 5TM C1 Level-1 para los años 1986 de fecha 7 de enero y 2007 de fecha 1 de enero (Path 230 Row 78&79) y Landsat 8 OLI/TIRS Level-1 para el año 2017 de fecha 11 de diciembre (Path 230, Row 78) descargadas del sitio Web (<http://earthexplorer.usgs.gov/>), de 30 m de resolución y Datum WGS84 UTM. Se seleccionaron aquellas imágenes con calidad visual y libres de nubes. Se utilizó el software IDRISI para realizar la corrección atmosférica y eliminación de valores nulos (offset) de los datos, se convirtieron los valores originales a reflectancia de la superficie (SR) y brillo temperatura (BT) (ToA-satellite reflectance) mediante el modelo de corrección atmosférica DOS1 (Dark Object Substraction) que utiliza esta técnica basada en la conversión de imágenes, lo que permite la comparación y el mosaicado de diferentes imágenes de satélite y mejorar los resultados en el análisis (Masek et al., 2006). A posteriori, la corrección radiométrica se aseguró que las imágenes coincidan geométricamente y los pixel correspondiente a la misma área estén equiparados para trabajar en la misma escala de valores, las tres imágenes corresponden a la misma estación con pocos días de diferencia entre sí. La corrección geométrica se verificó que las imágenes tuvieran la misma proyección, dado que las imágenes del Landsat 8 cubre el departamento Pellegrini en su totalidad, se tomó esta imagen como referencia para georectificar las imágenes Landsat 5TM mediante puntos de control (Ground Control Points) proyección UTM, Datum WGS84 (EPSG32630), seleccionando modelo polinomial de primer orden y remuestreo de convolución cúbica, se realizó un mosaico para completar la figura del Dtp Pellegrini, y se procedió a recortar la imagen en el área de interés.

## 2.3 PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

Finalizado el pre-procesamiento de las imágenes se procedió al cálculo de los índices de vegetación utilizando el software Q-gis V.2.14 del paquete Osgeo4W, aplicando las siguientes fórmulas:

$$\text{NDVI} = \text{PNIR} - \text{PRED} / \text{PNIR} + \text{PRED} \quad [1]$$

$$\text{SAVI} = (\text{PNIR} - \text{PRED}) / (\text{L} + \text{PNIR} + \text{PRED}) * (1 + \text{L}) \quad [2]$$

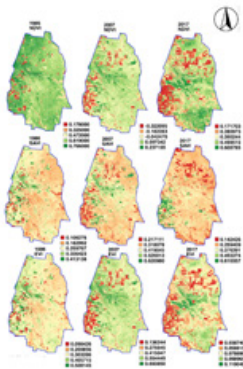
$$\text{EVI} = 2.5 * [(\text{PNIR} - \text{PRED}) / \text{PNIR} + 6 * \text{PRED} - 7.5 * \text{PBLUE} + 1] \quad [3]$$

Donde PNIR, PRED y PBLUE corresponde a los valores de reflectancia de la vegetación en la porción infrarroja cercana, roja y azul del espectro (las bandas 5, 4 y 1 respectivamente para las imágenes Landsat 5TM y bandas 6, 5 y 2 para el Landsat 8). El valor de la variable L en SAVI es 0.5 para su cálculo por considerarse el valor que

mejor se adapta a la región para los cultivos de granos en su mayoría. Se prosiguió con la aplicación de las técnicas de detección de cambios:

**Técnica comparación índices de vegetación:** realizado el cálculo de los índices de vegetación antes listados, se identifica el NDVI como el que mejor representa la zona de interés con los valores más altos para la vegetación (véase Fig. 2) y por consiguiente para cuantificar los cambios. Por lo tanto, se clasifica los valores 0.1-0.3 como baja densidad de vegetación, de 0.3-0.4 densidad media y 0.4 a mayor densidad alta, para el mecanismo de evaluación del espacio verde despejado en el departamento Pellegrini con las imágenes NDVI, durante el período de 1986 a 2017. Para la discriminación de las áreas de cultivos se crea una máscara para separar la vegetación nativa de vegetación de cultivos y así discriminar las diferentes coberturas. Se resalta que el valor del índice NDVI para los cultivos varían entre 0.1-0.7 según el etapa de crecimiento y estado del suelo como puede verse en la Fig. 2. La tabla 1 muestra la dinámica de cambio de la vegetación nativa con su densidad y el desarrollo y aumento de área cultivada.

Fig. 2: Resultado cálculo índices de vegetación para las tres técnicas



| Tabla 1. Cambios en la densidad del índice NDVI para el periodo 1986-2017 |                 |           |      |           |      |
|---|-----------------|-----------|------|-----------|------|
| Clasificación   | Valor del pixel | 1986      |      | 2017      |      |
|   |                 | Area (Ha) | (%)  | Area (Ha) | (%)  |
| vegetación-alta   | 0.4 >           | 111.599,5 | 14.6 | 58.793,6  | 7.6  |
| vegetación media  | 0.3-0.4         | 388.444,9 | 50.6 | 170.824,9 | 22.2 |
| vegetación baja   | 0.1-0.3         | 135.207,1 | 17.6 | 88.176,5  | 11.6 |
| cultivos  | 0.1-0.7         | 39.772,1  | 5.2  | 363.444,5 | 47   |

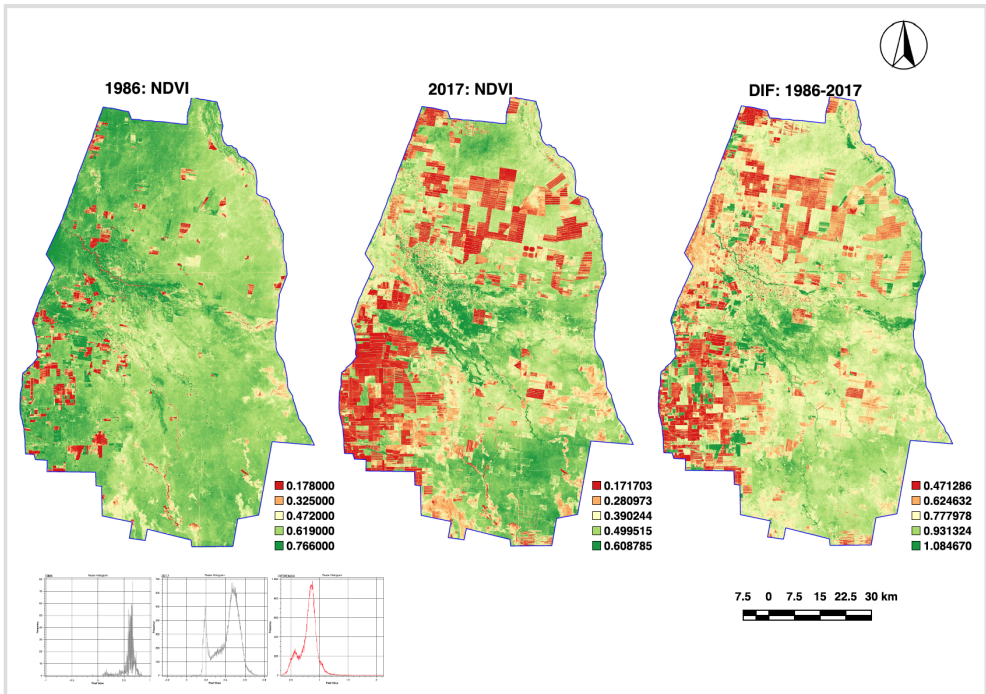
**Técnicas de diferenciación:** se aplica para identificar la dirección del cambio, implica la resta celda a celda, o en este estudio el valor de NDVI a NDVI, para lograr una nueva imagen de los valores de reflectancia que aumentaron y disminuyeron, pudiendo interpretarse como cambio de clases (Steve et al., 2009). Para ello se aplica la siguiente ecuación identificada como diferencia entre imágenes multitemporales:

$$\text{NDVIc} = \text{NDVIc} = \text{NDVIt2} - \text{NDVIt1} + C \quad [4]$$

NDVIc es la imagen resultado, NDVIt2 y NDVIt1 corresponde a las imágenes del segundo y primer periodo respectivamente. C es una constante para evitar valores negativos, de valor igual a 1 para este caso.

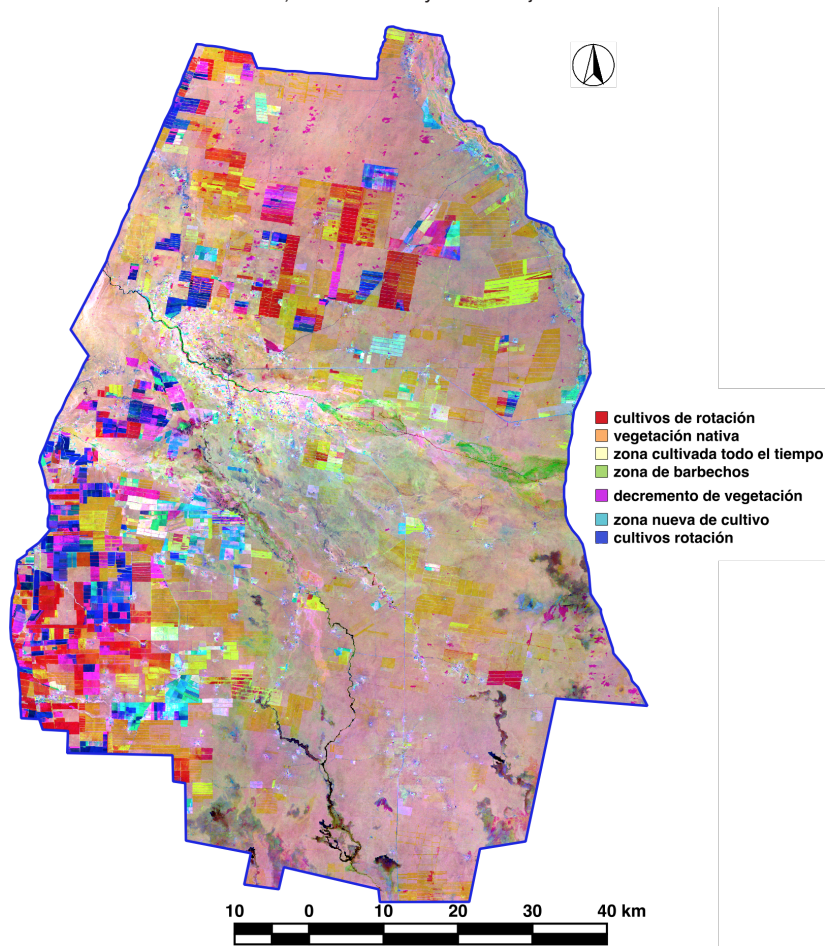
De esta manera se compara aritméticamente bandas procedentes de dos fechas, Fig. 3, equiparables radiométricamente y geoméricamente. La nueva imagen, resultado de la diferencia, discriminará aquellas zonas que hayan experimentado cambios. Los histogramas de las imágenes se identifican con las cubiertas vegetal fotosintéticamente activa, con mayor heterogeneidad en la imagen de 1986 y menor en 2017. El histograma de la diferencia las máximas frecuencias corresponden a zonas estables, mientras que las áreas dinámicas (zonas que han cambiado) se encuentran en los extremos y el ancho esta relacionado con el contraste-diferencias entre los años.

Fig. 3: Resultado aplicación técnica imagen de diferencia con las imágenes índice NDVI y sus histogramas



**Técnica de RGB-NDVI**, busca generar una composición color formada por imágenes correspondientes a tres años distintos, y realizar un análisis visual que complemente las técnicas anteriores. Se crea una composición de color mediante la teoría aditiva de color. Las tres imágenes NDVI se combinan en azul, verde y rojo, un método muy usado en la detección de cambios en paisajes agrícolas puesto que los cultivos toman diferentes apariencias (estado de cobertura de la tierra) a raíz del laboreo, cosecha, tipos de cultivos que giran en el mismo sitio, etc. (Sader et al., 2003).

Fig. 4: Resultado aplicación técnica RGB-NDVI mediante la teoría aditiva de color realizada con el año 1986 en azul, 2007 en verde y 2017 en rojo.



### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El cálculo de los índices de vegetación permite seleccionar el que mejor refleja la vegetación de la zona, es el NDVI a pesar de ser una zona cuyos cultivos no siempre cubren la totalidad de la superficie, que a su vez debe considerarse su estado de crecimiento. El NDVI visualiza la dirección y magnitud de cambio creciente desde la primera a la segunda fecha que se corresponde al cambio espectral en las mismas. La técnica diferenciación muestra la expansión de la actividad agrícola en el área de estudio, el resultado de la resta de imágenes muestra mayor ocupación del suelo a consecuencia de la modificación de los rasgos espaciales y en consecuencia también mayor cubierta espectral, que al restarse los valores de NDVI se crea una nueva imagen cuantitativa, presentando las

zonas estables con valores cercanos a cero, mientras las que han experimentado cambio ofrecen valores distintos a cero (positivos o negativos). La ecuación aplicada asigna valores nulos para las zonas sin cambios, valores mayores a cero cuando el cambio ha provocado un aumento en el coeficiente de retrodispersión y valores menores a cero cuando el cambio se refiere a un descenso en el coeficiente de retrodispersión. La técnica RGB-NDVI, la imagen resultante aparece en tonos de color debido a que las tres fechas combinadas presentan comportamiento espectral diferente. Esta técnica sirve para una interpretación visual puesto que no indica la dirección del cambio, se crea un mapa delimitando las zonas de cultivos en diferentes colores, las mas claras corresponde a zonas cultivadas todo el tiempo. Las firmas espectrales entre las variedades estudiadas resultan similares en el espectro, lo que hace difícil su diferenciación, pero con la ayuda del análisis visual puede identificarse y separarse aquellas zonas de cultivos jóvenes en áreas antes no cultivadas (color azul) o por recambio de otras distinta a su variedad (color rojo), ambas caen bajo la misma categoría puesto que el cultivo puede estar en distintos estados de crecimiento. Los cultivos de esta zona corresponden a soja, maíz, poroto para la fecha de las imágenes seleccionadas. El monte degradado para sistemas silvopastoriles o explotado para madera o carbón, no podrá discriminarse con la vegetación nativa. Si bien las tres imágenes entre sí tienen pocos días entre sí (1986 es del 7 de enero, 2007 del 1 de enero y 2017 del 11 de diciembre) corresponden a imágenes con buena calidad visual y evidencian los rasgos de las zonas cultivadas, sin nubes, debe usarse imágenes satelitales de más alta resolución para mejor discriminación de coberturas.

## 4 CONCLUSIONES

La aplicación de las técnicas de detección de cambios en este trabajo muestra un aumento de cubierta cultivada de aproximadamente un 42% mas para el año 2017 en relación a 1986. Cuando el entorno forestal se modifica, su aspecto espectral cambia en consecuencia, el cambio espectral se debe a consecuencia de alteraciones en la densidad o estado fonológico de la vegetación, que para esta zona debe tenerse en cuenta la rotación de cultivos estacionales en la misma explotación agrícola, que mantiene la estructura espacial, pero alterando la respuesta espectral. Por otro lado, los cambios espaciales responden a cultivos dispuestos en nuevos desarrollos agrícolas. La cartografía y la información lograda aquí sienta una base informativa para futuros trabajos en la región, como puede ser el uso de imágenes de mayor resolución para mejor discriminación entre coberturas y la producción de forrajes que ha presentado aumento de producción en el NOA de la provincia (INTA, 2016) debido que constituye una parte



importante de la alimentación animal, y cuya producción se ha desplazado a zonas como esta consideradas de menor productividad por las limitaciones del suelo y disponibilidad de agua, provocando la inserción de nuevos pastos megatérmicos, a consecuencia del proceso de agroindustrialización que se produce en el sur del País.

## BIBLIOGRAFÍA

Chuvieco, E. 2006. Teledetección ambiental: La observación de la Tierra desde el espacio, Barcelona, Ariel Ciencia.

Coppin, P., Jonckheere, I., Nackaerts, K., Muys, B., & Lambin, E. 2004. Digital change detection methods in ecosystem monitoring: A review. *International Journal of Remote Sensing*, 25:1565-1596.

Hayes, D., Sader, S. 2002. Analyzing a forest conversion history database to explore the spatial and temporal characteristics of forest change. *Landscape Ecology* 17:299-314.

Michener, L., William, K., Paula, F. 1997. Detection of vegetation changes associated with extensive flooding in a forested ecosystem. *Photogrammetric Eng. and Remote Sensing*, 63:1363-137.

Sader, S., Bertran, M., Wilson, E. 2003. Satellite change detection of forest harvest patterns on an industrial forest landscape. *Forest Science*, 49:341-353.

Masek, J., Vermote, E.E., Saleous, N., Wolfe, R., Hall, F., Huemmrich, K, and Lim, T. (2006). A landsat surface reflectance dataset for north america, 1990-2000. *IEEE Geoscience and Remote Sensing*, 3(1):68-72

Volcani, A., Karnieli, A., Svoray, T. 2005. The use of remote sensing and gis for spatio-temporal analysis of the physiological state of a semi-arid forest with respect to drought years. *Forest Ecology and Management*, 215:239- 250.

## CAPÍTULO 6

### CAMBIOS EN EL PROMEDIO DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL DEL SUDOESTE DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES, ARGENTINA<sup>1</sup>

Data de submissão: 03/02/2021

Data de aceite: 26/02/2021

**Silvia Patricia Pérez**

Facultad de Agronomía,  
Universidad de Buenos Aires, Argentina  
Email: perez @agro.uba.ar  
<https://orcid.org/0000-0003-0811-1795>

**Mariano Tomás Cassani**

Facultad de Agronomía,  
Universidad de Buenos Aires, Argentina  
Email: mcassani@agro.uba.ar  
<https://orcid.org/0000-0003-2368-6722>

**Marcelo Juan Massobrio**

Facultad de Agronomía,  
Universidad de Buenos Aires, Argentina  
Email: massobri@agro.uba.ar  
<https://orcid.org/0000-0002-7936-3466>

**RESUMEN:** El sudoeste de la provincia de Buenos Aires con una superficie estimada de 6.5 millones de hectáreas, forma una parte importante de la subregión Pampa Austral, donde la agricultura tiene un predominio

<sup>1</sup> El artículo abreviado fue publicado en el libro de resúmenes del Programa Interdisciplinario de la Universidad de Buenos Aires sobre Cambio Climático (PIUBACC). Archivo digital ISBN 978-950-29-1642-2

de cultivos de invierno, en especial trigo. A fin de evaluar los cambios en el valor medio de la precipitación anual del sudoeste de la provincia de Buenos Aires, capaces de afectar a la actividad productiva agraria, se estudió su comportamiento. Se utilizaron datos de precipitación anual durante el período 1928-2015 de 9 localidades del sudoeste de la provincia de Buenos Aires. Con las series de precipitación homogéneas según la prueba Standard Normal Homogeneity Test (SNHT), se detectaron los cambios en los valores de la media utilizando la Segmentación de Series Hidrometeorológicas de Hubert. El resultado indica que el sudoeste de la provincia de Buenos Aires, observó cambios abruptos positivos durante la segunda mitad del siglo XX, pero a comienzos del siglo XXI experimentó cambios abruptos de signo negativo, que le hizo perder gran parte del incremento obtenido anteriormente, retrayendo su promedio a un valor similar al inicial. Estos cambios la afectan muy significativamente, pasando alternatively, de un clima de tipo BS (semiárido en la Clasificación de Köppen) en las fases secas, al rango pluviométrico inferior del clima húmedo, con estación seca (Cw, en la Clasificación de Köppen), en las fases húmedas, lo cual influye notablemente su capacidad productiva.

**PALABRAS CLAVE:** Agroclimatología. Variabilidad. Segmentación de series hidrometeorológicas.

## CHANGES IN AVERAGE ANNUAL PRECIPITATION IN THE SOUTHWEST AREA OF BUENOS AIRES PROVINCE, ARGENTINA

**ABSTRACT:** The southwest of Buenos Aires province has an estimated area of 6.5 million hectares. It is part of the Pampa Austral sub-region, where agriculture is dominated by winter crops, especially wheat. In order to evaluate the changes in the mean value of annual precipitation, which may affect agricultural productive activity, we studied some climate patterns. We used annual precipitation data during the period 1928-2015 from 9 localities in the southwest of the province of Buenos Aires. Using homogeneous precipitation series following the Standard Normal Homogeneity Test (SNHT), changes in mean values were detected using Hubert's Segmentation of Hydrometeorological Series. The result indicates that abrupt positive changes were observed during the second half of the 20th century, but at the beginning of the 21st century, it experienced abrupt changes of negative sign. This caused the loss of a significant part of the precipitation increase, bringing its average back to a value similar to the initial one. These changes affected the region significantly, passing alternatively from a BS type climate (semi-arid in the Köppen Classification) in the dry phases, to the lower pluviometric range of the humid climate, with dry season (Cw, in the Köppen Classification), in the humid phases. This had a significant influence on the productive land capacity.

**KEYWORDS:** Agro-climatology. Variability. Segmentation of hydrometeorological time series.

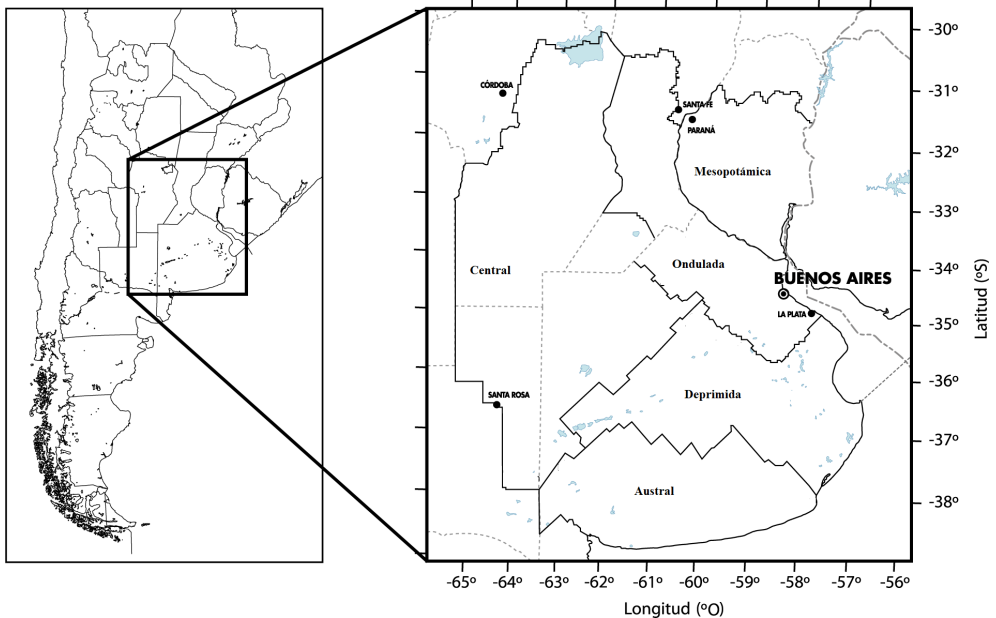
## 1 INTRODUCCIÓN

La región Pampeana con sus más de 50 millones de hectáreas, es la principal área agrícola de la Argentina. Está ubicada en el sector centro-este del país, y abarca las provincias de Entre Ríos, Santa Fe, Córdoba, La Pampa y Buenos Aires (30°S - 40°S y 56°O - 65°O). De acuerdo a sus características edáficas y climáticas puede ser dividida en cinco sub regiones, Pampa Mesopotámica, Pampa Ondulada, Pampa Central, Pampa Austral y Pampa Deprimida (Figura 1), (Viglizzo *et al.*, 2001, 2004).

Se trata de un área de clima templado húmedo, Cf según la clasificación de Köppen actualizada por Kottek *et al.*, (2006), dominada por la predominancia de los vientos del este, impulsados por el anticiclón semipermanente de las costas del Brasil. Esto determina que el aire subtropical marítimo penetre por la costa brasileña dirigiéndose posteriormente hacia el sudeste llegando en verano hasta los 40° de latitud y en invierno

hasta aproximadamente los 30° de latitud. De esta manera el área recibe circulación marítima todo el año, generando un gradiente de humedad que decrece de este a oeste.

Figura 1. Subregiones de la Región Pampeana Argentina



El sudoeste de la provincia de Buenos Aires con una superficie estimada de 6.5 millones de hectáreas, lo que representa el 25% del territorio provincial, forma una parte importante de la subregión Pampa Austral. En esta subregión la agricultura tiene un predominio de cultivos de invierno, en especial trigo (Giagante de Vercesi 1978; INTA-SAGyP 1990; INTA 2016) y las áreas plenamente ganaderas se hallan donde los suelos presentan problemas de hidromorfismo y alcalinidad (INTA-SAGyP 1990). Los suelos se caracterizan por poseer propiedades texturales y estructurales favorables para la agricultura (Giagante de Vercesi 1978; INTA-SAGyP 1990). Estos están provistos de materia orgánica y nutrientes minerales, y no tienen otra limitación que la presencia en ciertos sectores de tosca subsuperficial (Giagante de Vercesi 1978; INTA-SAGyP 1990, INTA 2016).

El conocimiento del régimen de precipitaciones de un agroecosistema es de suma importancia para su manejo sustentable (Roberto *et al*, 1994; Viglizzo *et al*, 1995; Podestá *et al*, 1999; Sierra y Pérez, 2006).

Diversos estudios indican que el avance hacia el oeste de la frontera de la agricultura, observado en la Región Pampeana durante el último cuarto del siglo XX (Viglizzo *et al*, 1995), fue favorecido por un incremento en el régimen de lluvias (Castañeda

y Barros, 1994; Sierra *et al.*, 1994), que actuó en forma sinérgica con el incremento en la demanda de los mercados internacionales (Trigo, 2005) y las innovaciones tecnológicas (Satorre, 2005).

Algunos autores (Suriano y Ferpozzi, 1993; Roberto *et al.*, 1994; Pérez *et al.*, 2003, 2011; Pérez y Sierra, 2012) señalan que la Región Pampeana observaría un ciclo hídrico de larga duración con fases húmedas y secas, separadas por fases de transición, durante las cuales la frontera de la agricultura avanza o retrocede.

A fin de evaluar los cambios en el valor medio de la precipitación anual del sudoeste de la provincia de Buenos Aires, capaces de afectar a la actividad productiva agraria, se estudió su comportamiento durante el período 1928-2015, para el que se dispone de registros instrumentales.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron datos de precipitación anual durante el período 1928-2015 de 9 localidades del sudoeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina (Tabla 1). Los datos fueron provistos por el Servicio Meteorológico Nacional y la Dirección de Estimaciones Agrícolas y Delegaciones de la Subsecretaría de Agricultura del Ministerio de Agroindustria.

Tabla 1. Ubicación de las localidades del sudoeste de la provincia de Buenos Aires

| Localidad       | Latitud (S) | Longitud (O) | Altura (msnm) |
|-----------------|-------------|--------------|---------------|
| Guamini         | 37° 01´     | 62° 25´      | 95            |
| Gral. La Madrid | 37° 15´     | 61° 15´      | 181           |
| Cnel. Suárez    | 37° 28´     | 61° 56´      | 228           |
| Puán            | 37° 32´     | 62° 46´      | 222           |
| Saavedra        | 37° 45´     | 62° 21´      | 334           |
| Cnel. Pringles  | 37° 58´     | 61° 01´      | 297           |
| Tornquist       | 38° 06´     | 62° 14´      | 276           |
| Tres Arroyos    | 38° 22´     | 60° 10´      | 98            |
| Bahia Blanca    | 38° 43´     | 62° 16´      | 20            |

### 2.1 PRUEBA DE HOMogeneidad

Una serie de datos climáticos es homogénea si “... sus variaciones solamente se han originado por las variaciones del tiempo y el clima” (Conrad y Pollak, 1950). Una serie climática puede dejar de ser homogénea si la estación de medición ha sufrido cambios de instrumentos, cambios de emplazamiento o cambios en las prácticas de observación (Wijngaard *et al.*, 2003).

La comprobación de la homogeneidad de las series de precipitación se realizó mediante el programa AnClim (Štěpánek, 2006) por medio de la prueba Standard Normal Homogeneity Test (SNHT) de Alexandersson y Moberg, (1997), la cual se aplicó a las series de valores anuales.

Se utilizó como serie de referencia el promedio de precipitación anual de la subregión.

A cada una de las series se le aplicó la prueba referida, estimando una serie de cocientes  $|q_i|_{i=1}^N$  entre el valor observado de la serie a la cual se aplica la prueba y el valor de la estación de referencia. Se estimó la serie estandarizada de cocientes  $|z_i|_{i=1}^N$  para la cual

$$z_i = (q_i - \bar{q})/Sq \quad (1)$$

Donde  $\bar{q}$  y  $sq$  son la media y desviación estándar muestral de la serie  $q_i$ .

Sea  $1 \leq v < N$  y  $\mu_1 \neq \mu_2$  donde  $N$  es el número de años de datos disponibles.

Se desea probar la hipótesis nula:  $H_0: z_i \sim N(0,1) \quad \forall i$

Con respecto a la hipótesis alternativa:  $H_1: z_i \sim N(\mu_1,1) \quad i \leq v$

$$z_i \sim N(\mu_2,1) \quad i > v$$

La hipótesis nula implica que la media de la serie estandarizada  $z_i$  no cambia con el tiempo, mientras que la hipótesis alternativa indica que para algún tiempo  $v$  existe un cambio en la media de la serie.

El estadístico de prueba para determinar si existe un cambio en la media de la serie  $z_i$  es

$$T_0 = \max_{1 \leq v < N} \{T_v\} \quad (2)$$

Donde

$$T_v = v\bar{z}_1^2 + (N - v)\bar{z}_2^2 \quad (3)$$

$\bar{z}_1$  y  $\bar{z}_2$  son las medias muestrales de los primeros  $v$  y últimos  $(N - v)$  valores de la serie  $z_i$ . Si  $T_0$  es mayor que cierto nivel crítico para determinado nivel de significancia de la prueba, se rechaza la hipótesis nula de homogeneidad de la serie. El valor crítico para la prueba con nivel de significación  $\alpha = 0,05$  según Khaliq y Ouarda (2007), para una longitud de serie  $N = 87$  es de 9,036.

Con las series de precipitación anual homogéneas de cada sub región se calculó la correspondiente serie promedio, con la cual se evaluaron los cambios en el valor medio.

## 2.2 DETECCIÓN DE CAMBIOS EN LA MEDIA

Con las series de precipitación de la sub región, calculada como promedio de las correspondientes series homogéneas según la prueba SNHT, se detectaron los cambios

en los valores de la media utilizando la Segmentación de Series Hidrometeorológicas de Hubert (Hubert *et al.*, 1989).

El método de Segmentación de Series Hidrometeorológicas de Hubert divide la serie en  $m$  segmentos ( $m > 1$ ) de forma tal que la media calculada sobre todo el segmento sea significativamente diferente de la media del o de los segmentos vecinos.

La segmentación es definida de la siguiente manera:

Toda serie  $x_i, i = i_1, i_2$  con  $i_1 \geq 1$  e  $i_2 \leq N$  donde  $(i_1 < i_2)$  constituye un segmento de la serie inicial de los  $(x_i), i = 1, \dots, N$

Toda partición de la serie inicial en  $m$  segmentos es una segmentación de orden  $m$  de esta serie. A partir de una segmentación particular de orden  $m$  realizada sobre la serie inicial, se define:

$$i_k, \quad k = 1, 2, \dots, m$$

$$n_k = i_k - i_{k-1}$$

$$\bar{x}_k = \frac{\sum_{i=i_{k-1}+1}^{i=i_k} x_i}{n_k} \quad (4)$$

$$D_m = \sum_{k=1}^{k=m} d_k \quad (5)$$

$$d_k = \sum_{i=i_{k-1}}^{i=i_k} (x_i - \bar{x}_k)^2 \quad (6)$$

La segmentación obtenida debe ser tal que para un orden  $m$  de segmentos dados, la desviación estándar  $D_m$  sea mínima. Esta condición es necesaria pero no suficiente para la determinación de la segmentación óptima. Es necesario tener en cuenta que las medias de dos segmentos contiguos deben ser significativamente diferentes. Esta limitación se satisface por aplicación de la prueba de Scheffé, (Dagnélie, 1970).

Por medio de la desviación estándar y la media de cada segmento se calculó el coeficiente de variabilidad respectivo.

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a la Prueba de Homogeneidad, cinco de las series de precipitación anual disponibles presentaron un valor de  $T$  menor que el valor crítico (Khaliq y Ouarda, 2007), pudiendo considerarse homogéneas al nivel de significación  $\alpha = 0,05$  (Tabla 2). Las



otras cuatro series presentaron un valor de T mayor que el valor crítico, por tanto, fueron consideradas inhomogéneas, siendo eliminadas del análisis.

Tabla 2. Resultados del SNHT aplicado a las series de precipitación anual de las localidades del sudoeste de la provincia de Buenos Aires (\* es usado cuando el valor de T excede 95%)

| Localidad       | Año de cambio | Valor de T |   |
|-----------------|---------------|------------|---|
| Guaminí         | 1961          | 7,720      |   |
| Gral. La Madrid | 1968          | 10,936     | * |
| Cnel. Suárez    | 2005          | 8,445      |   |
| Puán            | 2015          | 13,024     | * |
| Saavedra        | 1958          | 5,892      |   |
| Cnel. Pringles  | 1975          | 16,148     | * |
| Tornquist       | 1973          | 6,046      |   |
| Tres Arroyos    | 1963          | 4,001      |   |
| Bahía Blanca    | 1965          | 11,309     | * |

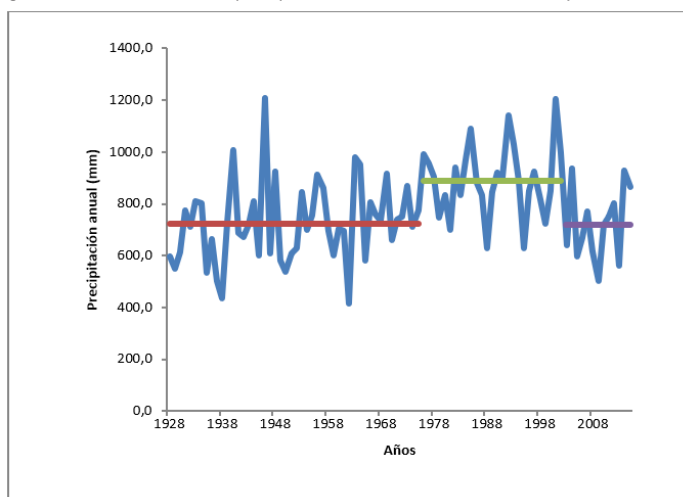
El resultado correspondiente al promedio de las series de precipitación anual del sudoeste de la provincia de Buenos Aires, por el método de Segmentación de Hubert (Hubert, *et al.*, 1989) se detalla en la Tabla 3.

Tabla 3. Segmentación de la serie de precipitación anual del sudoeste de la provincia de Buenos Aires por el método de Hubert (Hubert, *et al.*, 1989)

| Subperíodo | Promedio (mm) | Desviación estándar | Coefficiente de Variación |
|------------|---------------|---------------------|---------------------------|
| 1928-1975  | 723,4         | 153,9               | 21,3                      |
| 1976-2002  | 890,1         | 138,8               | 15,6                      |
| 2003-2015  | 719,6         | 137,8               | 19,1                      |

El resultado indica que el sudoeste de la provincia de Buenos Aires, observó cambios abruptos positivos durante la segunda mitad del siglo XX, pero a comienzos del siglo XXI experimentó cambios abruptos de signo negativo, que le hizo perder gran parte del incremento obtenido anteriormente, retrotrayendo su promedio a un valor similar a la inicial (Figura 2).

Figura 2. Segmentación de la serie de precipitación anual del sudoeste de la provincia de Buenos Aires.



## 4 CONCLUSIONES

La segmentación de las series de precipitación anual del sudoeste de la provincia de Buenos Aires, por el método de Segmentación de Hubert (Hubert, *et al.*, 1989), puso en evidencia que la zona está sujeta a cambios abruptos que modifican sus promedios de precipitaciones.

Al pertenecer la zona de estudio a la sub región Pampa Austral, caracterizada con menor promedio pluviométrico, respecto a las otras subregiones pampeanas, estos cambios la afectan muy significativamente, pasando alternativamente, de un clima de tipo BS (semiárido en la Clasificación de Köppen) en las fases secas, al rango pluviométrico inferior del clima húmedo, con estación seca (Cw, en la Clasificación de Köppen), en las fases húmedas, lo cual influye notablemente su capacidad productiva.

Cabe destacar que, en el sudoeste bonaerense, dadas las características climáticas y edáficas, el riesgo agrícola crece de norte a sur y de este a oeste, por ello el oeste de la zona de estudio es más vulnerable a los cambios abruptos en el promedio anual de las precipitaciones que el este de su extensión.

## 5 AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado en el marco del Proyecto UBACyT 2018-20. Res. 20020170100612BA

## REFERENCIAS

- ALEXANDERSSON, H.; MOBERG, A. Homogenization of Swedish temperature data. Part I: homogeneity test for linear trends. *International Journal of Climatology* 17: 25-34, 1997.
- CASTAÑEDA, M.E.; BARROS, V. Las tendencias de la precipitación en el Cono Sur de América al este de los Andes. *Meteorológica*, 19 (1y2): 23-32, 1994.
- CONRAD, V.; POLLACK L.W. *Methods in Climatology*. Harvard University Press. 459 pp, 1950.
- DAGNÉLIE, P. *Théorie et Méthodes Statistiques*. Les Presses Agronomiques de Gembloux. Vol 2: 463 pp, 1970.
- GIAGANTE DE VERCESI V. Pampa Surera. En: *El país de los argentinos: las Pampas*, pp. 217-240. Editorial Centro Editor de América Latina, Buenos Aires. 1978.
- HUBERT, P.; CARBONNEL, P.; CHAOUICHE, A. Segmentation des séries hydrométriques. Application à des séries de précipitations et de débits de l'Afrique de l'ouest. *J. Hydrol.* 110, 349-367, 1989.
- INTA-SAGyP. *Atlas de suelos de la República Argentina*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria - Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, Buenos Aires, 1990.
- INTA. *El trigo en el sudoeste bonaerense*. Centro Regional Buenos Aires Sur. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, 76 pp, 2016.
- KHALIQ, M.N.; OUARDA, T.B.M.J. On the critical values on the standard normal homogeneity test (SNHT). *International Journal of Climatology* 27: 681-687, 2007.
- KOTTEK, M.; GRIESER, J.; BECK, C.; RUDOLF, B.; RUBEL, F. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift* 15 (3): 259-263, 2006.
- PÉREZ, S.; SIERRA, E.M.; CASAGRANDE, G.; VERGARA, G.; BERNAL, F. Comportamiento de las precipitaciones (1918/2000) en el centro oeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). *Rev. De la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa*, 14 (1-2): 39-46, 2003.
- PÉREZ, S.; SIERRA, E.; LÓPEZ, E.; NIZZERO, G.; MOMO, F.; MASSOBRIO, M. Abrupt changes in rainfall in the Eastern area of La Pampa Province, Argentina. *Theor.Appl.Climatol.* 103, 159-165, 2011.
- PÉREZ, S.; SIERRA, E. Changes in rainfall patterns in the eastern area of La Pampa province, Argentina. *Revista Ambiente & Agua An Interdisciplinary Journal of Applied Science*. 7 (1) 24-35. 2012. (<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.692>).
- PODESTÁ, G.P.; MESSINA, C.D.; GRONDONA, M.O.; MAGRIN, G.O. Associations between Grain Crop Yields in Central-Eastern Argentina and El Niño–Southern Oscillation. *J. Appl. Meteor.*, 38, 1488–1498. 1999. doi: [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450\(1999\)038<1488:ABGCYI>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0450(1999)038<1488:ABGCYI>2.0.CO;2)
- ROBERTO, Z.E.; CASAGRANDE, G.; VIGLIZZO, E. Lluvias en la Pampa Central: tendencia y variaciones del siglo. *Cambio Climático y Agricultura Sustentable en la Región Pampeana*. Bol. INTA Centro Regional La Pampa-San Luis, N°2, 25pp, 1994.
- SATORRE, E.H. 2005. Cambios tecnológicos en la agricultura argentina actual. *Ciencia Hoy* 15 (87):24-31, 2005.
- SIERRA, E.M.; HURTADO, R.; SPESCHA, L. Corrimiento de las isoyetas anuales medias decenales en la Región Pampeana 1941-1990. *Rev. Facultad de Agronomía*, 14 (2), 139-144, 1994.

SIERRA, E.M.; PÉREZ, S.P. Tendencia del régimen de precipitación y el manejo sustentable de los agroecosistemas: estudio de un caso en el noroeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Revista de Climatología* 6: 1-12, 2006.

ŠTĚPÁNEK, P. AnClim Software for time series analysis. Dept. of Geography. Faculty of Sciences, Masaryk University. Bmo. 1,6 MB, 2006.

SURIANO, J.M.; FERPOZZI, L.H. Los cambios climáticos en la Pampa también son historia. *Todo es Historia* N°306: 8-25, 1993.

TRIGO, E. Consecuencias económicas de la transformación agrícola. *Ciencia Hoy* 15 (87):46-51, 2005.

VIGLIZZO, E.F.; ROBERTO, Z.E.; FILIPPIN, M.C.; PORDOMINGO, A.J. Climate variability and agroecological change in the Central Pampas of Argentina. *Agriculture Ecosystems and Environment* 55, 7-1, 1995.

VIGLIZZO, E.F.; LÉRTORA, F.; PORDOMINGO, A.J.; BERNARDOS, J.N.; ROBERTO, Z.E.; DEL VALLE, H. Ecological lessons and applications from one century of low external-input farming in the pampas of Argentina. *Agriculture Ecosystems and Environment* 83, 65-81, 2001.

VIGLIZZO, E.F.; PORDOMINGO, A.J.; CASTRO, M.G.; LÉRTORA, F.A.; BERNARDOS, J.N. Scale-dependent control on ecological functions in agroecosystems of Argentina. *Agriculture Ecosystems and Environment* 101, 39-51, 2004.

WIJNGAARD, J.B.; KLEIN TANK, A.M.G.; KÖNNEN, G.P. Homogeneity of 20th century European daily temperature and precipitation series. *International Journal of Climatology* 23: 679-692, 2003.

# CAPÍTULO 7

## INTEGRACIÓN DE MODELOS HIDRÁULICOS Y FOTVOLTAICOS EN BOMBEO SOLAR<sup>1</sup>

Data de submissão: 19/02/2021

Data de aceite: 12/03/2021

### Jorge Cervera Gascó

Investigador Postdoctoral,  
Instituto de Desarrollo Regional (IDR).  
Universidad de Castilla-La Mancha.  
Albacete, España.

<https://orcid.org/0000-0001-5287-6299>

### Miguel Ángel Moreno Hidalgo

Profesor e Investigador,  
Instituto de Desarrollo Regional (IDR).  
Universidad de Castilla-La Mancha.  
Albacete, España.

<http://orcid.org/0000-0002-5940-6123>

### Jesús Montero Martínez

Profesor e Investigador,  
Centro Regional de Estudios del Agua  
(CREA),  
Universidad de Castilla-La Mancha.  
Albacete, España

<https://orcid.org/0000-0002-0309-3367>

**RESUMEN:** Uno de los aspectos clave que condicionan el buen funcionamiento de los sistemas de bombeo solar es la gestión que

<sup>1</sup> Este trabajo forma parte de la Tesis Doctoral realizada por el Dr. Jorge Cervera Gascó, y titulada "MODELO INTEGRAL DE GESTIÓN DE SISTEMAS DE RIEGO ALIMENTADOS CON ENERGÍA SOLAR FOTVOLTAICA"

se hace de ellos. Esta gestión debe englobar tanto a la instalación fotovoltaica, siendo capaz de transformar la gran variabilidad de la radiación solar en potencia útil disponible, como a la instalación hidráulica, para poder conseguir una adecuada gestión de riego en cuanto a uniformidad y dosis a aplicar. Por tanto, el presente estudio tiene como objetivo el desarrollo de una herramienta de análisis inteligente de bombeos solares, tanto en sistemas de inyección directa como en almacenamiento a embalse, compuesta por un modelo fotovoltaico de alta precisión que permita obtener la potencia generada en tiempo real, integrado con un modelo hidráulico, para poder reproducir el comportamiento del sistema de riego frente a las posibles variaciones de presión y caudal descargado según la potencia eléctrica disponible.

**PALABRAS CLAVE:** Riego. Energías renovables. Gestión. Optimización.

### INTEGRATION OF HYDRAULIC AND PHOTOVOLTAIC MODELS IN SOLAR PUMPING SYSTEMS

**ABSTRACT:** One of the key aspects that has a high influence in the appropriate operation of the solar pumping systems is their management. This management must

include both to the photovoltaic installation, being able to convert the high variability of solar radiation in useful power, and the hydraulic installation to achieve an adequate irrigation management in terms of uniformity and dose to be applied. So, the objective of the present work is the development of an intelligent analysis tool of solar pumping systems, both to the direct injection systems and the storage to reservoir, composed by a high accuracy photovoltaic model, that allows to get the power generated in real time, integrated with a hydraulic model, that allows to get the behavior of the irrigation system front of the possible pressure and discharged flow variations according the available electrical power.

**KEYWORDS:** Irrigation. Renewable energy. Management. Optimization.

## 1 INTRODUCCIÓN

Los principales aspectos que deben ser considerados en el proceso de diseño y gestión de un sistema de riego son: maximizar la uniformidad y obtener el mínimo coste total del sistema y determinar los requerimientos del sistema de control y telemetría.

Daccache et al. (2010) implementaron algoritmos para analizar la relación entre la uniformidad del riego y la presión en el hidrante. Carrión et al. (2013 y 2014) desarrollaron una herramienta de ayuda en la toma de decisiones llamada PRESUD, para el diseño y dimensionamiento óptimo de sistemas fijos de aspersión y de riego localizado con coste total mínimo (inversión + operación) por unidad de superficie regada teniendo en cuenta el tipo y tamaño de la bomba junto con el sistema de riego. El uso de estas herramientas hace que sea posible determinar con precisión la uniformidad del sistema, que está directamente relacionado con el rendimiento de los cultivos y, por lo tanto, con el uso eficiente del agua. También es importante para poder determinar el efecto de la presión de trabajo de los emisores en el adecuado equilibrio entre el consumo de energía y el coste total de la aplicación de agua.

En el sector agrícola, la aplicación de las energías renovables es cada vez más frecuente, como la energía solar en sistemas de bombeo para el suministro del agua de riego. Por tanto, es necesario realizar un análisis completo de la aplicabilidad de la energía fotovoltaica junto con la estacionalidad de la demanda de energía del regadío.

Así, el objetivo del trabajo es desarrollar una herramienta inteligente que permita la integración de un modelo hidráulico y fotovoltaico preciso para analizar la calidad del riego en las distintas subunidades del sistema, con cualquier forma y topografía irregular, estableciendo la secuencia óptima de apertura de subunidades que garanticen una buena gestión de la uniformidad y dosis de riego, tanto para el caso de inyección directa a red como con la utilización de un depósito de regulación y almacenamiento, utilizando energía fotovoltaica.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

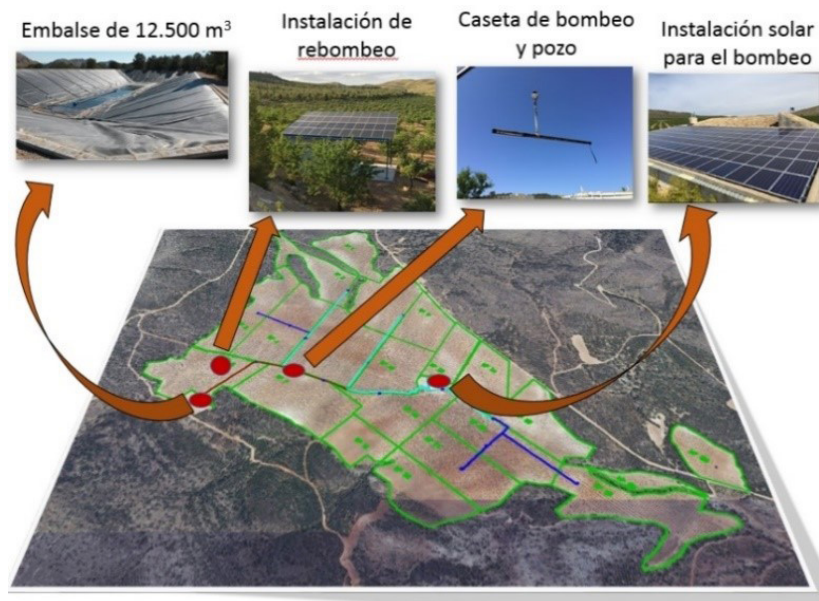
Para la realización, calibración y validación de estos modelos se ha utilizado una parcela comercial de 90 ha de almendros regada por goteo con sistema de bombeo solar. La finca está situada en el término municipal de Hellín (Albacete-España) y está dividida en 20 subunidades, que están ubicadas en una topografía y forma muy irregular.

Los goteros utilizados son autocompensantes, con un caudal de diseño de 2 l/h, habiéndolos ensayado en laboratorio para obtener su curva de descarga y el coeficiente de variación de fabricación. El agua suministrada a la plantación procede de un sondeo con nivel dinámico situado en torno a 180 m, utilizando una bomba sumergida de 26 kW. Además, la finca cuenta con un embalse de 12.500 m<sup>3</sup>. El embalse de regulación y almacenamiento se encuentra 28 m por encima de la cota de salida del sondeo. Desde el embalse se puede regar por gravedad cerca del 60% de las subunidades de riego, existiendo un sistema de re-bombeo solar adicional para el resto de subunidades de riego por goteo.

En la cubierta de una nave están instalados 152 módulos fotovoltaicos, con una disposición de 8 ramales en paralelo con 19 módulos fotovoltaicos por ramal que aportan una potencia máxima de 40 kWp, siendo la potencia unitaria por módulo fotovoltaico de 265 Wp, con la que se alimenta la bomba a través de un variador de velocidad de 30 kW.

La figura 1 muestra el plano de la finca con los elementos descritos.

Figura 1. Plano de la finca con las subunidades, la red de distribución, ubicación de los módulos fotovoltaicos, pozo y embalse.





Los datos de entrada de irradiación ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ), temperatura ambiente ( $^{\circ}\text{C}$ ) y velocidad del viento ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) han sido obtenidos de un piranómetro (Middleton) y de una estación meteorológica (WS-600) instalados junto a los módulos fotovoltaicos, permitiendo obtener datos muy fiables y representativos,

Con el fin de tener una precisa caracterización de la finca, se ha realizado un levantamiento topográfico con GPS-RTK, y precisión centimétrica en altimetría, identificando además el inicio y fin de cada ramal, y la localización de cada una de las válvulas de apertura de las subunidades, consiguiendo así una muy buena caracterización del sistema de riego instalado.

Además, se han realizado diferentes vuelos mediante vehículos aéreos no tripulados (drones) utilizando un drone de tipo cuadracóptero md-400 con el fin de obtener el modelo digital del terreno (MDT), lo que ha permitido determinar la cota de cada uno de los goteros con precisión centimétrica ( $< 7 \text{ cm}$ ).

La herramienta generada está compuesta por la integración y unión de dos submodelos, uno fotovoltaico y otro hidráulico, ambos implementados en un software propio desarrollado en Matlab®. A continuación, se describe la metodología utilizada en ambos submodelos.

## 2.1 MODELO HIDRÁULICO

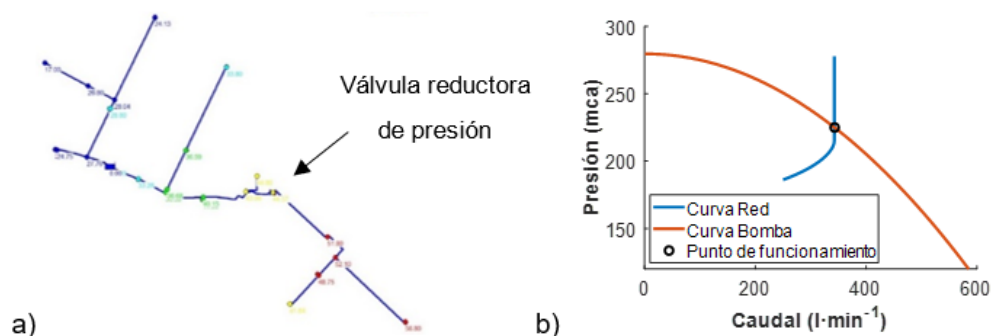
La información obtenida ha permitido reproducir el diseño hidráulico de la red de distribución y de las distintas subunidades de riego mediante un programa de dibujo y diseño asistido por ordenador permitiendo trazar los límites de la subunidad, así como su punto de alimentación y todas las tuberías que la conforman. Posteriormente, para la obtención del modelo hidráulico de la instalación se ha utilizado el conocido motor de cálculo de EPANET implementado en un software propio desarrollado en Matlab®.

La descarga de los goteros se ha estimado con la ecuación general del emisor (Keller y Bliesner, 1990). Con ayuda de la herramienta PRESUD-irregular se ha deducido la ecuación de descarga de cada subunidad, que determina el caudal descargado por el conjunto de goteros en función de la presión a la entrada de la subunidad, así como la presión y caudal descargado por cada uno de los goteros. Esto permite calcular los correspondientes coeficientes de uniformidad de emisión, y los coeficientes de variación de caudal y presión en cada una de las subunidades, teniendo una muy buena caracterización de la calidad del riego. Para la caracterización del funcionamiento del sondeo se ha realizado una evaluación para obtener datos de niveles dinámicos y caudales en función de potencias disponibles en la bomba. Además, la herramienta permite conocer la evolución de las curvas características de la bomba utilizando las leyes de semejanza.

La simulación hidráulica de la red de distribución, figura 2 (a), permite establecer la presión en cada uno de los nudos o hidrantes a partir de la presión y caudal en cabecera. En la figura 2 (b) se puede ver la curva de la bomba y la curva de la instalación calculadas en tiempo real junto a su punto óptimo de funcionamiento. El modelo hidráulico de la red y de las subunidades de riego permite identificar las subunidades que podrían ser regadas adecuadamente desde el embalse, situado en la parte más alta de la finca, así como establecer el valor de presión adicional que sería necesario tener en el origen de la red para obtener un mínimo valor de uniformidad de emisión en cada subunidad de riego.

Toda esta información permitió determinar el punto exacto para la instalación de una válvula reductora de presión a 50 mca con el fin de proteger la zona más baja de la finca del exceso de presión generado para el riego de otras subunidades que así lo requieren y evitar superar la presión soportada por la tubería de la red de distribución de 60 mca.

Figura 2 (a) Simulación de la red de distribución con presión en cada uno de los nudos y (b) curva de de bomba y de la instalacion junto a punto de funcionamiento óptimo.



Para la calibración y validación del modelo hidráulico se han tomado medidas de presión en puntos estratégicos de la red y de las subunidades de riego, realizando los ajustes con los valores de rugosidad para obtener una pérdida de carga equivalente a la real, lo que permite tener en cuenta de forma indirecta las singularidades del conjunto de la instalación. Además, en la caseta del pozo se encuentra instalado un transductor de presión y un caudalímetro con el fin de obtener las presiones y caudales de salida de la bomba que, junto a los datos horarios de nivel dinámico obtenidos mediante un sistema compuesto por un compresor y una electroválvula accionada por un datalogger, permite caracterizar de forma precisa la evolución del nivel dinámico y el caudal bombeado a lo largo del tiempo.

## 2.2 MODELO FOTOVOLTAICO

### 2.2.1 Conversión de la irradiancia solar sobre superficie inclinada.

La irradiancia solar sobre superficie inclinada (GTI) se obtiene mediante la irradiancia solar sobre superficie horizontal (GHI) medida con un piranómetro ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ ) instalado en la cubierta de la caseta con una inclinación de los módulos fotovoltaicos de  $8,5^\circ$  y orientación Sur. Para ello se ha utilizado un modelo de conversión de irradiancias desarrollado por Perez et.al (1992) que permite obtener la irradiancia directa sobre plano horizontal (DHI). La irradiancia difusa sobre plano horizontal (DHI) es posible obtenerla mediante la siguiente expresión, ya que los otros valores son conocidos.

$$\text{GHI} = \text{DHI} + \text{DNI} \cdot \cos(\theta_z) \quad (1)$$

Finalizado el cálculo de las componentes de irradiancia horizontales podemos calcular las componentes de irradiancia inclinadas. El proceso de conversión de irradiancia directa sobre superficie inclinada se basa en un planteamiento geométrico, el cual depende de los ángulos de inclinación y orientación de la superficie y las coordenadas solares.

Para la conversión de irradiancia difusa sobre superficie inclinada se ha utilizado el modelo propuesto por Pérez et al (1992) siendo uno de los modelos más utilizados para la estimación como descripción más detallada del comportamiento anisotrópico de la irradiancia difusa. Otra componente que hay que tener en cuenta en el cálculo total de la irradiancia es la irradiancia reflejada sobre superficie inclinada, produciéndose el fenómeno de reflexión con el suelo e incidiendo en la superficie inclinada.

La suma de todas las componentes de irradiancia sobre superficie horizontal proporciona el valor de irradiancia total sobre superficie inclinada.

### 2.2.2 Cálculo de la potencia máxima del generador según el nivel de irradiación.

Los fabricantes de módulos fotovoltaicos normalmente proporcionan los parámetros eléctricos que operan en una misma condición. Por tanto, para describir el comportamiento de forma precisa del generador fotovoltaico según la variabilidad de las condiciones ambientales (Perez et al, 1990) se ha utilizado la siguiente expresión.

$$I = I_L - I_O \left[ e^{\frac{V + IR_S}{a}} - 1 \right] - \frac{V + IR_S}{R_{sh}} \quad (2)$$

Para la determinación de la curva de Intensidad –Tensión (I-V) se han utilizado los valores proporcionados por el fabricante, que indican las características de los módulos fotovoltaicos. Además, se ha tenido en cuenta la velocidad del viento para el cálculo de la

temperatura de trabajo de la célula, siendo este último un parámetro muy importante para el rendimiento global de la instalación.

Otro aspecto importante tenido en cuenta es la degradación de los módulos fotovoltaicos que ha sido calculada en función del año de vida útil que estos presentan en el momento del estudio.

Normalmente, las instalaciones fotovoltaicas se encuentran sobredimensionadas por diversas razones. Es por ello, que la herramienta incorpora un algoritmo de control de la potencia generada mediante la selección del punto de funcionamiento en condiciones de máxima potencia.

### **2.2.3 Cálculo de la potencia del Variador.**

Para el cálculo de la eficiencia del variador se ha utilizado una expresión polinomial generada con datos proporcionados por un analizador de corriente continua Chauvin Arnoux modelo PEL 103 instalado a la entrada del variador y por un analizador de redes AR5 (CIRCUTOR) instalado a la salida del variador.

### **2.2.4 Cálculo de las pérdidas de potencia que se producen en el cableado.**

Para el cálculo de las pérdidas de potencia en el cableado se distinguen dos tramos según sea en corriente continua (Módulos fotovoltaicos - Variador) o en corriente alterna trifásica (Variador – Bomba). Su cálculo general se basa en el criterio de la resistencia del conductor empleando además la intensidad máxima circulante por el conductor y el número de conductores.

### **2.2.5 Cálculo de la potencia de entrada de la bomba.**

Con todas las fases calculadas obtenemos finalmente la potencia disponible a la entrada de la bomba.

## **3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

A modo de ejemplo, se presentan los resultados obtenidos con la herramienta generada para la combinación de dos subunidades diferentes, ya que las características de la bomba permiten el riego de dos subunidades simultáneamente.

La herramienta establece limitaciones de presión tanto en las tuberías de distribución (60 mca), como en los goteros de las subunidades (35 mca) con el fin de no superar la presión de trabajo en estos elementos. Además, con el fin de obtener riegos eficientes y de calidad se ha establecido un tiempo mínimo de riego, en este caso de

una hora, de modo que la herramienta selecciona solamente aquellas combinaciones que cumplen este requisito. Si alguna de las combinaciones no cumple las condiciones anteriormente mencionadas, automáticamente es descartada para el riego. El número de combinaciones realizadas con dos subunidades diferentes es de 190.

Con el fin de tener una mejor comprensión de la herramienta generada se establecen dos vías de análisis de resultados. En la primera de ellas, la herramienta permite analizar cualquier periodo de tiempo (anual, mensual, diario, etc.), sin embargo, a modo de ejemplo se ha seleccionado un instante dado correspondiente al día 03-05-2017 a las doce del mediodía alcanzando una potencia fotovoltaica máxima disponible de 27,98 kW.

Figura 3. Posibles combinaciones de subunidades para el día 03-05-2017 a las 12 del mediodía.

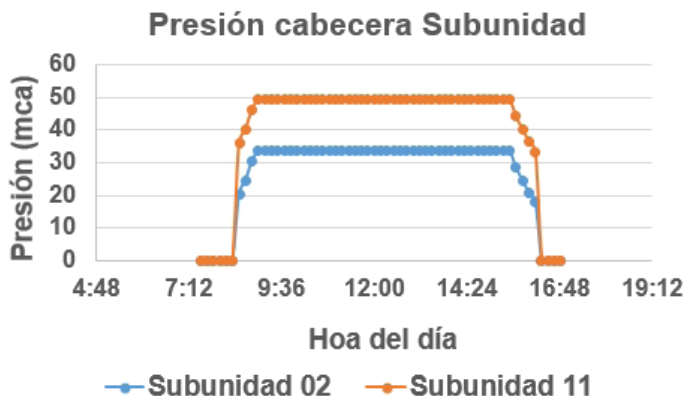
|     | COMBINACIONES DE SUBUNIDADES |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----|------------------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|     | S1                           | S2 | S3 | S4 | S5 | S6 | S7 | S8 | S9 | S10 | S11 | S12 | S13 | S14 | S15 | S16 | S17 | S18 | S19 | S20 |
| S1  |                              |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| S2  |                              |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| S3  |                              |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| S4  |                              |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| S5  |                              |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| S6  |                              | Si |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| S7  |                              |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| S8  |                              |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| S9  |                              |    |    |    |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| S10 | Si                           | Si | Si |    | Si | Si |    |    | Si |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| S11 | Si                           | Si | Si | Si | Si | Si |    | Si | Si | Si  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| S12 |                              |    |    |    |    |    |    |    |    | Si  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| S13 | Si                           | Si | Si | Si | Si | Si |    | Si | Si | Si  | Si  | Si  |     |     |     |     |     |     |     |     |
| S14 | Si                           | Si | Si | Si | Si | Si |    | Si | Si | Si  | Si  | Si  | Si  |     |     |     |     |     |     |     |
| S15 |                              | Si |    |    |    |    |    |    |    | Si  | Si  |     | Si  | Si  |     |     |     |     |     |     |
| S16 |                              |    |    |    |    |    |    |    |    | Si  | Si  |     | Si  | Si  |     |     |     |     |     |     |
| S17 | Si                           | Si | Si |    | Si | Si |    |    | Si | Si  | Si  |     | Si  | Si  | Si  | Si  |     |     |     |     |
| S18 |                              | Si | Si | Si | Si |    |    | Si | Si | Si  | Si  | Si  | Si  | Si  | Si  |     | Si  |     |     |     |
| S19 | Si                           | Si | Si |    | Si | Si |    |    | Si | Si  | Si  |     | Si  | Si  | Si  |     | Si  | Si  |     |     |
| S20 | Si                           | Si | Si | Si | Si | Si |    | Si | Si | Si  | Si  | Si  | Si  | Si  | Si  | Si  | Si  | Si  | Si  |     |

Como se puede ver en la figura 3, se ha generado una matriz para ese instante concreto del día 03-05-2017 en donde aparecen todas las subunidades que podrían ser regadas con los requisitos establecidos anteriormente. Existen combinaciones que no pueden ser regadas utilizando dos subunidades. Estas subunidades corresponden con los primeros lugares de la tabla (Sub 1, Sub 2, etc.), ya que o bien se encuentran situados en posiciones geográficas más elevadas o debido a su gran tamaño son demandantes de mucha potencia. Por tanto, la herramienta nos está indicando que ciertas subunidades tendrán que ser regadas de forma individual.

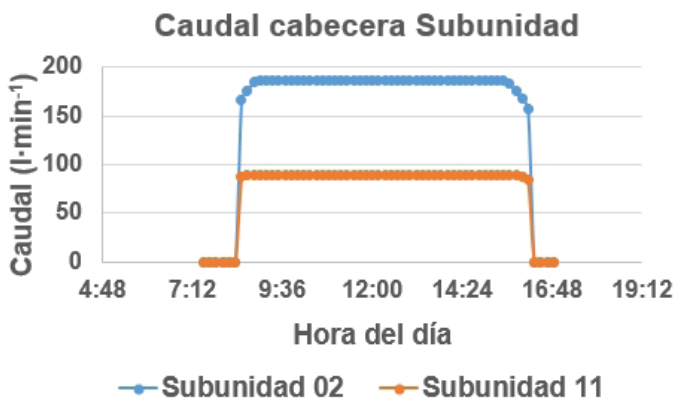
La segunda de las vías de análisis corresponde a la selección de una combinación en concreto, siendo en este caso, a modo de ejemplo, la combinación formada por las subunidades 02 y 11.

Figura 4. (a) Simulación de presión y (b) caudal en hidrante para las subunidades 02 y 11.

a)



b)

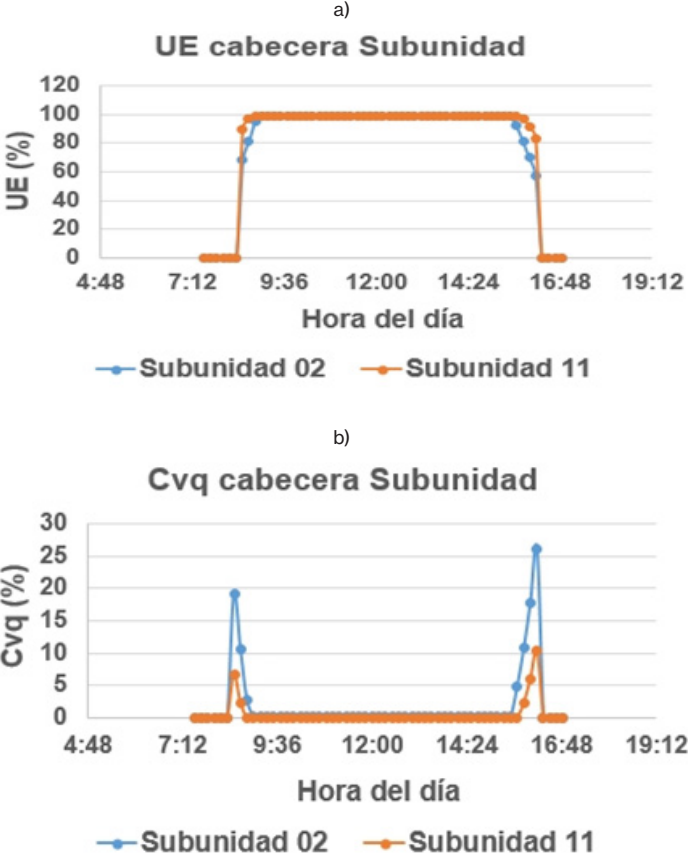


En la figura 4 a) se comprueba como la presión en el hidrante de la subunidad 11 es mayor que la presión en el hidrante de la subunidad 02. Esto es debido a que la subunidad 11 está situada a menor cota, compensando buena parte de las pérdidas de carga por las tuberías. Se observa que, en los primeros y últimos momentos de la mañana y de la tarde respectivamente, la presión en las subunidades es 0 debido a que no existe suficiente potencia para que puedan ponerse en funcionamiento. Sin embargo, a medida que la potencia disponible aumenta, la presión alcanza un máximo, y se mantiene durante gran parte del día, al ser la potencia generada igual o superior a la que necesita la bomba.

De esta manera la herramienta calcula los intervalos de potencias útiles para el funcionamiento de cada combinación de subunidades, permitiendo clasificar aquellos instantes y combinaciones con potencias en exceso que podrían utilizarse para otras combinaciones más restrictivas.

En la figura 4 b) se muestran los caudales a la entrada de las subunidades 11 y 02, siendo esta segunda de mayor tamaño y estando situada a mayor cota, lo que genera mayor demanda de caudales. No obstante, se alcanza el máximo caudal con irradiancias muy altas y, en consecuencia, a potencias muy elevadas.

Figura 5. (a) Simulación de UE (%) y (b) Cvq (%) en hidrante para las subunidades 02 y 11.



En la figura 5 a) se puede ver como la UE (Uniformidad de emisión %) para ambas subunidades es máxima conforme la potencia disponible es máxima al ser goteros autocompensantes que trabajan en el rango de compensación. Se observa que la UE (Uniformidad de Emisión %) en la subunidad 02 tiene valores más bajos en los extremos del día que la subunidad 11 debido a la mayor demanda de caudales que hace que la potencia generada sea inferior a la necesaria para mantener el caudal máximo de compensación en todos los goteros de la subunidad al inicio y final del riego. Esto se refleja también en la figura 5 b), en donde el Cvq (Coeficiente de variación de caudales %) es mayor en la subunidad 02, y a la posición geográfica que ocupa. No obstante, existe una relación



muy clara entre estos dos valores, con lo que la herramienta permite establecer un nivel mínimo de uniformidad de emisión, 85 %, para que puedan realizarse riegos de calidad.

Además, la herramienta permite conocer las horas de riego totales para cualquier combinación teniendo en cuenta las necesidades y requisitos de cada combinación de subunidades. En este ejemplo se comprueba que para poder realizar el riego de ambas subunidades simultáneamente es necesario hacerlo con valores de irradiación elevados dados en las horas centrales del día.

## 4 CONCLUSIONES

Se ha generado una herramienta muy robusta capaz de analizar, gestionar y optimizar, de forma integral, las instalaciones de bombeo solar, en cualquier ubicación y características, partiendo de un modelo fotovoltaico que permite cuantificar las potencias a la entrada de la bomba con precisión, teniendo en cuenta las grandes variaciones climáticas que afectan a su rendimiento, y acoplarse a las demandas de un modelo hidráulico para alcanzar los requisitos de caudal, presión, uniformidad de emisión y coeficiente de variación de caudales, entre otros, que se requieren en cada subunidad, lo que permite cuantificar la calidad del riego. De forma automática, la herramienta realiza la selección de las mejores subunidades bajo unos requisitos de calidad y eficiencia en el riego que, por otra parte, contribuirán a reducir el problema adicional de la tendencia a usar más agua de la necesaria para el cultivo al ser prácticamente nulo el coste de la energía fotovoltaica. Por tanto, esta herramienta ayudará al adecuado diseño y manejo de este tipo de instalaciones, evitando la existencia de serios problemas en el control de agua aplicada y la uniformidad de aplicación debido a programaciones de riego inadecuadas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Carrión, F.; Montero, J.; Tarjuelo, J.M.; Moreno, M.A. (2014). Design of Sprinkler Irrigation Subunit of Minimum Cost with Proper Operation. Application at Corn Crop in Spain. *Water Resour. Manag.*, 28, 5073–5089.

Carrión, F.; Tarjuelo, J.M.; Hernández, D.; Moreno, M.A. (2013). Design of microirrigation subunit of minimum cost with proper operation. *Irrig. Sci.*, 31, 1199–1211.

Daccache, A.; Lamaddalena, N.; Frattino, U. (2010). On-demand pressurized water distribution system impacts on sprinkler network design and performance. *Irrig. Sci.*, 28, 331–339.

Keller, J.; Bliesner, R.D. (1990). *Sprinkle and Trickle Irrigation*. Chapman and Hall Editorial.

Perez, R., P. Ineichen, E. Maxwell, R.S., A.Z. (1992). Dynamic global-to-direct irradiance conversion models. *ASHRAE Trans. Ser.*, 98, 354–369.

Perez, R.; Ineichen, P.; Seals, R.; Michalsky, J.; Stewart, R. (1990). Modeling daylight availability and irradiance components from direct and global irradiance. *Sol. Energy*, 44, 271–289.

## CAPÍTULO 8

### PREDICCIÓN DE LA IRRADIACIÓN SOLAR GLOBAL DIARIA MEDIANTE REDES NEURONALES ARTIFICIALES EN LA PENÍNSULA IBÉRICA<sup>1</sup>

Data de submissão: 04/02/2021

Data de aceite: 26/02/2021

#### **Francisco Javier Diez**

Departamento de Ingeniería  
Agrícola y Forestal,  
Universidad de Valladolid.  
Campus La Yutera, Palencia, España.  
x5pino@yahoo.es  
[https://www.scopus.com/authid/detail.  
uri?authorId=57192252070](https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57192252070)

#### **Luis Manuel Navas Gracia**

Departamento de Ingeniería  
Agrícola y Forestal,  
Universidad de Valladolid.  
Campus La Yutera, Palencia, España.  
luismanuel.navas@uva.es  
<https://orcid.org/0000-0002-7895-925X>

#### **Andrés Martínez Rodríguez**

Departamento de Ingeniería  
Agrícola y Forestal,  
Universidad de Valladolid.  
Campus La Yutera, Palencia, España.  
andres.martinez.rodriguez@uva.es  
[https://www.scopus.com/authid/detail.  
uri?authorId=56112450900](https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56112450900)

#### **Adriana Corrêa Guimarães**

Departamento de Ingeniería  
Agrícola y Forestal,  
Universidad de Valladolid.  
Campus La Yutera, Palencia, España.  
adriana.correa@uva.es  
[https://www.scopus.com/authid/detail.  
uri?authorId=23099135000](https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=23099135000)

#### **Leticia Chico Santamarta**

International Department,  
HarperAdams University.  
Newport, Shropshire, United Kingdom.  
lchico-santamarta@harper-adams.ac.uk  
[https://www.scopus.com/authid/detail.  
uri?authorId=35423331600](https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=35423331600)

**RESUMEN:** Este artículo, se centra en la predicción de la irradiación solar global diaria horizontal, por ser el caso más interesante en la meteorología agrícola, por ejemplo, en las previsiones de necesidades de riego, utilizando la técnica de las redes neuronales artificiales (RNAs) de la inteligencia computacional, a partir de variables accesibles en las estaciones agrometeorológicas. El lugar donde fueron medidos los datos, utilizados para entrenar las RNAs, caracterizan donde se pueden volver a utilizar este tipo de modelos, en este estudio fueron las estaciones meteorológicas de la red SIAR en Castilla y León (España),

<sup>1</sup> Presentado anteriormente en el X Congreso Ibérico de Agroingeniería / X Congresso Ibérico de Agroengenharia, 3-6 septiembre 2019, Huesca – España.

en concreto la situada en Mansilla Mayor (León), durante los años 2004-2010. Los modelos RNAs se construyeron en la entrada con los datos medidos de irradiación solar global diaria de uno, dos y tres días anteriores, añadiendo el día del año  $J(t)=1.365$ , para predecir su valor el día siguiente. Los resultados obtenidos, validados durante el año 2011 completo  $RMSE=3,8012 \text{ MJ}/(\text{m}^2\text{d})$ , concluyen que las RNAs estudiadas mejoran los métodos clásicos comparados: 1) año típico CENSOLAR  $RMSE=5,1829 \text{ MJ}/(\text{m}^2\text{d})$ , 2) media móvil ponderada con la autocorrelación parcial de 11 días de retardo  $RMSE=3,9810 \text{ MJ}/(\text{m}^2\text{d})$ , 3) regresión lineal sobre el valor del día anterior  $RMSE=4,2434 \text{ MJ}/(\text{m}^2\text{d})$ , 4) año típico Fourier utilizado el 1<sup>er</sup> armónico  $RMSE=4,2747 \text{ MJ}/(\text{m}^2\text{d})$ , y 5) las matrices de transición de Markov para 33 estados posibles  $RMSE=4,3653 \text{ MJ}/(\text{m}^2\text{d})$ . Durante los días de cambio brusco en el nivel de irradiación solar, se observan los mayores errores de predicción. Se plantea utilizar en la entrada otras variables para mejorar la eficacia del modelo RNA. Una de las variables probadas fue el índice de claridad diario  $K_t=H/H_0$ , resultando una mejora  $RMSE=3,7703 \text{ MJ}/(\text{m}^2\text{d})$ .

**PALABRAS CLAVE:** Predicción. Insolación. Evapotranspiración. Agrometeorología. Inteligencia computacional.

## PREDICTION OF DAILY GLOBAL SOLAR IRRADIATION THROUGH ARTIFICIAL NEURONAL NETWORKS IN THE IBERIAN PENINSULA

**ABSTRACT:** This article focuses on the prediction of the horizontal daily global solar irradiation, as it is the most interesting case in agricultural meteorology (e.g., in forecasting irrigation needs), using the technique of artificial neural networks (ANNs) of computational intelligence, based on accessible variables at agrometeorological stations. The place where the data were measured, used to train the ANNs, characterize where this type of model can be used again, in this study it was the meteorological stations of the SIAR network in Castile and León (Spain), specifically the one located in Mansilla Mayor (León), during the years 2004-2010. ANNs models were built at the entrance with the measured data of daily global solar irradiation of one, two and three previous days, adding the day of the year  $J(t)=1.365$ , to predict its value the following day. The results obtained, validated during the full year 2011  $RMSE=3.8012 \text{ MJ}/(\text{m}^2\text{d})$ , conclude that the ANNs studied improve the classic compared methods: 1) typical year CENSOLAR  $RMSE=5.1829 \text{ MJ}/(\text{m}^2\text{d})$ , 2) weighted moving average with the partial autocorrelation of 11 days of delay  $RMSE=3.9810 \text{ MJ}/(\text{m}^2\text{d})$ , 3) linear regression on the value of the previous day  $RMSE=4.2434 \text{ MJ}/(\text{m}^2\text{d})$ , 4) typical Fourier year used the 1<sup>st</sup> harmonic  $RMSE=4.2747 \text{ MJ}/(\text{m}^2\text{d})$ , and 5) the Markov transition matrices for 33 possible states  $RMSE=4.3653 \text{ MJ}/(\text{m}^2\text{d})$ . During the days of sudden change in the level of solar irradiation, the largest prediction errors are observed. It is proposed to use other variables in the input to improve the efficiency of the ANN model. One of the variables tested was the daily clearness index  $K_t=H/H_0$ , resulting in an improvement in  $RMSE=3.7703 \text{ MJ}/(\text{m}^2\text{d})$ .

**KEYWORDS:** Prediction. Insolation. Evapotranspiration. Agrometeorology. Computational intelligence.

## 1 INTRODUCCIÓN

El modelado de la irradiación solar comprende múltiples variantes según se trate con su valor global o sus componentes (directa o difusa), el tipo de variables predictivas utilizadas (meteorológicas o geográficas), la resolución espacial o temporal (minuto, horaria, diaria o mensual) dada al modelo, el ancho de banda estudiado, la metodología o algoritmo (determinista o estocástica) aplicado, la superficie estudiada (horizontal, inclinada o con seguimiento solar) y el tipo de cielo.

Los modelos de irradiación solar se pueden clasificar de diferentes maneras, a partir de una revisión exhaustiva Gueymard y Myers (2008) identifica nueve criterios de clasificación, como siguen: 1) Tipo de datos de salida como la irradiación directa, difusa y global. 2) Tipo de datos de entrada de las variables meteorológicas y componentes de la irradiación solar. 3) Resolución espacial para un lugar concreto o con resultados reticulados. 4) Tiempo de resolución para cada minuto utilizado en concentradores solares, horaria para simulaciones de sistemas solares, o diaria en meteorología agrícola, además de los promedios horarios o diarios mensuales. 5) Resolución espectral de onda corta, ultravioleta, para dos o más bandas. 6) Tipo de metodología como puede ser determinista durante un tiempo específico, pasado, presente o futuro, y estocástica respetando las propiedades estadísticas de las series de tiempo de la irradiación solar. 7) Tipo de algoritmo entre modelos derivados de los principios físicos y los modelos empíricos basados en los datos de irradiancia solar medidos en un lugar y periodo específico. 8) Geometría de la superficie con datos de la irradiación solar sobre superficies (horizontales, inclinadas o con seguimiento solar). 9) Tipos de cielo (despejado, parcialmente nuboso y cubierto) según el efecto de las nubes. Los resultados finales pueden requerir del uso de varios modelos sucesivamente cuyos resultados están vinculados.

Las técnicas de la inteligencia artificial (redes neuronales artificiales, algoritmos genéticos, lógica borrosa y sistemas híbridos) han sido utilizadas de diferentes formas para la estimación de la irradiación solar, en diferentes escalas de tiempo (mensual, diaria u horaria), utilizando variables meteorológicas, como por ejemplo (temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento, nubosidad, duración de la insolación, índice de claridad, presión atmosférica) y las coordenadas geográficas (latitud, longitud y altura). También han sido utilizadas para la predicción de la irradiación solar (global, directa o difusa) futura, sobre la base de los últimos datos observados (Camacho *et al.*, 2012).

Los resultados obtenidos por las redes neuronales artificiales (RNAs) se han comparado con las técnicas estadísticas clásicas, describiendo las ventajas de las RNAs en las ciencias atmosféricas (Gardner & Dorling, 1998), cuando las situaciones

ambientales de interés son lo suficientemente complejas y no lineales, haciendo a estos modelos RNAs de utilidad por su dinámica, que solo se pueden obtener a través de datos empíricos, no a través de ecuaciones analíticas (Aitkenhead *et al.*, 2003), y donde las relaciones subyacentes son poco conocidas (Lek & Guégan, 1999). Oliveira *et al.* (2000) investiga la estructura óptima para las RNAs utilizadas en la predicción de las series de tiempo, de las cuales, los datos ambientales son un buen ejemplo. A continuación, se exponen diversos estudios con referencia al lugar de los datos utilizados para la construcción de los modelos.

Las RNAs se han utilizado para la estimación de la irradiación solar en lugares que no cuentan con instrumentos de medida. En Omán, Al-Alawi y Al-Hinai (1998) analiza la relación de la irradiación solar global mensual y las variables climatológicas (localización, mes, presión media, temperatura media, presión de vapor media, humedad relativa media, velocidad del viento media y duración de la insolación media) y Dorvlo *et al.* (2002) con una primera estimación del índice de claridad, en función de su latitud, longitud, horas de sol y el mes del año.

En la India, Shah *et al.* (2009) realiza la estimación de la irradiación solar difusa diaria y horaria media mensual, bajo diferentes condiciones climáticas, las neuronas de la capa de entrada reciben nueve entradas (latitud, longitud, altura, mes del año, temperatura del aire, humedad relativa, precipitación, velocidad del viento y longitud de onda larga), Reddy y Ranjan (2003) mejora otros modelos de correlación.

Las RNAs se han utilizado para obtener mapas de la irradiación solar mensuales en Turquía, Sözen *et al.* (2004) y en la provincia de Jaén, España, Hontoria *et al.* (2005) cuando la calidad de los datos y su densidad espacial no es tan buena como debería ser para la mayoría de los propósitos.

En Eslovenia, Seme *et al.* (2009) estima la irradiación solar global cada media hora con las entradas al modelo (irradiación solar extraterrestre, ángulo cenital solar, día del año, temperatura y presión atmosférica relativa) con buen resultado para los días claros. En Arabia Saudí, Mohandes *et al.* (1998), Mohandes *et al.* (2000), y Benghanem *et al.* (2009) utilizando diferentes combinaciones.

La ecuación de regresión de Ångström es mejorada por la lógica borrosa en la parte occidental de Turquía (Sen, 1998) y por las RNAs en Athalassa, Chipre (Tymvios *et al.*, 2005), en Irán (Azadeh *et al.*, 2009) con un modelo independiente para seis ciudades, y en Dehful, Irán (Behrang *et al.*, 2010).

Las RNAs son aplicadas para la generación de series sintéticas de irradiación solar horaria en varias ciudades de España (Hontoria *et al.*, 2002) y diaria en Sao Paulo y Río Grande del Sur, Brasil (Siqueira *et al.*, 2010). En Argelia, Mellit *et al.* (2008) presenta un

sistema de inferencia neuro-difuso adaptativo ANFIS para la estimación de las secuencias del índice de claridad media mensual y la irradiación solar global en lugares aislados sobre la base de las coordenadas geográficas (latitud, longitud y altitud) obteniendo 12 valores del índice de claridad medio mensual, posteriormente las matrices de Markov se utilizan para generar las secuencias de datos de irradiación solar global diaria.

En Desert Rock, USA, López *et al.* (2005) utiliza el método bayesano para evaluar la importancia relativa de las variables atmosféricas y radiométricas como entradas a un modelo de RNAs, resultando el índice de claridad y la masa relativa del aire en la estimación de la irradiación solar directa horaria. En Mahasarakham, Tailandia, Pattanasethanon *et al.* (2008) estudia sobre todos los tipos de cielo la disponibilidad de la iluminación e irradiación solar global horizontal para un clima tropical, desarrollando un modelo senoidal que consta de funciones polinómicas o exponenciales y una RNA se propone como modelo alternativo.

Por otra parte, está la predicción de la irradiación solar mediante las técnicas de la inteligencia artificial (Mellit, 2008), utilizando diferentes estructuras de RNAs en Argelia, Mellit *et al.* (2007) realiza la predicción de la irradiación solar global diaria en base de los valores anteriores y con un modelo híbrido (RNA y matrices de transición de Markov) (Mellit *et al.*, 2005). En Shanghái, China, Cao y Cao (2008), Cao y Lin (2008ab) utilizan las redes neuronales wavelet. La predicción de la irradiación solar se ve afectada por muchos factores como la masa de aire, las nubes y otras condiciones de entorno de la tierra de acuerdo a diferentes frecuencias de la luz solar (Cao & Cao, 2006).

En tres zonas de Egipto, Elminir *et al.* (2007) predice la fracción difusa diaria y horaria, mejorando los modelos de regresión. En Dakhla, Marruecos, Iqdour y Zeroual (2007) utiliza datos de hasta el quinto día, comparando con los resultados de los modelos ARMA. En Brue, UK, Moghaddamnia *et al.* (2009) utiliza la prueba Gamma para seleccionar las variables de entrada y la longitud de los datos de entrenamiento. En Jeddah, Arabia Saudí, Mellit *et al.* (2010) utiliza RNAs para predecir la irradiancia solar horaria global, directa y difusa.

En Golden, Colorado, USA, Ruffing y Venayagamoorthy (2009) utiliza la RNA recurrente echo state para realizar predicciones a corto y medio plazo de la irradiación solar a 30, 60, ..., 270 minutos. En Uganda, Mubiru (2008) desarrolla un modelo con RNAs para predecir la irradiación solar global diaria media mensual para ubicaciones sobre la base de datos geográficos y meteorológicos (latitud, longitud, altitud, duración de la insolación, humedad relativa y temperatura máxima). En Omaezaki, Japón, Kemmoku *et al.* (1999) desarrolla una RNA en varias etapas para predecir la insolación del día siguiente utilizando la previsión de la presión atmosférica media.

En Eskisehir, Turquía, Hoccoğlu *et al.* (2008) utiliza un modelo de representación 2D de los datos de irradiancia solar horaria, proporcionando una visualización única y compacta de los datos. En Trieste, Italia, Mellit y Pavan (2010) predice la irradiancia solar en una base de 24 horas para cada hora del día de mañana, usando los valores actuales del día de hoy de la irradiación diaria y la temperatura del aire diaria media, comprobando que el modelo funciona satisfactoriamente para días soleados y baja ligeramente su rendimiento en los días nublados.

En Córcega, Francia, Paoli *et al.* (2010) utiliza una normalización sobre los datos de irradiación solar respecto a los datos de irradiación solar extraterrestre mejorando la correlación entre las mediciones y los datos predichos, utilizando de una a 15 entradas de los valores diarios anteriores, Sfetsos y Coonick (2000) predice a un paso por delante la irradiancia solar horaria media.

En Madrid, Lleida, Albacete y Murcia, España, Martín *et al.* (2010) compara los modelos estadísticos basados en series de tiempo aplicados a la predicción de la irradiación solar global diaria con un horizonte temporal de tres días, utilizando el valor mitad diario. En Atenas, Grecia, Zervas *et al.* (2008) utiliza seis estados de nubosidad diferentes y el número de periodos de 10 minutos de tiempo desde el que se realiza la predicción y el mediodía solar y con predicciones de la irradiación solar global horaria (Mihalakakou *et al.*, 2000) encuentra que de cinco a ocho valores anteriores aumenta la eficiencia y que con más de nueve se mantiene.

En este artículo, se realiza la predicción de la irradiación solar global diaria mediante redes neuronales artificiales (RNAs), utilizando la base de datos de la red SIAR en Castilla y León, en concreto de la estación agrometeorológica situada en Mansilla Mayor (León). El objetivo principal es realizar la mejor predicción utilizando como variables, las propias medidas registradas en la estación, ya que estos modelos representan al propio lugar de los datos utilizados para entrenar las RNAs. Para ello, se probaron RNAs con los datos de uno, dos y tres días de retardo, resultando un rendimiento similar a los modelos clásicos, pero que se mejora añadiendo como predictor el día del año  $J(t)=1..365$ , que sitúa la predicción en la época del año, y/o el índice de claridad diario  $K_t=H/H_0$  como relación del irradiación solar global diaria, que incide sobre la superficie, y la irradiación solar extraterrestre, que llega al tope de la atmósfera para cada día concreto, calculada para cada latitud (Allen, 2006).

## 2 EQUIPO EXPERIMENTAL

Los datos irradiación solar global diaria utilizados de los años 2004-2011 están recogidos por la estación agrometeorológica de la red SIAR, situada en la localidad



de Mansilla Mayor (León) [Coordenadas: 42°30'43"N 5°26'46"O. Altitud: 791 msnm. Hora local: GMT-21, 725555], proyecto de la Dirección General de Desarrollo Rural del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. En Castilla y León esta información está gestionada por el servicio InfoRiego de asesoramiento al regante desde el Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (ITACyL), que pretende fomentar el acceso del público a la información relativa de la meteorología en Castilla y León, además de facilitar a los regantes recomendaciones que sirvan para ahorrar agua en el riego.

La irradiancia solar está medida con un piranómetro Skye SP1110 Campbell, que es una fotocélula de silicio sensible a la radiación entre 350-1100 nm, los cambios son detectados, linealizados y amplificados por un circuito electrónico situado en la sonda Vaisala HMP45C Campbell.

### 3 LA PREDICCIÓN DE LA IRRADIACIÓN SOLAR GLOBAL DIARIA MEDIANTE REDES NEURONALES ARTIFICIALES (RNAs)

En este artículo, para la predicción de la irradiación solar global se utilizan varios modelos black-box, implementados con la técnica de las redes neuronales artificiales (RNAs). El preprocesamiento y el posprocesamiento automático de los datos medidos en la estación agrometeorológica se realiza mediante la interfaz gráfica de usuario (GUI) Neural Network Fitting Toolbox '*nftool*' Matlab. La arquitectura diseñada para ocho modelos RNA 1..8 con diferentes combinaciones de entradas para la predicción de la irradiación solar global del día de mañana [ $H(t+1)$ ] son las presentadas en Figura 1-8.

La capa de salida de los modelos RNA 1..8 tiene una neurona correspondiente a la predicción de la irradiación solar global del día de mañana [ $H(t+1)$ ] en el mismo lugar. En la capa oculta, se probaron diferente número de neuronas, calculando el valor RMSE obtenido para la salida, para seleccionar la arquitectura con los mejores resultados.

La creación de las RNAs se realiza mediante la función '*feedforwardnet*' con los vectores de datos de entrada y salida que determinan el tamaño de sus respectivas capas, para crear una RNA multilayer feed-forward perceptron (MLP), con una capa oculta, donde la función de transferencia de sus neuronas es la tangente sigmoideal hiperbólica '*tansig*' y en la neurona de la capa de salida como lineal '*purelin*'.

El algoritmo back-propagation (BP) Levenberg-Marquardt (LM) se aplica para lograr una optimización rápida '*trainlm*', la función de aprendizaje del sesgo y el momento del peso con gradiente descendente '*learnngdm*', la función normalizada de error cuadrado '*mse*', las funciones de procesamiento de los elementos de la matriz de entrada como el procesamiento de datos para recodificar las filas con datos desconocidos '*fixunknowns*' y los vectores de datos repetidos en la entrada que no proporcionan información útil

'removeconstantrows', y el procesamiento de matrices para normalizar los vectores con valores mínimos y máximos en el rango [-1 1] 'mapminmax'.

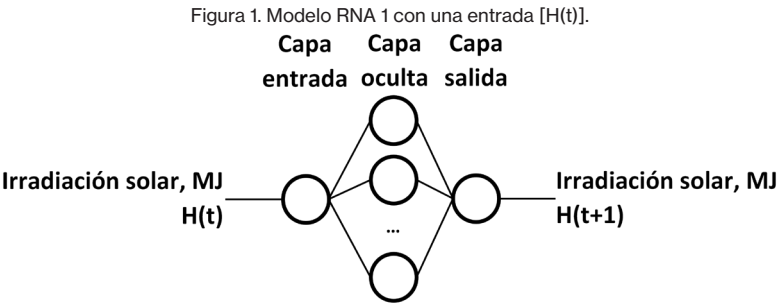
El entrenamiento de las RNAs se realiza mediante la función 'train', para cada modelo RNA 1..8, con la matriz de vectores de datos de entrada y la matriz de vectores de datos de salida de los años 2004-2010, registrando el proceso de entrenamiento (*epoch* and *performance*).

La función 'sim' se utiliza con las RNAs previamente entrenadas, para realizar la predicción de  $[H(t+1)]$ , con una matriz de vectores de datos de entrada del año 2011.

La GUI Neural Network Fitting Toolbox 'nftool' Matlab muestra los resultados del entrenamiento y la simulación, la arquitectura RNA elegida, los algoritmos de entrenamiento, el rendimiento, cómo se realizaron los conjuntos de datos, la evolución de la progresión en el entrenamiento y la validación.

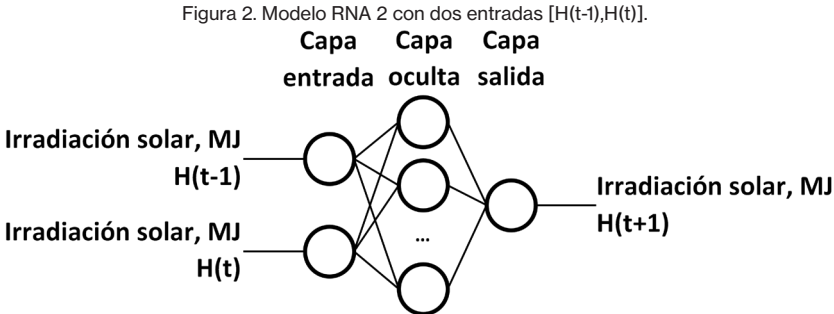
### 3.1 MODELO RNA 1

Un modelo RNA 1 con una entrada para la irradiación solar global diaria del día anterior  $[H(t)]$  en Figura 1.



### 3.2 MODELO RNA 2

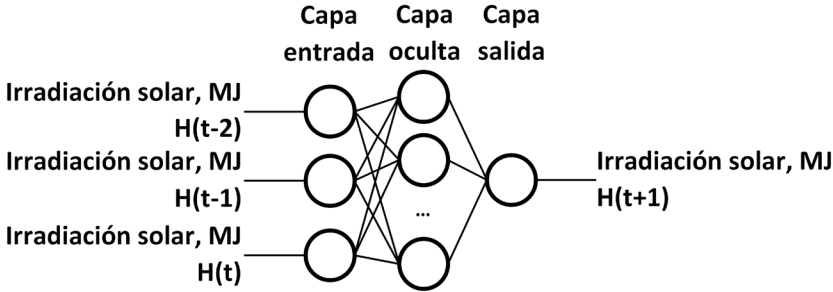
Un modelo RNA 2 con dos entradas para la irradiación solar global diaria de los dos días anteriores  $[H(t-1), H(t)]$  en Figura 2.



### 3.3 MODELO RNA 3

Un modelo RNA 3 con tres entradas para la irradiación solar global diaria de los tres días anteriores [ $H(t-2), H(t-1), H(t)$ ] en Figura 3.

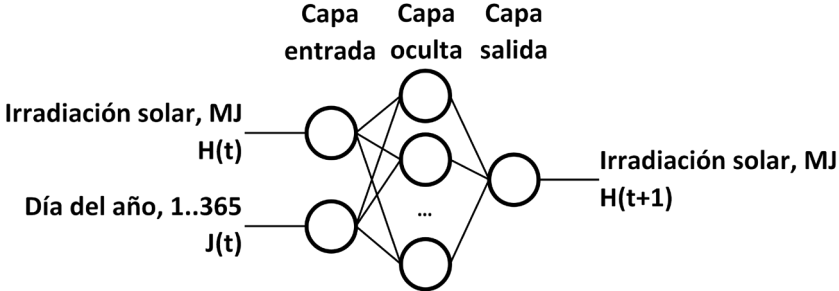
Figura 3. Modelo RNA 3 con tres entradas [ $H(t-2), H(t-1), H(t)$ ].



### 3.4 MODELO RNA 4

Un modelo RNA 4 con dos entradas para la irradiación solar global diaria del día anterior y el día del año [ $H(t), J(t)$ ] en Figura 4.

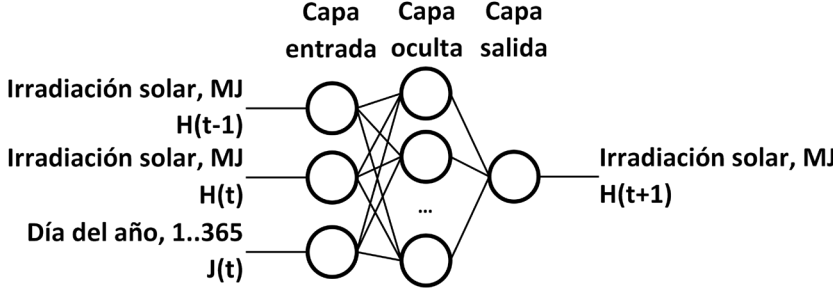
Figura 4. Modelo RNA 4 con dos entradas [ $H(t), J(t)$ ].



### 3.5 MODELO RNA 5

Un modelo RNA 5 con tres entradas para la irradiación solar global diaria de los dos días anteriores y el día del año [ $H(t-1), H(t), J(t)$ ] en Figura 5.

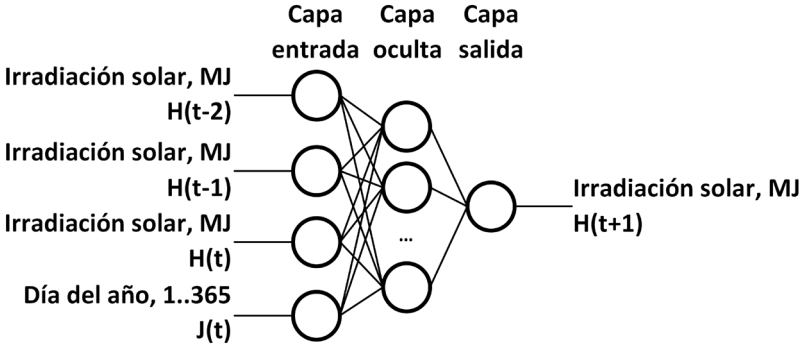
Figura 5. Modelo RNA 5 con tres entradas [ $H(t-1), H(t), J(t)$ ].



### 3.6 MODELO RNA 6

Un modelo RNA 6 con cuatro entradas para la irradiación solar global diaria de los tres días anteriores y el día del año  $[H(t-2), H(t-1), H(t), J(t)]$  en Figura 6.

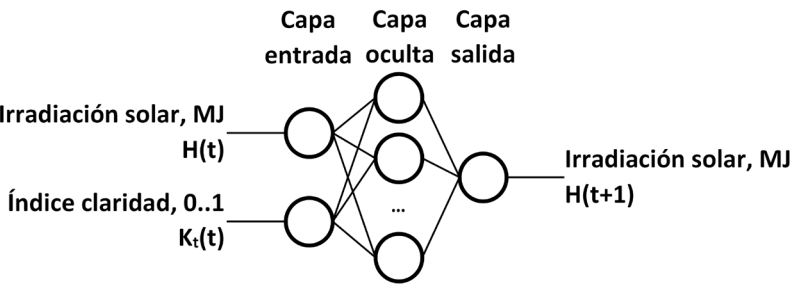
Figura 6. Modelo RNA 6 con cuatro entradas  $[H(t-2), H(t-1), H(t), J(t)]$ .



### 3.7 MODELO RNA 7

Un modelo RNA 7 con dos entradas para la irradiación solar global diaria y el índice de claridad  $K_t = H/H_0$  del día anterior  $[H(t), K_t(t)]$  en Figura 7.

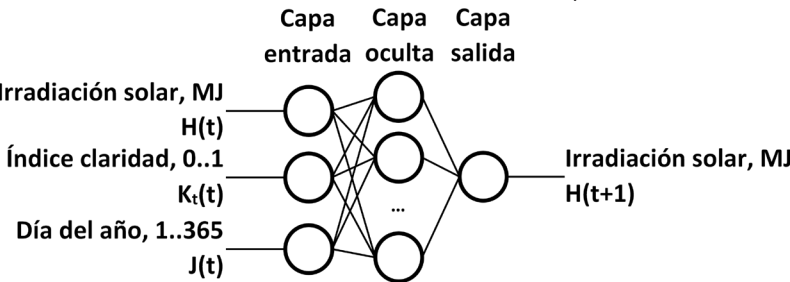
Figura 7. Modelo RNA 7 con dos entradas  $[H(t), K_t(t)]$ .



### 3.8 MODELO RNA 8

Un modelo RNA 8 con tres entradas para la irradiación solar global diaria, el índice de claridad  $K_t = H/H_0$  del día anterior y el día del año  $[H(t), K_t(t), J(t)]$  en Figura 8.

Figura 8. Modelo RNA 8 con tres entradas  $[H(t), K_t(t), J(t)]$ .



## 4 LA PREDICCIÓN DE LA IRRADIACIÓN SOLAR GLOBAL DIARIA MEDIANTE MODELOS CLÁSICOS

En este apartado se presentan los modelos clásicos de predicción de la irradiación solar global diaria sobre la superficie horizontal: 1) año típico CENSOLAR a escala provincial, 2) media móvil ponderada, en este caso, con la autocorrelación parcial de 2 a 20 días de retardo, 3) regresión lineal del valor diario de irradiación solar, sobre el valor del día anterior, 4) año típico del análisis de Fourier para 1 a 8 armónicos, y 5) análisis de Markov para 33 estados posibles de irradiación solar diaria. La construcción de los modelos se realizó con la serie de datos de los años 2004-2010 y para la comparación de sus predicciones se utilizaron los datos del año 2011.

### 4.1 AÑO TÍPICO CENSOLAR

Los valores de la irradiación solar global horizontal de las tablas CENSOLAR (2009) representan un año típico a escala provincial de un día medio para cada mes del año.

### 4.2 MEDIA MÓVIL PONDERADA CON LA AUTOCORRELACIÓN PARCIAL

La autocorrelación parcial hace referencia a la dependencia del valor de una determinada variable estadística con valores de esa misma variable precedentes en el tiempo. La media móvil ponderada se utiliza dando más peso a los valores más próximos y menos a los más alejados intentando que la media se comporte de forma más ágil en relación a una media móvil simple.

En este artículo, se utilizaron los coeficientes de autocorrelación parcial de la serie de datos de los años 2004-2010 de irradiación solar global diaria, obtenidos con la función '*parcorr*' Matlab, para realizar la media móvil ponderada con retardos de tiempo de 2 a 20 días durante el año 2011. Los coeficientes de autocorrelación parcial se aplican con el valor de irradiación solar correspondiente a su día de retardo, realizando el sumatorio de sus productos y dividiendo por el sumatorio de los pesos asignados por los coeficientes de autocorrelación parcial del orden utilizado, dando más importancia a los valores más próximos que a los valores más alejados.

### 4.3 REGRESIÓN LINEAL

La predicción de la irradiación solar global diaria del día de mañana se realizó mediante la regresión lineal, que modela la relación entre una variable dependiente en este caso el valor de la irradiación solar global del día de mañana  $H(t+1)$ , la variable independiente, en este caso, con el valor de la irradiación solar global del día de hoy  $H(t)$  y

un término aleatorio calculado con Curve Fitting Toolbox 'cftool' Matlab, aplicando la serie de datos de los años 2004-2010.

#### 4.4 ANÁLISIS DE FOURIER

El análisis de Fourier se aplica a las variables que muestran frecuencias significativas como es el caso de la irradiación solar global diaria. La ecuación representativa del año se obtiene con varios armónicos. Para el cálculo de los coeficientes de los ocho primeros armónicos se utilizó Curve Fitting Toolbox 'cftool' Matlab, aplicando la serie de datos de los años 2004-2010.

#### 4.5 ANÁLISIS DE MARKOV

En un proceso aleatorio donde se produce un cambio de estado entre ciertos estados en el tiempo, teniendo un número finito de estados posibles, surge una sucesión o cadena de situaciones, donde cada una es igual a uno de los estados, este proceso se llama cadena de Markov.

En este artículo, se definieron los estados, uno por cada valor entero de la irradiación solar global diaria en los valores enteros de la unidad en Megajulios (MJ) posibles de la serie de datos de los años 2004-2010, para ello:

1. Se redondea todos los valores y se les asignó ese estado, para ello se utilizó la función 'round' MATLAB.
2. Se busca el valor máximo y mínimo de la serie de datos de la irradiación solar global diaria resultando 33 estados posibles, con las funciones 'max' y 'min' Matlab.
3. Se crea una matriz con las transiciones, existentes en la serie de datos de los años 2004-2010, una para cada fila en la matriz  $b$ .

$$b = \begin{bmatrix} x_1 & x_2 \\ x_2 & x_3 \\ \dots & \dots \\ x_{n-1} & x_n \end{bmatrix}$$

4. Se crea una matriz de probabilidades, matriz de transiciones de Markov (MTM), con el número de transiciones para cada estado en la serie de datos mediante la función Matlab en Figura 9, que recorre los cambios de estado de la serie de datos matriz  $b$  y actualiza la matriz de transición de Markov (MTM), donde cada elemento de la matriz tiene el número de cambios habidos en la serie de datos entre el estado representado por el número de la fila hacia el estado representado por el número de la columna.

Figura 9. Función Matlab para crear la matriz de probabilidades, Matriz de Transiciones de Markov MTM.

$$MTM = \begin{bmatrix} 1 \rightarrow 1 & 1 \rightarrow 2 & \cdots & 1 \rightarrow 33 \\ 2 \rightarrow 1 & 2 \rightarrow 2 & \cdots & 2 \rightarrow 33 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 33 \rightarrow 1 & 33 \rightarrow 2 & \cdots & 33 \rightarrow 33 \end{bmatrix}$$

```
function a=mtm(b) %Matriz de Transición de Markov
a=zeros(33);
for i=1:2556 %Recorrer cambios estados de la base de datos
    x=b(i,1);
    y=b(i,2);
    a(x,y)=a(x,y)+1; %Actualiza la Matriz de Transición de Markov
end
```

5. Se normaliza la matriz de transición de Markov (MTM) para cada fila, dividiendo cada elemento de la fila por el valor de la suma de todos sus elementos, resultando la matriz de transición de Markov normalizada (MTMN), que tiene como suma de los elementos en todas las filas el valor 1.
6. Se calcula la probabilidad de cambio de estado para el día de mañana a partir del estado de hoy, multiplicando el vector del estado inicial de hoy con la matriz de transición de Markov normalizada (MTMN), resultando un vector, en el que la posición, donde se encuentre el valor más alto, será el estado, que tenga más probabilidad de suceder mañana, mediante la función Matlab en Figura 10.

Figura 10. Función Matlab para realizar la predicción [H(t+1)] multiplicando el vector de estado del día [H(t)] con la matriz de transición de Markov normalizada (MTMN).

```
function p=pmarkov(a,d) %Pronóstico para un año, respecto del día anterior
p=zeros(365,1);
r=zeros(1,33);
for i=1:365
    x=d(i,1);
    r(1,x)=1;
    m=r*a; %Multiplica vector del estado inicial por matriz de transición
    [ymax,posimax]=max(m);
    p(i,1)=posimax; %Estado de la máxima probabilidad
    r=zeros(1,33);
end
```



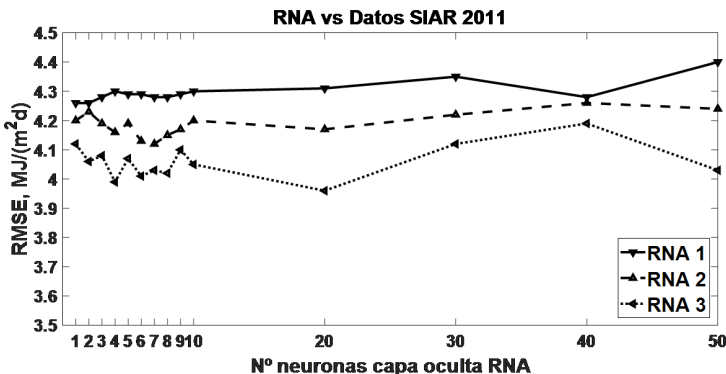
## 5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se aplican las metodologías desarrolladas, propuestas para la predicción de la irradiación solar global diaria. Los resultados de las metodologías de predicción se aplican y validan con la base de datos SIAR en la estación de Mansilla Mayor (León) durante el año 2011, mediante el estadístico Root Mean Square Error (RMSE) para realizar una primera selección de los modelos predictivos, encontrando el modelo de predicción que presente el mínimo error con la ventaja de que sus resultados están en las unidades originales de la información. También se utiliza el Coeficiente de Determinación ( $R^2$ ) para describir la bondad o ajuste del modelo, Durbin-Watson (DW) para detectar la autocorrelación de primer orden, Mean Percentage Error (MPE) para el sesgo del error de la predicción, Forecast Accuracy (FA) para realizar una medida de la precisión de los modelos de predicción a corto plazo, y Akaike Information Criterion (AIC) para seleccionar el mejor modelo tomando en cuenta el número de variables penalizando la complejidad del modelo.

Los resultados de la metodología para la predicción de la irradiación solar global diaria mediante los modelos RNA 1,2,3 a partir de los datos de la irradiación solar global diaria con uno, dos o tres días de retardo, implementadas con distinto número de neuronas en la capa oculta se estudian mediante el estadístico RMSE en Figura 11. Los mejores resultados de la predicción realizada para el modelo RNA 1 fue con la red (1-1-1)  $RMSE=4,26 \text{ MJ}/(\text{m}^2\text{d})$ , para el modelo RNA 2 fue con la red (2-7-1)  $RMSE=4,12 \text{ MJ}/(\text{m}^2\text{d})$  y para el modelo RNA 3 fue con la red (3-20-1)  $RMSE=3,96 \text{ MJ}/(\text{m}^2\text{d})$ .

El rendimiento de los modelos aumenta, al considerar la irradiación solar global diaria de más días de retardo de forma parecida a la media móvil ponderada. El ajuste es similar a los métodos clásicos de la literatura probados.

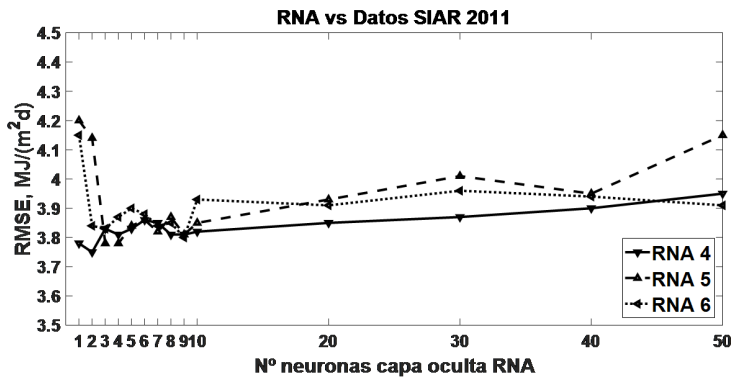
Figura 11. Eficacia de los modelos RNA 1,2,3 con diferente número de neuronas en la capa oculta vs Datos año 2011 SIAR.



Los resultados de la metodología para la predicción de la irradiación solar global diaria mediante los modelos RNA 4,5,6 a partir de los datos de la irradiación solar global diaria con uno, dos o tres días de retardo y el día del año, implementadas con distinto número de neuronas en la capa oculta se estudia mediante el estadístico RMSE en Figura 12. Los mejores resultados de la predicción realizada para el modelo RNA 4 fue con la red (2-2-1) RMSE=3,75 MJ/(m<sup>2</sup>d), para el modelo RNA 5 fue con la red (3-4-1) RMSE=3,78 MJ/(m<sup>2</sup>d) y para el modelo RNA 6 fue con la red (4-4-1) RMSE=3,80 MJ/(m<sup>2</sup>d).

El rendimiento de los modelos, para estos casos, no varía significativamente al considerar la irradiación solar global diaria de más días de retardo. El ajuste es mejor que la primera serie de modelos RNA 1,2,3 que no utilizan el día del año como variable predictiva, mejorando a los métodos clásicos de la literatura probados. También se observa, que utilizar el día del año como predictor mejora el rendimiento del modelo, ya que se introduce un parámetro que indica la época o estación del año cuando se realiza la predicción, porque la irradiación solar extraterrestre diaria en el tope de la atmosfera varía anualmente en forma senoidal.

Figura 12. Eficacia de los modelos RNA 4,5,6 con diferente número de neuronas en la capa oculta vs Datos año 2011 SIAR.

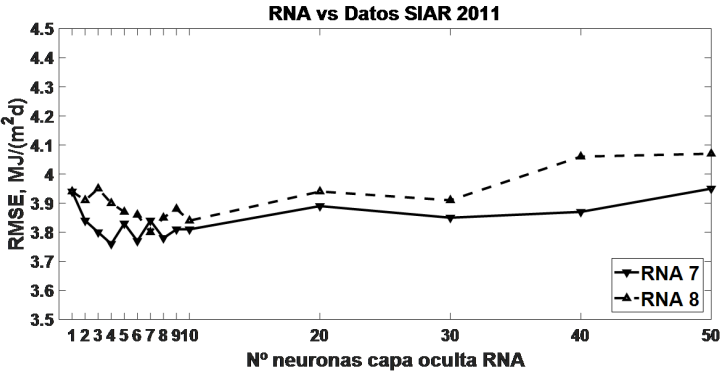


Los resultados de la metodología para la predicción de la irradiación solar global diaria mediante los modelos RNA 7,8 a partir de los datos de la irradiación solar global diaria con un de retardo, el día del año o el índice de claridad, implementadas con distinto número de neuronas en la capa oculta se estudia mediante el estadístico RMSE en Figura 13. Los mejores resultados de la predicción realizada para el modelo RNA 7 fue con la red (2-4-1) RMSE=3,76 MJ/(m<sup>2</sup>d) y para el modelo RNA 8 fue con la red (3-7-1) RMSE=3,80 MJ/(m<sup>2</sup>d).

El rendimiento del modelo mejora al considerar el índice de claridad diario, pero utilizar el día del año o el índice de claridad como predictor obtiene resultados parecidos,

con lo que utilizar el día del año es un valor más sencillo de manejar que el índice de claridad y produce rendimientos similares.

Figura 13. Eficacia de los modelos RNA 7,8 con diferente número de neuronas en la capa oculta vs Datos año 2011 SIAR.



Por lo que se observa de las predicciones realizadas con los modelos RNA 1..8 durante el año 2011 en Figura 14 y los resultados estadísticos evaluados para comprobar su efectividad en Tabla 1.

Los modelos RNA 2  $[H(t-1), H(t)]$ , RNA 4  $[H(t), J(t)]$  y RNA 7  $[H(t), K(t)]$  presentan el menor grado de autocorrelación mediante el estadístico DW.

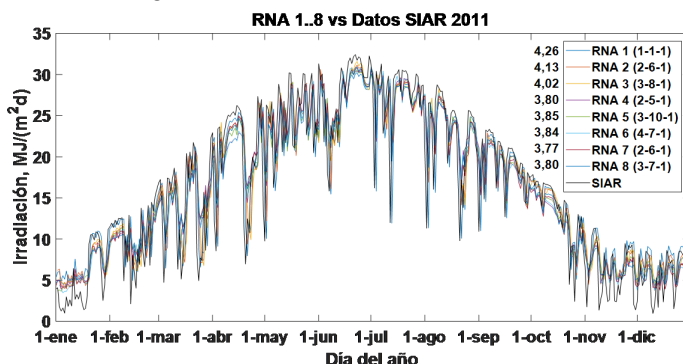
La efectividad del modelo RNA 7  $[H(t), K(t)]$  y RNA 6  $[H(t-2), H(t-1), H(t), J(t)]$  consigue los mejores resultados, mediante el estadístico FA que analiza las predicciones a corto plazo y mediante el estadístico MPE que valora el sesgo del error la predicción.

La efectividad del modelo RNA 7  $[H(t), K(t)]$  y RNA 4  $[H(t), J(t)]$  obtiene los mejores resultados, respecto al mínimo error RMSE, a su ajuste mediante el estadístico  $R^2$  y a su complejidad mediante el estadístico AIC.

Tabla 1. Efectividad de los modelos RNA 1..8 de predicción vs Datos SIAR en Mansilla Mayor (León) para el año 2011

| Modelos RNA 1..8 [H(t+1)] vs Irradiación solar global diaria horizontal año 2011 Mansilla Mayor (León) |          |                       |        |        |         |        |        |
|--|----------|-----------------------|--------|--------|---------|--------|--------|
|  | Red      | RMSE,<br>MJ/<br>(m²d) | R²     | DW     | MPE     | FA     | AIC    |
| RNA 1 [H(t)]   | (1-1-1)  | 4,2609                | 0,7862 | 2,2632 | -0,2523 | 0,5884 | 4,2835 |
| RNA 2 [H(t-1),H(t)]  | (2-6-1)  | 4,1292                | 0,7988 | 1,9703 | -0,2517 | 0,5940 | 4,1733 |
| RNA 3 [H(t-2),H(t-1),H(t)]   | (3-8-1)  | 4,0204                | 0,8088 | 1,8543 | -0,2507 | 0,5938 | 4,0830 |
| RNA 4 [H(t),J(t)]  | (2-5-1)  | 3,8012                | 0,8299 | 1,9263 | -0,2154 | 0,6196 | 3,8427 |
| RNA 5 [H(t-1),H(t),J(t)]   | (3-10-1) | 3,8467                | 0,8253 | 1,9061 | -0,2232 | 0,6160 | 3,9106 |
| RNA 6 [H(t-2),H(t-1),H(t),J(t)]  | (4-7-1)  | 3,8431                | 0,8253 | 1,8007 | -0,2032 | 0,6277 | 3,9261 |
| RNA 7 [H(t),K <sub>t</sub> (t)]  | (2-6-1)  | 3,7703                | 0,8326 | 1,9183 | -0,2022 | 0,6324 | 3,8118 |
| RNA 8 [H(t),K <sub>t</sub> (t),J(t)]   | (3-7-1)  | 3,8043                | 0,8297 | 1,8716 | -0,2273 | 0,6098 | 3,8662 |

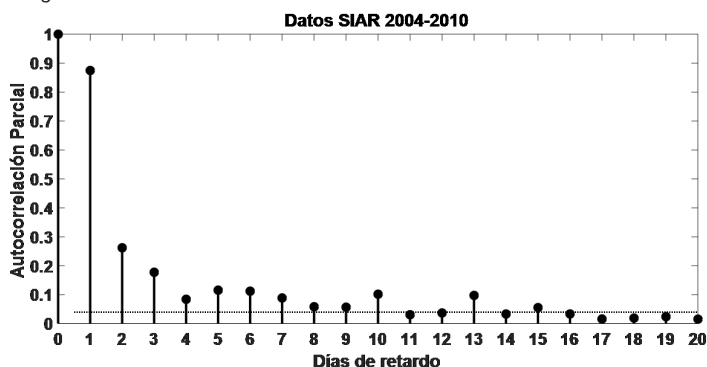
Figura 14. Modelos RNA 1..8 vs Datos año 2011 SIAR.



Los valores de la irradiación solar global diaria horizontal para la provincia de León en las tablas CENSOLAR, se representan junto a los datos del año 2011 SIAR en Mansilla Mayor (León) con un RMSE=5,1829 MJ/(m²d) en Figura 19. Este año típico ofrece una buena aproximación, además de ser rápida y sencilla su aplicación, pero no tienen en cuenta las variaciones diarias para cada día del mes.

Los coeficientes de autocorrelación parcial resultantes de la serie de datos de los años 2004-2010 SIAR en Mansilla Mayor (León) para retardos de tiempo de 1 a 20 días en Figura 15, muestran que la dependencia de la irradiación solar global diaria en un determinado día es máxima con la del día anterior 0,8747, disminuyendo esa dependencia rápidamente con la irradiación solar recibida en días anteriores: 0,2622 para 2 días, 0,1777 para 3 días, 0,0843 para 4 días.

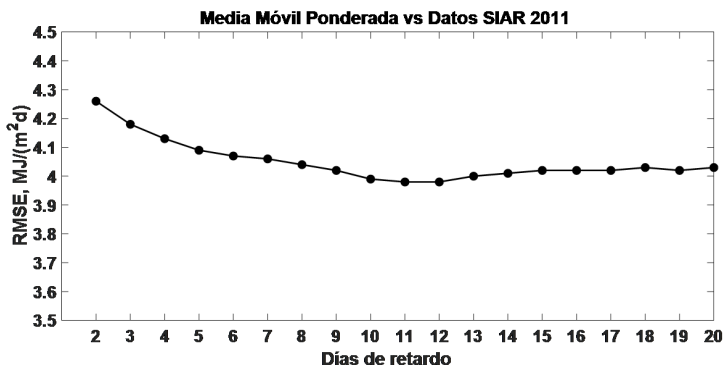
Figura 15. Autocorrelación parcial para retardos de tiempo de 1-20 días en los datos de los años 2004-2010 SIAR de irradiación solar global diaria.



La media móvil ponderado con los coeficientes de autocorrelación parcial de 2 a 20 días de retardo se utiliza para la predicción de la irradiación solar global diaria durante el año 2011 con un error para cada predicción RMSE en Figura 16. Obteniendo el mejor resultado para 11 días de retardo mediante la ecuación (Ec. 1) con un valor RMSE=3,9810 MJ/(m²d) en Figura 19.

$$H_{t+1} = \frac{0,8747 H_t + 0,2622 H_{t-1} + 0,1777 H_{t-2} + 0,0843 H_{t-3} + 0,1158 H_{t-4} + 0,1123 H_{t-5} + 0,0888 H_{t-6} + 0,0585 H_{t-7} + 0,0570 H_{t-8} + 0,1018 H_{t-9} + 0,0309 H_{t-10}}{0,8747 + 0,2622 + 0,1777 + 0,0843 + 0,1158 + 0,1123 + 0,0888 + 0,0585 + 0,0570 + 0,1018 + 0,0309} \quad (1)$$

Figura 16. Eficacia de la media móvil ponderada de 2-20 días de retardo vs Datos año 2011 SIAR.

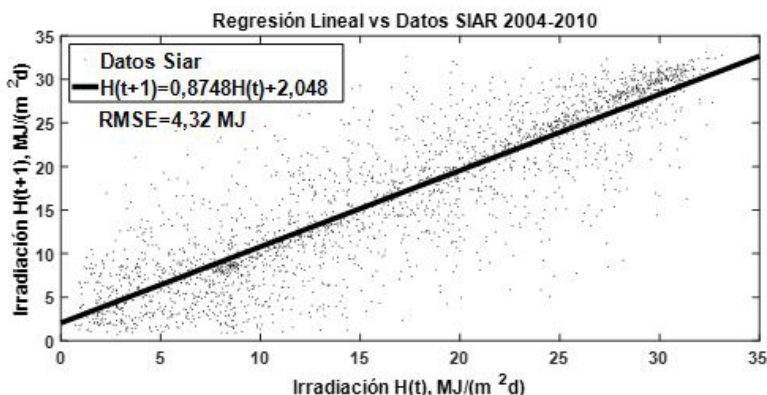


Se pueden utilizar estas correlaciones para una buena predicción, mejorando los resultados de las tablas CENSOLAR, al realizar una predicción diaria sobre los valores registrados en los días anteriores. La autocorrelación parcial más fuerte se produce con un día de retardo, que confirma la persistencia radiativa de un día para el siguiente, disminuyendo drásticamente para los días siguientes, pero que se pueden utilizar para mejorar ligeramente las predicciones.

La regresión lineal respecto a un día de retardo mediante la ecuación (Ec. 2) obtenida de los datos de la irradiación solar global de los años 2004-2010 SIAR en Mansilla Mayor (León) con un valor RMSE=4,32 MJ/(m²d) en Figura 17. Se utiliza para la predicción de la irradiación solar global diaria durante el año 2011 con un valor RMSE=4,2434 MJ/(m²d) en Figura 19. Se puede utilizar esta regresión para una buena predicción, similar a la media móvil ponderada, debido a la persistencia radiativa diaria.

$$H(t+1)=0,8748 H(t)+2,048 \quad (2)$$

Figura 17. Regresión lineal de un día de retardo vs Datos de los años 2004-2010 SIAR.

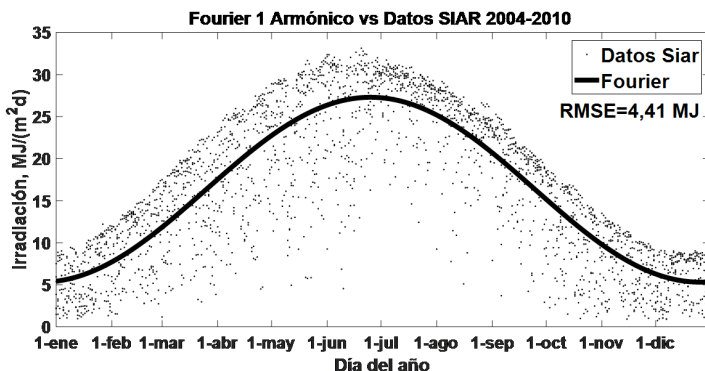


El análisis de Fourier efectuado con el cálculo de los coeficientes de los datos de la irradiación solar global diaria de los años 2004-2010 SIAR en Mansilla Mayor (León), obtienen las funciones anuales típicas que se muestran en la Tabla 2 desde el primer al octavo armónico, el error producido para cada función disminuye ligeramente con el número de armónicos considerados. En Figura 18 se muestra el caso del primer armónico respecto a los datos de los años 2004-2011 con un valor RMSE=4,417 MJ/(m²d) y respecto a los datos del año 2011 con un valor RMSE=4,2747 MJ/(m²d) en Figura 19. El ajuste es similar a la media móvil ponderada, pero la utilización de más de un armónico no aporta mejora significativa.

Tabla 2. Funciones anuales típicas de Fourier de los datos de los años 2004-2010 de la irradiación solar global diaria en Mansilla Mayor (León), del primer al octavo armónico y el RMSE

| Irradiación solar global diaria años 2004-2010 SIAR Mansilla Mayor |  |                |
|--|--|----------------|
| Nº de armónicos  | Función anual típica de Fourier  | RMSE, MJ/(m²d) |
| 1  | $H(t) = 16,31 - 10,9 \cos(0,01712 t) + 1,383 \sin(0,01712 t)$  | 4,417          |
| 2  | $H(t) = 16,79 - 10,75 \cos(0,01792 t) - 0,1918 \sin(0,01792 t) - 0,4302 \cos(2 \cdot 0,01792 t) + 0,9119 \sin(2 \cdot 0,01792 t)$  | 4,372          |
| 3  | $H(t) = 16,82 - 10,72 \cos(0,01795 t) - 0,2652 \sin(0,01795 t) - 0,4444 \cos(2 \cdot 0,01795 t) + 0,9129 \sin(2 \cdot 0,01795 t) - 0,1614 \cos(3 \cdot 0,01795 t) - 0,2203 \sin(3 \cdot 0,01795 t)$  | 4,370          |
| 4  | $H(t) = 14 - 8,82 \cos(0,01374 t) + 7,663 \sin(0,01374 t) + 0,4119 \cos(2 \cdot 0,01374 t) - 1,859 \sin(2 \cdot 0,01374 t) - 1,071 \cos(3 \cdot 0,01374 t) + 0,2203 \sin(3 \cdot 0,01374 t) - 0,1655 \cos(4 \cdot 0,01374 t) + 0,1346 \sin(4 \cdot 0,01374 t)$   | 4,365          |
| 5  | $H(t) = 15,95 - 10,9 \cos(0,01659 t) + 2,442 \sin(0,01659 t) + 0,4894 \cos(2 \cdot 0,01659 t) + 0,62 \sin(2 \cdot 0,01659 t) - 0,2298 \cos(3 \cdot 0,01659 t) - 0,438 \sin(3 \cdot 0,01659 t) - 0,08166 \cos(4 \cdot 0,01659 t) - 0,2479 \sin(4 \cdot 0,01659 t) - 0,4204 \cos(5 \cdot 0,01659 t) - 0,1472 \sin(5 \cdot 0,01659 t)$  | 4,360          |
| 6  | $H(t) = 15,59 - 10,71 \cos(0,01601 t) + 3,58 \sin(0,01601 t) + 0,8222 \cos(2 \cdot 0,01601 t) + 0,2469 \sin(2 \cdot 0,01601 t) - 0,3552 \cos(3 \cdot 0,01601 t) - 0,5187 \sin(3 \cdot 0,01601 t) - 0,1731 \cos(4 \cdot 0,01601 t) - 0,2608 \sin(4 \cdot 0,01601 t) - 0,3646 \cos(5 \cdot 0,01601 t) + 0,01903 \sin(5 \cdot 0,01601 t) + 0,1542 \cos(6 \cdot 0,01601 t) - 0,2483 \sin(6 \cdot 0,01601 t)$   | 4,358          |
| 7  | $H(t) = 15,62 - 10,77 \cos(0,01608 t) + 3,439 \sin(0,01608 t) + 0,7548 \cos(2 \cdot 0,01608 t) + 0,3084 \sin(2 \cdot 0,01608 t) - 0,3652 \cos(3 \cdot 0,01608 t) - 0,502 \sin(3 \cdot 0,01608 t) - 0,1898 \cos(4 \cdot 0,01608 t) - 0,2505 \sin(4 \cdot 0,01608 t) - 0,4033 \cos(5 \cdot 0,01608 t) + 0,0155 \sin(5 \cdot 0,01608 t) + 0,1429 \cos(6 \cdot 0,01608 t) - 0,2134 \sin(6 \cdot 0,01608 t) - 0,2898 \cos(7 \cdot 0,01608 t) + 0,05327 \sin(7 \cdot 0,01608 t)$   | 4,355          |
| 8  | $H(t) = 15,9 - 10,88 \cos(0,01608 t) + 2,604 \sin(0,01608 t) + 0,5436 \cos(2 \cdot 0,01608 t) + 0,5728 \sin(2 \cdot 0,01608 t) - 0,243 \cos(3 \cdot 0,01608 t) - 0,4557 \sin(3 \cdot 0,01608 t) - 0,09469 \cos(4 \cdot 0,01608 t) - 0,2583 \sin(4 \cdot 0,01608 t) - 0,4202 \cos(5 \cdot 0,01608 t) - 0,1266 \sin(5 \cdot 0,01608 t) + 0,2067 \cos(6 \cdot 0,01608 t) - 0,1177 \sin(6 \cdot 0,01608 t) - 0,2595 \cos(7 \cdot 0,01608 t) - 0,1288 \sin(7 \cdot 0,01608 t) - 0,1798 \cos(8 \cdot 0,01608 t) - 0,04178 \sin(8 \cdot 0,01608 t)$ | 4,355          |

Figura 18. Función anual típica de Fourier con el primer armónico vs Datos de los años 2004-2010 SIAR.



El análisis de Markov utilizado para la predicción de la irradiación solar global diaria del año 2011 resulta con un valor  $RMSE=4,3653 \text{ MJ}/(\text{m}^2\text{d})$  en Figura 19. El ajuste es similar al análisis de Fourier, pero en este caso se basa en las probabilidades de cambio de estado de un día para otro.

Por lo que se observa de las predicciones realizadas con los modelos clásicos durante el año 2011 en Figura 19 y los resultados estadísticos evaluados para comprobar su efectividad en Tabla 3.

Los modelos Media Móvil  $[H(t-1), H(t)]$ , Media Móvil  $[H(t-10), \dots, H(t)]$  y Regresión Lineal  $[H(t)]$  presentan el menor grado de autocorrelación mediante el estadístico DW.

La efectividad del modelo Media Móvil  $[H(t-10), \dots, H(t)]$  consigue el mejor resultado, respecto al mínimo error RMSE, a su ajuste mediante el estadístico  $R^2$  y a su complejidad mediante el estadístico AIC. Pero, los demás modelos clásicos les siguen con resultados parecidos, excepto el año típico CENSOLAR, que obtiene el peor resultado, salvo mediante el estadístico MPE que valora el sesgo del error la predicción, al ser una media diaria mensual.

La efectividad del modelo Media Móvil  $[H(t-1), H(t)]$  consigue el mejor resultado, mediante el estadístico FA que analiza las predicciones a corto plazo, al utilizar dos días de retardo.

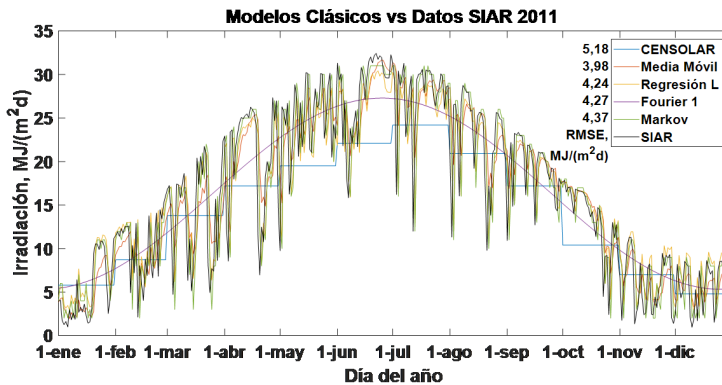
Tabla 3. Efectividad de los modelos clásicos de predicción vs Datos SIAR en Mansilla Mayor (León) para el año 2011

| <b>Modelos Clásicos <math>[H(t+1)]</math> vs Irradiación solar global diaria horizontal año 2011 Mansilla Mayor (León)</b> |  |                         |           |            |           |            |
|--|--|-------------------------|-----------|------------|-----------|------------|
|  | <b>RMSE,<br/><math>\text{MJ}/(\text{m}^2\text{d})</math></b> | <b><math>R^2</math></b> | <b>DW</b> | <b>MPE</b> | <b>FA</b> | <b>AIC</b> |
| CENSOLAR [León]  | 5,1829   | 0,6837                  | 0,7092    | -0,1342    | 0,5286    | 5,2105     |
| Media Móvil $[H(t-1), H(t)]$   | 4,2582   | 0,7865                  | 2,0952    | -0,1366    | 0,6589    | 4,3048     |
| Media Móvil $[H(t-10), \dots, H(t)]$   | 3,9810   | 0,8134                  | 1,7265    | -0,1682    | 0,6493    | 4,2283     |



|                                  | RMSE,<br>MJ/(m <sup>2</sup> d) | R <sup>2</sup> | DW     | MPE     | FA     | AIC    |
|----------------------------------|--------------------------------|----------------|--------|---------|--------|--------|
| Regresión Lineal [H(t)]          | 4,2434                         | 0,7880         | 2,2880 | -0,2234 | 0,6103 | 4,2666 |
| Fourier 1 <sup>er</sup> Armónico | 4,2747                         | 0,7848         | 1,0439 | -0,2692 | 0,5294 | 4,2974 |
| Fourier 2 <sup>o</sup> Armónico  | 4,2626                         | 0,7861         | 1,0498 | -0,2629 | 0,5381 | 4,3086 |
| Fourier 3 <sup>o</sup> Armónico  | 4,2675                         | 0,7856         | 1,0474 | -0,2617 | 0,5388 | 4,3374 |
| Fourier 4 <sup>o</sup> Armónico  | 4,2618                         | 0,7861         | 1,0499 | -0,2560 | 0,5466 | 4,3562 |
| Fourier 5 <sup>o</sup> Armónico  | 4,2465                         | 0,7877         | 1,0575 | -0,2580 | 0,5439 | 4,3642 |
| Fourier 6 <sup>o</sup> Armónico  | 4,2552                         | 0,7868         | 1,0532 | -0,2577 | 0,5444 | 4,3971 |
| Fourier 7 <sup>o</sup> Armónico  | 4,2537                         | 0,7869         | 1,0539 | -0,2547 | 0,5490 | 4,4199 |
| Fourier 8 <sup>o</sup> Armónico  | 4,2557                         | 0,7867         | 1,0529 | -0,2543 | 0,5495 | 4,4463 |
| Markov [H(t)]                    | 4,3653                         | 0,7756         | 2,4099 | -0,1525 | 0,6497 | 4,3892 |

Figura 19. Modelos clásicos vs Datos año 2011 SIAR.



## 6 CONCLUSIONES

Una de las características más interesantes de las redes neuronales artificiales es su capacidad de aprender y modelar un fenómeno. Para establecer la predicción, un número fijo de valores anteriores se establece como entradas de la RNA, la salida es la predicción del valor futuro de la serie de tiempo.

La predicción de la irradiación solar global que recibirá la superficie horizontal el día de mañana, se realizó utilizando las redes neuronales artificiales (RNAs), procurando el mínimo número de entradas para facilitar su uso, con datos de una estación agrometeorológica local. Se probaron los modelos más sencillos posibles, para que su utilización sea práctica en cualquier lugar, donde se disponga de una serie de datos de irradiación solar global diaria horizontal, ya sea medida en el propio lugar o como alternativa, la estimada por los satélites artificiales o desde otras variables ambientales (temperatura ambiente y horas de insolación).

En las predicciones realizadas se utilizaron los datos de irradiación solar global del día anterior, dos días y tres días de retardo, con lo que se mejora su rendimiento respecto a los modelos clásicos estudiados (año típico CENSOLAR, media móvil con 2 días de retardo, regresión lineal, análisis de Fourier y Markov), salvo la media móvil con 11 días de retardo que obtiene mejor resultado. Pero, que los modelos RNA superan a este último cuando la red utiliza como variable de entrada el día del año  $J(t) = [1..365]$  al tener conocimiento de la época del año en la que se hace la predicción. Se observa para este caso, que utilizar los datos de irradiación solar de más días de retardo ya no aporta mejora en la predicción como en los primeros modelos.

Una segunda mejora en el modelo RNA se consigue utilizando el índice de claridad  $K_t = H/H_0$  como relación de la irradiación solar que incide en la superficie y la irradiación solar que llega al tope de la atmosfera, al tener conocimiento de la proporción de irradiación solar diaria que es absorbida y dispersada por la atmósfera.

Para mejorar la predicción de la irradiación solar global diaria sobre la superficie horizontal, se pretende seguir desarrollando nuevos modelos RNA: 1) Utilizando otras variables explicativas como pueden ser la humedad, la presión atmosférica, la nubosidad,... que contribuyan a detectar cambios en su evolución, principalmente, durante los días de cambios bruscos, que es donde presenta los peores resultados los modelos RNA utilizados en este artículo. 2) El estudio por separado de los datos para cada época del año que tienen características similares. 3) La mejora del rendimiento de los modelos neurales también puede realizarse a partir de las predicciones de los servicios meteorológicos en lugar de utilizar únicamente los datos históricos registrados en la zona. 4) Otra posibilidad de mejora en las predicciones es la combinación de los modelos de predicción para el aumento de su rendimiento.

## REFERENCIAS

Aitkenhead, M.J., McDonald, A.J.S., Dawson, J.J., Couper, G., Smart, R.P., Billett, M., Hope D. & Palmer S. (2003). A novel method for training neural networks for time-series prediction in environmental systems. *Ecological Modelling*, 162(1–2), 87–95.

Al-Alawi, S.M. & Al-Hinai, H.A. (1998). An ANN-based approach for predicting global radiation in locations with no direct measurement instrumentation. *Renewable Energy*, 14(1–4), 199–204.

Allen, R.G. (2006). *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).

Azadeh, A., Maghsoudi, A. & Sohrabkhani, S. (2009). An integrated artificial neural networks approach for predicting global radiation. *Energy Conversion and Management*, 50(6), 1497–1505.

- Behrang, M.A., Assareh, E., Ghanbarzadeh, A. & Noghrehabadi, A.R. (2010). The potential of different artificial neural network (ANN) techniques in daily global solar radiation modeling based on meteorological data. *Solar Energy*, 84(8), 1468–1480.
- Benghanem, M., Mellit, A. & Alamri S.N. (2009). ANN-based modelling and estimation of daily global solar radiation data: A case study. *Energy Conversion and Management*, 50(7), 1644–1655.
- Camacho, E.F., Berenguel, M., Rubio, F.R. & Martínez, D. (2012). *Control of solar energy systems*. Springer.
- Cao, J. & Lin, X. (2008a). Application of the diagonal recurrent wavelet neural network to solar irradiation forecast assisted with fuzzy technique. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 21(8), 1255–1263.
- Cao, J. & Lin, X. (2008b). Study of hourly and daily solar irradiation forecast using diagonal recurrent wavelet neural networks. *Energy Conversion and Management*, 49(6), 1396–1406.
- Cao, J.C. & Cao, S.H. (2006). Study of forecasting solar irradiance using neural networks with preprocessing sample data by wavelet analysis. *Energy*, 31(15), 3435–3445.
- Cao, S. & Cao, J. (2005). Forecast of solar irradiance using recurrent neural networks combined with wavelet analysis. *Applied Thermal Engineering*, 25(2–3), 161–172.
- CENSOLAR. (2009). *Instalaciones de energía solar térmica. Pliego de condiciones técnicas de instalaciones de baja temperatura*. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).
- Dorvlo, A.S.S., Jervase, J.A. & Al-Lawati A. (2002). Solar radiation estimation using artificial neural networks. *Applied Energy*, 71(4), 307–319.
- Elminir, H.K., Azzam, Y.A. & Younes, F.I. (2007). Prediction of hourly and daily diffuse fraction using neural network, as compared to linear regression models. *Energy*, 32(8), 1513–1523.
- Gardner, M.W. & Dorling, S.R. (1998). Artificial neural networks (the multilayer perceptron) – a review of applications in the atmospheric sciences. *Atmospheric Environment*, 32(14–15): 2627–2636.
- Gueymard, C.A. & Myers, D.R. (2008). Validation and ranking methodologies for solar radiation models. En Badescu V. (ed.), *Modeling solar radiation at the earth's surface* (pp. 479–509). Springer.
- Hocaoğlu, F.O., Gerek, Ö.N. & Kurban, M. (2008). Hourly solar radiation forecasting using optimal coefficient 2-D linear filters and feed-forward neural networks. *Solar Energy*, 82(8), 714–726.
- Hontoria, L., Aguilera, J. & Zufiria, P. (2002). Generation of hourly irradiation synthetic series using the neural network multilayer perceptron. *Solar Energy*, 72(5), 441–446.
- Hontoria, L., Aguilera, J. & Zufiria, P. (2005). An application of the multilayer perceptron: Solar radiation maps in Spain. *Solar Energy*, 79(5), 523–530.
- Iqdour, R. & Zeroual, A. (2007). The multi-layered perceptrons neural networks for the prediction of daily solar radiation. *International Journal of Information and Communication Engineering*, 3(1), 24–29.
- Kemmoku, Y., Orita, S., Nakagawa, S. & Sakakibara, T. (1999). Daily insolation forecasting using a multi-stage neural network. *Solar Energy*, 66(3), 193–199.
- Lek, S. & Guégan, J.F. (1999). Artificial neural networks as a tool in ecological modelling, an introduction. *Ecological Modelling*, 120(2–3), 65–73.

- López, G., Batlles, F.J. & Tovar-Pescador, J. (2005). Selection of input parameters to model direct solar irradiance by using artificial neural networks. *Energy*, 30(9), 1675–1684.
- Martín, L., Zarzalejo, L.F., Polo, J., Navarro, A., Marchante, R. & Cony, M. (2010). Prediction of global solar irradiance based on time series analysis: Application to solar thermal power plants energy production planning. *Solar Energy*, 84(10), 1772–1781.
- Mellit, A. (2008). Artificial intelligence technique for modelling and forecasting of solar radiation data: A review. *International Journal of Artificial Intelligence and Soft Computing*, 1(1), 52–76.
- Mellit, A., Benghanem, M., Arab, A.H. & Guessoum, A. (2005). A simplified model for generating sequences of global solar radiation data for isolated sites: Using artificial neural network and a library of Markov transition matrices approach. *Solar Energy*, 79(5), 469–482.
- Mellit, A., Benghanem, M. & Kalogirou, S.A. (2006). An adaptive wavelet-network model for forecasting daily total solar-radiation. *Applied Energy*, 83(7), 705–722.
- Mellit, A., Eleuch, H., Benghanem, M., Elaoun, C. & Pavan, A.M. (2010). An adaptive model for predicting of global, direct and diffuse hourly solar irradiance. *Energy Conversion and Management*, 51(4), 771–782.
- Mellit, A., Kalogirou, S.A., Shaari, S., Salhi, H. & Hadj Arab, A. (2008). Methodology for predicting sequences of mean monthly clearness index and daily solar radiation data in remote areas: Application for sizing a stand-alone PV system. *Renewable Energy*, 33(7), 1570–1590.
- Mellit, A. & Pavan, A.M. (2010). A 24-h forecast of solar irradiance using artificial neural network: Application for performance prediction of a grid-connected PV plant at Trieste, Italy. *Solar Energy*, 84(5), 807–821.
- Mihalakakou, G., Santamouris, M. & Asimakopoulos D.N. (2000). The total solar radiation time series simulation in Athens, using neural networks. *Theoretical and Applied Climatology*, 66(3), 185–197.
- Moghaddamnia, A., Remesan, R., Kashani, M.H., Mohammadi, M., Han, D. & Piri, J. (2009). Comparison of LLR, MLP, Elman, NNARX and ANFIS Models –with a case study in solar radiation estimation. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 71(8–9), 975–982.
- Mohandes, M., Balghonaim, A., Kassas, M., Rehman, S. & Halawani, T.O. (2000). Use of radial basis functions for estimating monthly mean daily solar radiation. *Solar Energy*, 68(2): 161–168.
- Mohandes, M., Rehman, S. & Halawani, T.O. (1998). Estimation of global solar radiation using artificial neural networks. *Renewable Energy*, 14(1–4), 179–184.
- Mubiru, J. (2008). Predicting total solar irradiation values using artificial neural networks. *Renewable Energy*, 33(10), 2329–2332.
- Oliveira, K.A., Vannucci, Á. & da Silva, E.C. (2000). Using artificial neural networks to forecast chaotic time series. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 284(1–4), 393–404.
- Paoli, C., Voyant, C., Muselli, M. & Nivet, M. (2010). Forecasting of preprocessed daily solar radiation time series using neural networks. *Solar Energy*, 84(12), 2146–2160.
- Pattanasethanon, S., Lertsatitthanakorn, C. & Atthajariyakul, S., Soponronnarit S. (2008). An accuracy assessment of an empirical sine model, a novel sine model and an artificial neural network model for forecasting illuminance/irradiance on horizontal plane of all sky types at Mahasarakham, Thailand. *Energy Conversion and Management*, 49(8), 1999–2005.

- Reddy, K.S. & Ranjan, M. (2003). Solar resource estimation using artificial neural networks and comparison with other correlation models. *Energy Conversion and Management*, 44(15), 2519–2530.
- Ruffing, S.M. & Venayagamoorthy, G.K. (2009, 8–12 de noviembre). *Short to medium range time series prediction of solar irradiance using an echo state network*. 15<sup>th</sup> International Conference on Intelligent System Applications to Power Systems ISAP'09, Curitiba, Brazil.
- Seme, S., Štumberger, G. & Pihler, J. (2009, 15–17 de abril). *Predicting daily distribution of solar irradiation by neural networks*. International Conference on Renewable Energies and Power Quality ICREPQ'09, Valencia, España.
- Sen, Z. (1998). Fuzzy algorithm for estimation of solar irradiation from sunshine duration. *Solar Energy*, 63(1), 39–49.
- Sfetsos, A. & Coonick, A.H. (2000). Univariate and multivariate forecasting of hourly solar radiation with artificial intelligence techniques. *Solar Energy*, 68(2), 169–178.
- Shah, A., Kaushik, S.C. & Garg, S.N. (2009). Assessment of diffuse solar energy under general sky condition using artificial neural network. *Applied Energy*, 86(4), 554–564.
- Siqueira, A.N., Tiba, C. & Fraidenraich, N. (2010). Generation of daily solar irradiation by means of artificial neural networks. *Renewable Energy*, 35(11), 2406–2414.
- Sözen, A., Arcaklioglu, E. & Özalp, M. (2004). Estimation of solar potential in turkey by artificial neural networks using meteorological and geographical data. *Energy Conversion and Management*, 45(18–19), 3033–3052.
- Tymvios, F.S., Jacovides, C.P., Michaelides, S.C. & Scouteli, C. (2005). Comparative study of Ångström's and artificial neural networks' methodologies in estimating global solar radiation. *Solar Energy*, 78(6), 752–762.
- Zervas, P.L., Sarimveis, H., Palyvos, J.A. & Markatos, N.C.G. (2008). Prediction of daily global solar irradiance on horizontal surfaces based on neural-network techniques. *Renewable Energy*, 33(8), 1796–1803.

## CAPÍTULO 9

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

Data de submissão: 11/03/2021

Data de aceite: 25/03/2021

**Lisa Wegener**

Institute for Sustainable Horticulture LEEF  
Regional Innovation Chair,  
Kwantlen Polytechnic University (KPU),  
Canada.  
<https://www.kpu.ca/ish/team/lisa-wegener>

**Alberto González Arcia**

Engenheiro agrônomo na UBPC  
"Jobo Rosado"  
no Município de Yaguajay,  
Província de Sancti Spiritus, Cuba.

**Dilier Olivera Viciado**

Faculty of Agricultural and  
Veterinarian Sciences,  
São Paulo State University (UNESP),  
Jaboticabal, São Paulo, Brazil.  
<https://orcid.org/0000-0002-7975-9508>

**Rodolfo Lizcano Toledo**

Department Soil Science and  
Agricultural Chemistry,  
Science Faculty, University of Granada,  
Campus Fuente Nueva, Granada,  
Comunidad Autónoma de Andalucía, Spain  
<https://orcid.org/0000-0003-2797-0237>

**Deborah Henderson**

Institute for Sustainable Horticulture LEEF  
Regional Innovation Chair,  
Kwantlen Polytechnic University (KPU),  
Canada.  
<https://www.kpu.ca/ish/director>

**Paul Richard**

Environmental Protection  
Technology Program,  
Kwantlen Polytechnic University (KPU),  
Canada.  
<https://www.kpu.ca/arts/policy-studies/faculty/paul-richard>

**RESUMO:** Longos períodos na monocultura e mudanças dos sistemas de uso da terra, como a introdução de culturas em áreas de florestas ou pastagens, podem dar origem a alterações nas propriedades físico-químicas dos solos tanto em regiões temperadas quanto em regiões tropicais. Os objetivos deste estudo foram (i) analisar o comportamento dos ácidos húmicos, em solos temperados submetidos a diferentes tipos de manejo, e (ii) determinar as alterações das propriedades físico-químicas de três grandes agrupamentos de solos tropicais destinados por mais de três décadas à monocultura da cana-de-açúcar. Foram coletadas amostras da camada superficial (0–20 cm) de um solo Podzol em uma área de floresta (solo de referência) de mais de 50 anos de idade; seguidamente foram comparadas com as do mesmo tipo de

solo, más com plantação de milho (solo cultivado) por mais de 10 anos na região de Langley, Vancouver, Canadá. Na região tropical foram avaliadas a matéria orgânica, densidades do solo e porosidade para três tipos de solo na camada de 0-40 cm. De acordo com os nossos resultados, o valor de absorbância da relação E4/E6 foi superior na área de plantação de milho com um valor de 5,82 vs. 4,44 para o solo de floresta. Isso indica uma maior transformação e perda da matéria orgânica no solo cultivado quanto comparado ao solo de referência. Cabe destacar que independentemente da diferença da relação E4/E6 dado pelo tipo de uso do solo, dos valores informados aqui se encontram dentro dos parâmetros considerados normais para solos. Aliás, em condições tropicais os atributos físico-químicos do solo sofrem alterações, geralmente adversas como consequência do manejo convencional do solo e da monocultura, nesse caso, como exemplo a cana-de-açúcar. Conforme a densidade aparente aumentou, a matéria orgânica diminui, consequentemente há uma redução da porosidade por camada no solo para cada agrupamento (Fluvisols > Nitisols > Cambisols).

**PALAVRAS-CHAVE:** Manejo do solo. Ácidos húmicos. Relação E4/E6. Solos tropicais. Solos temperados.

## EFFECTS OF LAND-USE CHANGE ON PROPERTIES OF TEMPERATE AND TROPICAL SOILS

**ABSTRACT:** Long periods with monoculture and changes in land use systems, such as the introduction of crops in forest and pasture areas, can give rise to changes in the physical and chemical properties of soils in both temperate and tropical regions. The objectives of this study were (i) to analyze the behavior of humic acids in temperate soils subjected to different types of management, and (ii) to determine changes in the physical and chemical properties of three large groups of tropical soils destined for more than three decades the monoculture of sugar cane. Samples of the top layer (0–20 cm) of a Podzol soil in a forest area (benchmark soil) over 50 years of age were compared with those of the same soil type, but with corn plantation (cultivated soil) by over 10 years in the Langley region, Vancouver, Canada. Meanwhile, in the tropical region, organic matter, soil densities and porosity were evaluated for three types of soil in the 0-40 cm layer. According to our results, the absorbance values of the E4/E6 ratio were higher in the corn plantation area with a value of 5.82 vs. 4.44 for the forest soil. This indicates a greater transformation and loss of organic matter in the cultivated soil when compared to the benchmark soil. It should be noted that regardless of the difference in the E4/E6 ratio given by the type of land use, the values reported here are within the parameters considered normal for soils. On the other hand, in tropical conditions, the physical-chemical attributes of the soil undergo changes, generally adverse as a consequence of conventional soil management and the sugarcane monoculture. As the bulk density increased, the organic matter decreased, consequently there was a reduction in the porosity per layer in the soil for each group (Fluvisols > Nitisols > Cambisols).

**KEYWORDS:** Soil management. Humic acids. E4/E6 ratio. Tropical soils. Temperate soils.



## 1 INTRODUÇÃO

Desde o surgimento da agricultura, em civilizações antigas como Mesopotâmia, Índia e China, o homem tem influenciado a mudança das terras virgens, ou seja, os solos (OLIVERA VICIEDO et al., 2018). Esse problema virou uma situação difícil, principalmente no final da Segunda Guerra Mundial do século passado, com a chegada da denominada “Revolução Verde”, que levou a uma rápida manifestação dos processos de degradação do solo.

Em ecossistemas temperados os solos contêm mais carbono orgânico e nutrientes minerais do que os solos de clima tropical, e portanto, apresentam maior fertilidade (SCHROEDER et al., 2020). As vezes, um excesso de nutrientes é uma preocupação maior com muitos solos temperados sob agricultura, enquanto ao aumento da fertilidade do solo é um importante tópico de pesquisa atual em muitas regiões tropicais (LIZCANO et al., 2017). Sabe-se mais sobre os recursos do solo das regiões temperadas do que as regiões tropicais, apesar do fato que um terço dos solos do mundo estarem nos trópicos, e estes sustentam mais de três quartas partes da população mundial (HARTEMINK, 2002). Existem grandes diferenças entre as propriedades e características dos solos de clima temperado (p. ex. Podzols) e os solos do clima tropical (p. ex. Cambisols, Fluvisols, Nitisols) (IUSS - WRB, 2014).

O agrupamento de solos podzols ocupam aproximadamente o 4% (485 milhões de ha) da superfície total da terra, principalmente nas regiões temperadas e boreais do Hemisfério Norte (DRIESSEN et al., 2001). No Canadá ocupam o 14,3% da superfície terrestre e se distribuem em duas principais áreas amplamente separadas, no leste do Canadá (norte de Ontário, Quebec, Maritimes) e na Colúmbia Britânica, geralmente sob floresta de coníferas e materiais originais não calcários (SANBORN; LAMONTAGNE; HENDERSHOT, 2011). Embora alguns Podzols sejam encontrados nos trópicos, a maioria é encontrada em regiões de floresta temperada ou boreal com temperaturas baixas e regimes de umidade do solo perúmida ou úmido (CANADIAN SOCIETY OF SOIL SCIENCE., 2020). Em contraste com as áreas temperadas, as regiões tropicais constituem a zona quente e úmida mais diversa do Mundo, onde os solos são muito variáveis e experimentam rapidamente os rigores do clima nas transformações mineralógicas e orgânicas durante sua formação (HERNÁNDEZ et al., 2013). Nestas regiões de temperaturas quente e chuvas fortes, principalmente durante o verão a tendência é causar uma forte erosão do solo em áreas de produção agrícola e em consequência uma perda da matéria orgânica e dos nutrientes, afetando a fertilidade e muitas outras propriedades do solo.

Um exemplo de antropogêneses tropical é Cuba, uma ilha longa e estreita no caribe que apresenta diversos agrupamentos de solos, possuindo atualmente 15 agrupamentos que vão desde os solos pouco evoluídos (Cambisols) aos mais evoluídos (Nitosols) (HERNÁNDEZ et al., 2019). Segundo Balmaceda et al., (1999), a cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) é uma das culturas mais priorizadas no país e a que maior área de superfície ocupa com mais de 35% do território agrícola nacional, distribuída em vários tipos de solos, condições climáticas e de relevo. Durante os últimos anos a direção do Ministério da Agricultura do país (MINAG) aplicou uma série de medidas em concordância com a reorganização do Ministério de Investigação da Cana de Açúcar (MINAZ), onde grandes cooperativas produtivas, que antes se destinavam à monocultura da cana-de-açúcar, foram transformadas em pequenas cooperativas de produção diversificada de culturas. Tudo isso, levou à necessidade de se fazer um estudo preliminar do solo nessas áreas antes de passar para a produção agrícola. Nesse sentido, as propriedades físico-químicas do solo constituem um indicador necessário na avaliação de sistemas de manejo (OLIVERA VICIEDO et al., 2018).

Por outra parte, as pesquisas sobre substâncias húmicas (SH) têm aumentado nos últimos anos, dada a sua importância agrícola, como componente fundamental da matéria orgânica (DOU et al., 2020; KULIKOVA et al., 2021). As SH são misturas complexas de compostos orgânicos de alto peso molecular de origem natural formadas como resultado da decomposição de resíduos vegetais e animais sob a influência de microrganismos e fatores ambientais (BONDAREVA; KUDRYASHEVA, 2021). Além disso, representam o maior reservatório de carbono orgânico estável em ambientes terrestres (DOU et al., 2020). Estudos indicaram que as SH podem ser operacionalmente separadas em três frações com características físicas e químicas distintas: ácido fúlvico (AF), fração solúvel em qualquer pH; ácido húmico (AH), fração solúvel em meio alcalino e insolúvel em meio ácido (pH <2); e humina, fração insolúvel em qualquer condição de pH (BONDAREVA; KUDRYASHEVA, 2021; VAN TOL DE CASTRO et al., 2021).

Embora grandes esforços tenham sido empreendidos para promover os estudos sobre o solo para um público mais amplo, o impacto da ciência do solo na sociedade ainda não é o suficientemente priorizado, e isso se aplica a regiões temperadas e tropicais. Nesta pesquisa, conduzimos vários estudos com solos de climas temperados e tropicais submetidos a distintos tipos de manejos, o primeiro na região de Vancouver, Canadá e o segundo na região de Sancti Spiritus, Cuba. Foram avaliadas as mudanças dos ácidos húmicos para solos da região temperada e as alterações das propriedades físico-químicas de três grandes agrupamentos de solos tropicais dedicados por mais de três décadas a monocultura da cana-de-açúcar.

## 2 METODOLOGIA

### 2.1 EXPERIMENTO 1. SOLOS TEMPERADOS

A pesquisa foi conduzida no Instituto Sustentável de Horticultura da Universidade Politécnica de Kwantlen, campus de Langley, no Canadá, entre maio e agosto de 2013. A região se caracteriza por um clima temperado úmido com uma temperatura média anual de 11,1°C e uma precipitação média anual de 1189 mm (LUSSIER et al., 2019). Dois tipos de manejo do solo foram abordados: um solo sob floresta por mais de 50 anos (solo de referência) e outro sob cultivo de milho (*Zea mays* L.) por mais de 10 anos (agrícola). Adotaram-se 5 repetições por tipo de manejo de solo que foi classificado como Podzol, segundo com a IUSS - WRB, (2014). Foram coletadas 10 sub amostras nos primeiros 20 cm de profundidade para cada manejo do solo, as quais foram misturadas em uma amostra composta. Seguidamente foram secas ao ar durante 24 horas e logo passadas num jogo de peneiras do tipo Tyler modelo RX-30.

### 2.2 EXTRAÇÃO DE ÁCIDO HÚMICO

Para a extração dos AH foram misturados e agitados 200 g de solo em 400 ml de hidróxido de sódio (NaOH, 0,1 mol L<sup>-1</sup>) durante quatro horas. Depois de uma noite em repouso foi adicionado cloreto de potássio (KCL) sólido sob a dissolução até alcançar uma concentração de 0,3 mol L<sup>-1</sup>. A fim de precipitar os AH, foi adicionado ácido clorídrico (HCl, 3 mol L<sup>-1</sup>) a cada amostra. Os extratos foram deixados em repouso durante uma noite. Logo, os precipitados foram lavados com água destilada fria e colocados para centrifugação a 3000 rpm durante 10 minutos. Na dissolução foi adicionado 5 ml de nitrato de prata (AgNO<sub>3</sub>, 0,01 mol L<sup>-1</sup>) para identificar a presença de HCL mediante uma coloração branca. Novamente os precipitados foram lavados com água destilada fria e colocados na centrífuga a 3000 rpm durante 10 minutos, e este passo foi repetido até que um filtrado incolor foi obtido. Seguidamente, os precipitados de AH foram recolhidos nos filtros e colocados na estufa 60°C para finalmente moer em moedor de ágata

### 2.3 MÉTODO ESPECTROSCÓPICO

Os extratos de AH (5 mg) obtidos na etapa anterior foram transferidos para cubetas de quartzo 1 cm de passo óptico. Uma solução de 0,5 mol L<sup>-1</sup> de NaHCO<sub>3</sub> foi usada como branco. A absorbância de soluções em comprimentos de onda de 465 e 665 nm foi medida. As medições foram feitas em duplicado. Os índices de cor (E4/E6) foram calculados como a razão de E465 / E665 nm. As propriedades espectrais das soluções foram medidas usando um espectrofotômetro UV-vis (Hach DR 4000 U).

## 2.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

O delineamento experimental utilizado em cada experimento foi inteiramente casualizado, e os resultados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA), sendo as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de significância através do programa Agroestat (BARBOSA; MALDONADO, 2015). Além disso, foi realizado uma análise de regressão para investigar de relação entre a matéria orgânica e a densidade aparente do solo.

## 2.5 EXPERIMENTO 2. SOLOS TROPICAIS

A pesquisa foi realizada durante novembro de 2013 e junho de 2014 na UBPC “Jobo Rosado” no município de Yaguajay, província de Sancti Spíritus, Cuba. Três agrupamentos de solos distribuídos em uma área de 62 ha foram considerados neste estudo (Tabela 1).

Tabela 1. Agrupamentos de solo e agroprodutividade

| Agrupamento de solos | Área em hectares (ha) | Agroprodutividade |
|----------------------|-----------------------|-------------------|
| Cambisols            | 31                    | I y II            |
| Fluvisols            | 11                    | II                |
| Nitisols             | 20                    | III               |
| Total                | 62                    | -                 |

Para cada agrupamento de solo, foram feitas três trincheiras até uma profundidade de um metro, sendo avaliados os primeiros 40 cm do solo a partir da superfície. Os principais fatores limitantes agroprodutivos da área de estudo também foram determinados seguindo as recomendações de (ÁLVAREZ, 2002). As amostras de solo foram analisadas no laboratório da Estação Territorial de Pesquisa Canavieira (ETICA), província de Villa Clara, utilizando os seguintes métodos analíticos:

- pH em água, por potenciometria, relação solo: água 2:1 v/v.
- Matéria orgânica de acordo com Walkley & Black.
- A densidade aparente (*Da*) pelo método do cilindro, utilizando cilindros de 100 cm<sup>3</sup> de volume e a densidade real (*Dr*) pelo método do picnômetro.
- Porosidade total (*Pt*) seguindo equação 1:

Eq:1.

$$Pt = \left( 1 - \frac{Da}{Dr} \right) * 100$$

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

As SH são materiais orgânicos complexos, importantes em muitos processos do solo e como componentes principais responsáveis pela fertilidade do solo. A relação de densidades ópticas ou absorbâncias de soluções diluídas de AH e AF em 465 e 665 nm (E4/E6) é amplamente utilizada por cientistas do solo para a caracterização da matéria orgânica (ZALBA et al., 2016)also affecting the quantity and quality of organic matter incorporated into the system. The present study assesses humic substances (HS. De acordo com nossos resultados de E4/E6 (Tabela 2), as moléculas de AH e AF são menores sob o solo de referência na área de floresta com valor de 4,44 vs. 5,82 no solo cultivado, indicando a ocorrência de uma profunda transformação na unificação da matéria orgânica do solo (MOS), que forma um complexo com a fração argila (complexo organomineral).

Tabela 2. Absorância E4/E6 de AH provenientes do solo submetido a diferentes usos.

| Absorância (nm) | Usos do solo          |                   |
|-----------------|-----------------------|-------------------|
|                 | Floresta (Referência) | Milho (Agrícola)  |
| 465             | 0,209                 | 0,099             |
| 665             | 0,047                 | 0,017             |
| Relação E4 E6   | 4,44 <sup>a</sup>     | 5,82 <sup>b</sup> |

\*Letras distintas ilustram diferença estatística segundo o teste de Tukey (P≤0,05). nm: nanômetro.

Segundo KUKKONEN; OIKARI, (1991) a relação E4/E6 aumenta quando o peso molecular ou grau de condensação das SH diminui. Os valores da relação E4/E6 neste estudo se comportam dentro dos parâmetros normais reportados em solos, que são geralmente menores que 6 (FONG; MOHAMED, 2007). Em outro estudo em solos Latossolos Vermelhos, foi reportado que as relações óticas E4/E6 variaram entre 4,32 para solos com baixa atividade antrópica, até 5,17 para solos dedicados à monocultura da cana-de-açúcar (GONZÁLEZ et al., 2012). Esses resultados corroboram que as relações E4/E6 foram modificadas em função do sistema de manejo, independentemente do tipo de solo e condições climáticas. As diferenças significativas entre as relações E4/E6 nos dois sistemas de uso da terra de nosso experimento (Tabela 2), sugerem que a introdução de milho em áreas de pastagens ao longo de um número de anos não apenas teve um forte impacto nas propriedades físico-químicas da camada superficial do solo (0–20 cm), mas também deu origem a uma mudança no tamanho molecular das substâncias húmicas.

Por outra parte, as mudanças no tipo de manejo também alteram as propriedades dos solos tropicais (OLIVERA VICIEDO et al., 2018). Em este estudo desenvolvido em Cuba, os três principais fatores limitantes comuns para cada agrupamento de solo (Cambisols,

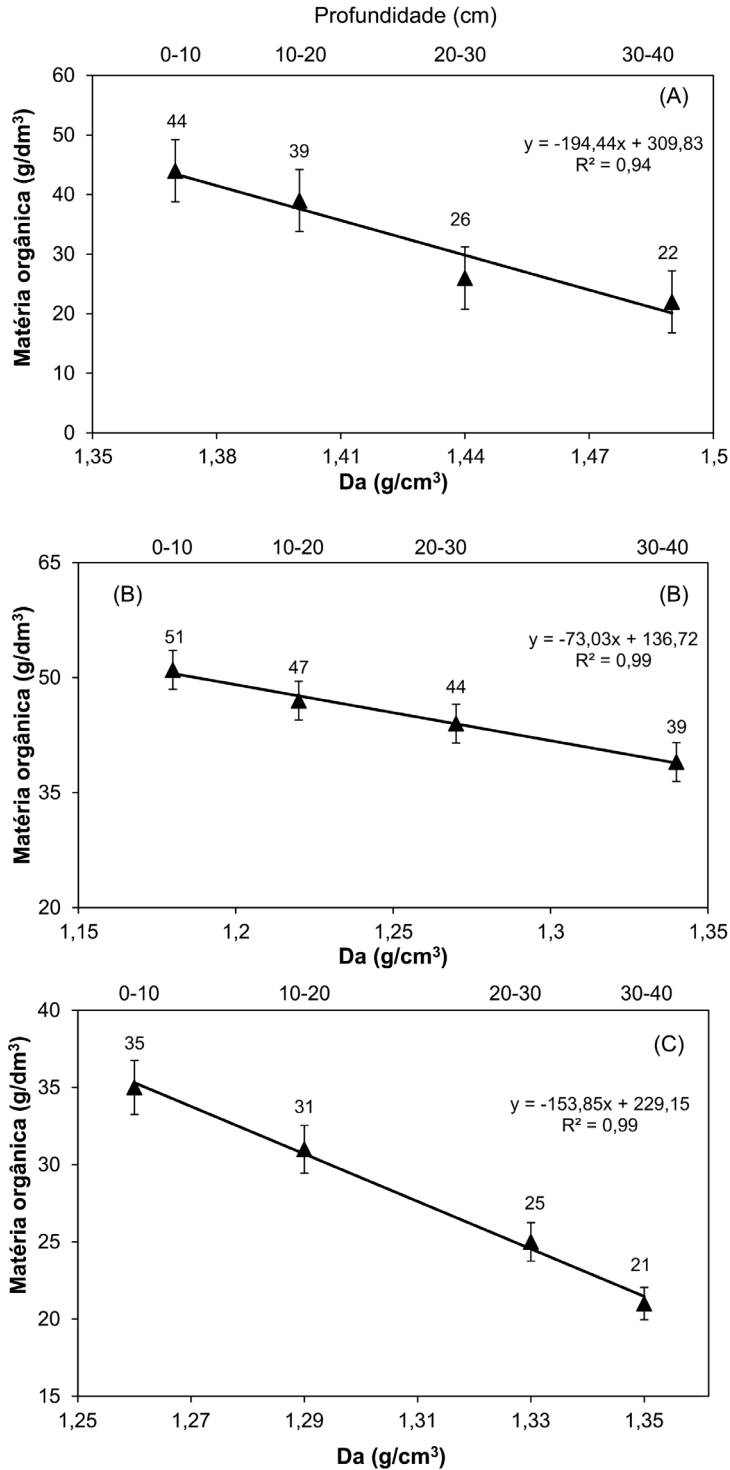
Fluvisols e Nitisols) foram a compactação, a erosão e como consequência das duas primeiras a baixa fertilidade do solo. A variação da densidade aparente entre os solos estudados foi alta, entre 1,18 g cm<sup>3</sup> para o Fluvisol e 1,49 g cm<sup>3</sup> para o Cambisol (Tabela 3). Em geral, os valores tenderam a aumentar com a profundidade e com a diminuição da matéria orgânica do solo, o que pode ser atribuído a uma redução da atividade biológica desenvolvida em horizontes mais profundos.

Tabela 3. Propiedades físicas y materia orgánica de los suelos

| Tipos de solos | Profundidade (cm) | Da (g/cm <sup>3</sup> ) | Dr (g/cm <sup>3</sup> ) | Porosidade (%) | MO (g/dm <sup>3</sup> ) | Horizonte (cm) |
|----------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|----------------|-------------------------|----------------|
| Cambisols (3)  | 0-10              | 1,37                    | 2,79                    | 51             | 44                      | A<br>14        |
|                | 10-20             | 1,40                    | 2,81                    | 50             | 39                      |                |
|                | 20-30             | 1,44                    | 2,82                    | 49             | 26                      | B<br>24        |
|                | 30-40             | 1,49                    | 2,79                    | 47             | 22                      |                |
| Fluvisols (3)  | 0-10              | 1,18                    | 2,60                    | 55             | 51                      | A<br>28        |
|                | 10-20             | 1,22                    | 2,69                    | 55             | 47                      |                |
|                | 20-30             | 1,27                    | 2,67                    | 53             | 44                      | B<br>12        |
|                | 30-40             | 1,34                    | 2,72                    | 51             | 39                      |                |
| Nitisols (3)   | 0-10              | 1,26                    | 2,60                    | 52             | 35                      | A<br>13        |
|                | 10-20             | 1,29                    | 2,65                    | 52             | 31                      |                |
|                | 20-30             | 1,33                    | 2,74                    | 51             | 25                      | B<br>19        |
|                | 30-40             | 1,35                    | 2,78                    | 52             | 21                      |                |

Na (Figura 1 A-C) pode-se observar uma relação lineal forte entre a matéria orgânica e a densidade aparente de cada solo. Na medida que aumenta a densidade aparente diminuiu a matéria orgânica. Para o solo Cambisol se encontraram os maiores valores de densidade aparente o que é proporcional com a compactação e isso é atribuído fundamentalmente ao tipo de argila 2:1 (Montmorilonita), na qual ocorre uma dilatação acentuada quando o solo está em estado úmido e uma contração quando seco. Devido a essas características este tipo de solo não apresenta boas propriedades físicas e por tanto o uso indevido de máquinas pesadas durante o manejo agrícola acrescenta a compactação e, conseqüentemente, diminui a porosidade. Por outro lado, no solo Fluvisol a densidade aparente foi a menor em cada profundidade quando comparado com os outros agrupamentos e isso pode estar condicionado porque apresentou os maiores valores de matéria orgânica na camada de 0-40 cm (Figura 1B; tabela 3). Em relação ao Nitisol, o comportamento da matéria orgânica foi o mais baixo de todos, o que favoreceu a compactação pelo incremento da densidade real do solo.

Figura 1. Relação entre densidade aparente e matéria orgânica para cada solo na camada de (0-40 cm). A) Cambisol, B) Fluvisol, C) Nitisol.





Em quanto à compactação a mecanização com equipamentos pesados provavelmente provocou a formação de blocos prismáticos e um piso de arado na superfície, decorrentes também do longo período de monocultura da cana. A compactação do solo causa aumentos da densidade aparente, resistência mecânica e diminui a porosidade (OLIVERA VICIEDO et al., 2018; TABOADA; MICUCCI, 2009). Desta forma, favorece a formação de camadas compactadas que dificultam a penetração e proliferação das raízes (NUNES; BONFIM-SILVA; DA SILVA, 2016) trazendo como consequência um diminuição dos rendimentos agrícolas. Enquanto isso, a erosão causou o desprendimento e transporte das partículas do solo, principalmente pela chuva (erosão hídrica), levando com ela parte importante da matéria orgânica e nutrientes do solo. Segundo o Instituto de Solos de Cuba (2006), o 69,6% dos solos têm baixa matéria orgânica (MO) e o 43,3% têm forte erosão, o que limita a produtividade. Nesse sentido, a identificação oportuna de as limitações do solo é um dos principais objetivos das pesquisas em física do solo (OLIVERA VICIEDO et al., 2018; ZHU; SCHMIDT; BRYANT, 2015).

#### 4 CONCLUSÕES

A evidência espectroscópica medida por a relação E4/E6 neste estudo confirma que os sistemas de uso da terra causaram modificações significativas na fração mais estável da matéria orgânica (AH), especialmente em solos cultivados. Um valor maior da relação E4/E6 no solo cultivado com milho sugere um peso molecular ou grau de condensação das substâncias húmicas menor. As mudanças pelo tipo de manejo da terra (monocultura da cana-de-açúcar) durante longo período também alteram as propriedades dos solos tropicais. Houve uma relação lineal negativa forte entre a densidade aparente e a matéria orgânica do solo ( $R^2 = 0,94, 0,99$  e  $0,99$ ) para o agrupamento de solo Cambisol, Fluvisol e Nitisol, respetivamente. Ou seja, quando uma aumenta, a outra diminui, e vice-versa. Os principais fatores limitantes identificados nos solos da UBPC “Jobo Rosado” foram a compactação, a erosão e baixa fertilidade do solo.

#### 5 AGRADECIMENTOS

*The Canadian International Development Agency (CIDA) and the Association of Universities and Colleges of Canada (AUCC) for providing scholarship to the first author D.O.V. (Student for Development Program). We would like also to thank the University of Sancti Spiritus José Martí Pérez (UNISS, Cuba), and the Institute for Sustainable Horticulture of Kwantlen Polytechnic University (KPU), Canada.*

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ÁLVAREZ, J. L. **Caracterización y manejo de los principales factores edáficos limitantes de la agro-productividad de los suelos**. 2002. Disponível em: <[BARBOSA, J.; MALDONADO, J. \*\*Experimentação agrônômica e AgroEstat: sistema para análises estatísticas de ensaios agrônômicos\*\*, Departamento de Ciências Exatas–Universidade Estadual Paulista \(UNESP\), 2015. Disponível em: <\[BONDAREVA, L.; KUDRYASHEVA, N. Direct and Indirect Detoxification Effects of Humic Substances. \\*\\*Agronomy\\*\\*, v. 11, n. 2, p. 198, 2021. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2073-4395/11/2/198>>. Acesso em: 6 mar. 2021.

CANADIAN SOCIETY OF SOIL SCIENCE. \\*\\*Forest & Tundra Soils - Soils of Canada\\*\\*. 2020. Disponível em: <<https://soilsofcanada.ca/soil-classification/forest--tundra-soils.php>>. Acesso em: 6 mar. 2021.

DOU, S.; SHAN, J.; SONG, X.; CAO, R.; WU, M.; LI, C.; GUAN, S. Are humic substances soil microbial residues or unique synthesized compounds? A perspective on their distinctiveness. \\*\\*Pedosphere\\*\\*, v. 30, n. 2, p. 159–167, 2020.

DRIESSEN, P.; DECKERS, J.; SPAARGAREN, O.; NACHTERGAELE, F. \\*\\*Lecture notes on the major soils of the world, World Soil Resources Reports 2000, 94\\*\\*. Disponível em: <\\[https://scholar.google.com/scholar\\\\_lookup?title=Lecture%20notes%20on%20the%20major%20soils%20of%20the%20world&author=P.+Driessen&author=J.+Deckers&author=O.+Spaargaren&author=F.+Nachtergaele&publication\\\\_year=2001&pages=334\\]\\(https://scholar.google.com/scholar\\_lookup?title=Lecture%20notes%20on%20the%20major%20soils%20of%20the%20world&author=P.+Driessen&author=J.+Deckers&author=O.+Spaargaren&author=F.+Nachtergaele&publication\\_year=2001&pages=334\\)>. Acesso em: 6 mar. 2021.

FONG, S. S.; MOHAMED, M. Chemical characterization of humic substances occurring in the peats of Sarawak, Malaysia. \\*\\*Organic Geochemistry\\*\\*, v. 38, n. 6, p. 967–976, 2007.

GONZÁLEZ, D. Q.; LÓPEZ, R. H.; HERNÁNDEZ, O. L.; IZQUIERDO, F. G.; BERBARA, R. L. El sistema de usos de los suelos Ferralíticos modifica la estructura y las propiedades de sus ácidos húmicos. \\*\\*Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias\\*\\*, v. 21, n. 4, p. 55–60, 2012. Disponível em: <\\[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\\\_arttext&pid=S2071-00542012000400009\\]\\(http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2071-00542012000400009\\)>. Acesso em: 8 mar. 2021.

HARTEMINK, A. E. Soil science in tropical and temperate regions – Some differences and similarities. In: \\*\\*Advances in Agronomy\\*\\*. Academic Press, 2002. v. 77p. 269–292.

HERNÁNDEZ, A.; CABRERA RODRÍGUEZ, A.; BORGES BENÍTEZ, Y.; VARGAS BLANDINO, D.; BERNAL FUNDORA, A.; MORALES DÍAZ, M.; ASCANIO GARCÍA, M. Degradation Red Ferralitic lixiviated soils and indicators of the Red Valley Havana. \\*\\*Cultivos Tropicales\\*\\*, v. 34, n. 3, p. 45–51, 2013. Disponível em: <\\[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\\\_arttext&pid=S0258-59362013000300007&lng=en&nrm=iso&tlng=es\\]\\(http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362013000300007&lng=en&nrm=iso&tlng=es\\)>. Acesso em: 6 mar. 2021.

HERNÁNDEZ, A.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J. M.; BOSCH-INFANTE, D.; SPECK, N. C. La clasificación de suelos de Cuba: énfasis en la versión de 2015. \\*\\*Cultivos Tropicales\\*\\*, v. 40, n. 1, p. a15–e15, 2019. Disponível em: <\\[http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362019000100015&script=sci\\\\_arttext&tlng=pt\\]\\(http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362019000100015&script=sci\\_arttext&tlng=pt\\)>. Acesso em: 6 mar. 2021.

IUSS - WRB. \\*\\*International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps\\*\\*. World reference base for soil resources, 2014. Disponível em: <\\[http://www.journals.cambridge.org/abstract\\\\_S0014479706394902\\]\\(http://www.journals.cambridge.org/abstract\\_S0014479706394902\\)>\]\(https://scholar.google.co.uk/scholar?hl=en&as\_sdt=0%2C5&q=Barbosa+JC%2C+Maldonado+Junior+W+&btnG=>\)](https://scholar.google.com/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=Álvarez%2C+J.+L.+%282002%29.+Caracterización+y+m+anexo+de+los+principales+factores+edáficos+limitantes+de+la+agro-productividad+de+los+suelos.+Facultad+de+Agronomía%2C+Universidad+de+Matanzas+Camilo+C>)

- KUKKONEN, J.; OIKARI, A. Bioavailability of organic pollutants in boreal waters with varying levels of dissolved organic material. **Water Research**, v. 25, n. 4, p. 455–463, 1991.
- KULIKOVA, N. A.; VOLIKOV, A. B.; FILIPPOVA, O. I.; KHOLODOV, V. A.; YAROSLAVTSEVA, N. V.; FARKHODOV, Y. R.; YUDINA, A. V.; ROZNYATOVSKY, V. A.; GRISHIN, Y. K.; ZHILKIBAYEV, O. T.; PERMINOVA, I. V. Modified Humic Substances as Soil Conditioners: Laboratory and Field Trials. **Agronomy**, v. 11, n. 1, p. 150, 2021. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2073-4395/11/1/150>>. Acesso em: 6 mar. 2021.
- LIZCANO, R.; VICIEDO, D.; SAAVEDRA, D.; MORA, L.; VALENCIA, R.; PÉREZ, M.; FLORES, M. **Muestreo de suelos, técnicas de laboratorio e interpretación de análisis de suelos**, 2017. Disponível em: <[https://www.researchgate.net/publication/325478338\\_Muestreo\\_de\\_suelos\\_tecnicas\\_de\\_laboratorio\\_e\\_interpretacion\\_de\\_analisis\\_de\\_suelos](https://www.researchgate.net/publication/325478338_Muestreo_de_suelos_tecnicas_de_laboratorio_e_interpretacion_de_analisis_de_suelos)>. Acesso em: 17 fev. 2020.
- LUSSIER, J. M.; KRZIC, M.; SMUKLER, S. M.; BOMKE, A. A.; BONDAR, D. Short-term effects of grassland set-asides on soil properties in the fraser river delta of British Columbia. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 99, n. 2, p. 136–145, 2019. Disponível em: <[www.nrcresearchpress.com/cjss](http://www.nrcresearchpress.com/cjss)>. Acesso em: 7 mar. 2021.
- NUNES, J. A. S.; BONFIM-SILVA, E. M.; DA SILVA, T. J. A. Bulk density and water tensions in the soil on corn root production. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 20, n. 4, p. 357–363, 2016. Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br>>. Acesso em: 8 mar. 2021.
- OLIVERA VICIEDO, D.; HERNÁNDEZ JIMÉNEZ, A.; RODRÍGUEZ GONZÁLEZ, M.; LIZCANO TOLEDO, R.; CALERO, A.; PEÑA CALZADA, K. Effects of land-use change on Nitisols properties in a tropical climate. **Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín**, v. 71, n. 3, p. 8601–8608, 2018. Disponível em: <<https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/67786>>
- SANBORN, P.; LAMONTAGNE, L.; HENDERSHOT, W. Podzolic soils of Canada: Genesis, distribution, and classification. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 91, n. 5, p. 843–880, 2011. Disponível em: <<https://cdnscepub.com/doi/abs/10.4141/cjss10024>>. Acesso em: 6 mar. 2021.
- SCHROEDER, J.; JANNOURA, R.; BEUSCHEL, R.; PFEIFFER, B.; DYCKMANS, J.; MURUGAN, R.; CHAVANNAVAR, S.; WACHENDORF, C.; JOERGENSEN, R. G. Carbon use efficiency and microbial functional diversity in a temperate Luvisol and a tropical Nitisol after millet litter and N addition. **Biology and Fertility of Soils**, v. 56, n. 8, p. 1139–1150, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00374-020-01487-4>>. Acesso em: 6 mar. 2021.
- TABOADA, M. A.; MICUCCI, S. N. Respuesta de las propiedades físicas de tres suelos de la pampa deprimida al pastoreo rotativo resumen. **Ciencia del suelo**, v. 27, n. 2, p. 147–157, 2009.
- VAN TOL DE CASTRO, T.; LOURO BARBARA, R. L.; HUERTAS TAVARES, O. C.; FERNANDES DA GRAÇA MELLO, D.; PEREIRA, E. G.; DA COSTA BARROS DE SOUZA, C.; ESPINOSA, L. M.; GARCÍA, A. C. Humic Acids Induce a Eustress State Via Photosynthesis and Nitrogen Metabolism Leading to a Root Growth Improvement in Rice Plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 162, p. 171–184, 2021. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0981942821001108>>. Acesso em: 6 mar. 2021.
- ZALBA, P.; AMIOTTI, N. M.; GALANTINI, J. A.; PISTOLA, S. Soil Humic and Fulvic Acids from Different Land-Use Systems Evaluated By E4/E6 Ratios. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v. 47, n. 13–14, p. 1675–1679, 2016. Disponível em: <<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00103624.2016.1206558>>. Acesso em: 8 mar. 2021.
- ZHU, Q.; SCHMIDT, J. P.; BRYANT, R. B. Maize (Zea mays L.) yield response to nitrogen as influenced by spatio-temporal variations of soil-water-topography dynamics. **Soil and Tillage Research**, v. 146, n. PB, p. 174–183, 2015.

# CAPÍTULO 10

## CHANGES IN SHRUB INVASION IN SOUTH AMERICA PROTECTED TEMPERATE NATIVE FORESTS

Data de submissão: 24/02/2021

Data de aceite: 26/03/2021

### Julian Alberto Sabattini

Chair of Ecology of Agricultural Systems,  
Faculty of Agricultural Sciences,  
National University of Entre Ríos.  
Route No. 11, Km 10.

CP 3100 Oro Verde, Entre Ríos, Argentina.

\*Corresponse Autor: julian.sabattini@fca.uner.edu.ar

<https://orcid.org/0000-0001-6449-3391>

### Rafael Alberto Sabattini

Chair of Ecology of Agricultural Systems,  
Faculty of Agricultural Sciences,  
National University of Entre Ríos.  
Route No. 11, Km 10.

CP 3100 Oro Verde, Entre Ríos, Argentina.

\*Corresponse Autor: rafael.sabattini@fca.uner.edu.ar

<https://orcid.org/0000-0003-3510-4646>

**ABSTRACT:** Detecting invaded areas and mapping the extent and spatial pattern of invasive plants are important. The aim of this work was: a) to know the spatial changes in the invasion of shrub species protected by temperate native forests of the Mesopotamian Spinal using state-transition models, and b) to establish a

future prediction model on the level of shrub invasion depending on the intensity of the current cattle grazing system. The study was carried in Protected Area 'El Caraya' (Argentina), hereinafter, PA 'El Caraya'. Field sampling was carried out with 85 sites in 2011 and 82 sites in 2018 both located randomly and geo-referenced with GPS. At each sampling point, the level of shrub invasion was recorded. To map the distribution of shrub invasive classes, we obtained two Landsat images recorded on 2011 and 2017. Changes in the level of shrub invasion were evaluated with the change analysis model and the future trend using the Markov model. More than 30% of the PA 'El Caraya' territory did not present changes in the levels of shrub invasion, which indicates that the structural components such as herbaceous, shrub and tree are balanced. The results of this research have shown that remote sensors are a simple and useful tool that allow us to know what the spatial changes in the levels of invasion of shrub species in protected temperate native forests of southern South America, as was also possible to predict the future state under the same conditions of the study period.

**KEYWORDS:** Remote sensing. Landsat. Land change modeler. *Baccharis* spp. Protected area.

## 1 INTRODUCTION

Changes in land cover and use in terrestrial ecosystems are the result of anthropogenic intervention (Weng and Wie, 2003). Richards (1990) summarized different calculations to estimate that over the last 300 years, we have lost roughly 20% of our forests and woodlands, 1% of grasslands and pastures (most pastures came from grasslands), while cropland areas increased by 466%. All these changes have caused modifications in the remaining ecosystems, such as favoring the introduction of shrubs in temperate native forests in South America (Sabattini, 2015). Natural grasslands are among the ecosystems that have been most disturbed by humans (Hannah et al. 1995). However, temperate native forests in South America have been heavily invaded by human intervention (Wilson and Sabattini, 2001) causing a shrub invasion that reduces the livestock potential of these ecosystems (Sabattini et al, 1999; 2002). Shrub increase is occurring in rangelands in North and South America, Africa, India, Scandinavia and Australia (Archer et al., 2017).

Invasions by exotic and native plants are one of the main causes of the degradation of ecosystems and biodiversity globally (Theoharides and Dukes, 2007). Trends toward increasing woody or shrub plant abundance in temperate and tropical grasslands and savannas in recent history have been reported worldwide (McPherson 1997).

Proximate causes for the increase in shrubs (both native and exotic) have been grouped into three general areas (Brown and Archer, 1999): (1) atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment favoring C3 shrubs over C4 grasses; (2) suppression of burning allowing fire sensitive shrubs to increase and (3) domestic livestock grazing altering competitive relationships between grasses and shrubs. The shrubs present in native forests of the Mesopotamian Spinal (Argentina) are of the genus *Baccharis* (mainly), *Eupatorium* or *Aloysia* (Sabattini et al., 2018; Sabattini et al., 2019). These present high vegetation cover, reducing the entrance of light, water and nutrients for the species foraged by cattle in a large part of the Argentine territory (Sabattini et al., 1999). The genus *Baccharis* was native area is entirely confined to the New World and ranges from the warmest regions of the USA to Patagonia and Tierra del Fuego in Argentina and Chile (Mabberley, 2008). Species of *Baccharis* are of limited economic importance.

Several studies used remote sensing images to map distributions of terrestrial native and non-native invasive plants, relying either on aerial photographs, satellite imagery or high-resolution satellite imagery (Lass et al., 2005). Landsat satellite images provide an excellent alternative for mapping the spread of non-native invasive plants at broad scales and at low cost, especially given the increasing availability of the global Landsat archives (Woodcock et al., 2008). Land-use and land-cover change (LUCC) also known as land change is a term for the human modification of Earth's terrestrial surface. It is widely

accepted that LULC have an important on majority of ecosystems. Currently models are based on the spatial transition, called the method of Markov Chains (Pontius and Malanson, 2005), they assume explicitly that neighboring areas influence the probability of transition from the area or central cell study.

The aim of this work was: a) to know the spatial changes in the invasion of shrub species protected by temperate native forests of the Mesopotamian Spinal using state-transition models, and b) to establish a future prediction model on the level of shrub invasion depending on the intensity of the current cattle grazing system. These results would make it possible to establish whether the management plans carried out in protected native forests are correct based on sustainable ecological principles.

## 2 MATERIAL AND METHODS

### 2.1 STUDY AREA

The study was carried in Protected Area Estancia ‘El Caraya’ (hereinafter, PA ‘El Caraya’) located in the center-north of the province of Entre Ríos, Argentina (30° 38’ S, 48° 47’ W) and has 10,609 ha. According to the Köppen classification, the area corresponds to a humid subtropical climate, characterized by hot and humid summers and cool winters. Average annual rainfall is 1300 mm, rains being concentrated between October and March. However, in the last decade there have been notable changes in the distribution of seasonal and annual rainfall. Changes in the distribution of seasonal and annual rainfall were recorded in the evaluation period. In the period 2011-2017, an increase of 32% was observed with respect to the average annual rainfall of the last 30 years (1982-2011) in the PA ‘El Caraya’. However, during the autumn-winter period of 2013, rainfall was lower than normal, registering an annual decrease of 9.5% compared to the historical average. Seasonally precipitation changed over the years, watching over the first five years a significant decline from the historical average, while in the spring and summer an opposite trend (Table 1).

Table 1. Percentage variation of seasonal rainfall and its relationship with the historical mean (1982-2011) of the ANP ‘El Caraya’

| Year         | Summer | Autumn | Winter | Spring |
|--------------|--------|--------|--------|--------|
| 2011         | -15%   | -36%   | -7%    | +85%   |
| 2012         | +46%   | -25%   | +62%   | +103%  |
| 2013         | +1%    | -46%   | -67%   | +57%   |
| 2014         | +91%   | -8%    | +5%    | +44%   |
| 2015         | +127%  | -27%   | +147%  | +49%   |
| 2016         | +21%   | +133%  | +34%   | +10%   |
| 2017         | +35%   | +46%   | +80%   | +8%    |
| Average (mm) | 416    | 437    | 150    | 325    |

According to Oyarzabal et al. (2018), the study area corresponds to the Spinal Phytogeographic province, which is characterized by xerophilous forests dominated by *Prosopis nigra* Griseb., *P. affinis* Spreng. and *Vachellia caven* Molina (Sabattini et al., 1999). Studies in PA 'El Caraya' indicate the presence of *Celtis ehrenbergiana* Gillies ex Planch., *Geofroea decorticans* (Gill. Ex Hook. & Arn.) Burkart, *Eugenia cisplatensis* Cambess. and *Parkinsonia aculeata* L. In addition, there are other areas represented by closed forests with shrub cover between 32.5% and 62.5%, the dominant species being *Baccharis punctulata* L., accompanied by *Eupatorium buniifolium* Hook. & Arn., *E. laevigatum* Lam. and *Aloysa grattisima* (Gillies & Hook. ex Hook.) Tronc. The condition of the natural grassland responds to a very good condition for livestock production, being very palatable, of good size and vigor (Sabattini et al., 2002), and also species of the genera *Nassella* E.Desv., *Bothriochloa* Kuntze, *Chloris* Sw. and *Paspalum* L. dominate (Sabattini et al., 2015).

Land use, predominantly cattle grazing and extensive logging, have substantially altered natural vegetation communities. Current deforestation rates between 1990 and 2010 are high (1.1% per year) and forest fragmentation is increasing while the remaining forests are under pressure from grazing, selective logging, fire, and non-native invasive plants (Sabattini, 2015).

## 2.2 REMOTE SENSING DATA AND PROCESSING

Field sampling was carried out with 85 sites in 2012 and 82 sites in 2018, both located randomly by the preferential sampling method (Matteucci and Colma, 1982) and geo-referenced with GPS. At each sampling point, the level of shrub invasion was recorded according to the vegetation cover (Sabattini et al., 2014): Class + (5%); Class 1 (15%); Class 2 (25%); Class 3 (50%) and Class 4 (75%).

To map the distribution of shrub invasive classes in the study area, we obtained two Landsat images recorded on January 16th 2011 (Landsat 5TM), and December 24th 2017 (Landsat 8OLI) from the United States Geological Survey Earth Resources Observation and Science data center (USGS EROS) (<http://edc.usgs.gov>). Satellite images were selected for their availability with low cloud cover, same season, and according to the previous accumulated soil moisture content. A maximum likelihood supervised classification was performed using Landsat 5-TM bands 3, 4 and 5, and Landsat 8-OLI 4, 5 and 6. In addition, the training sites for each level of shrub invasion were established using the sampling sites as a base and field photographs taken in other available surveys. As a result, the classification of the five levels of shrub invasion was obtained, evaluating the success with the global reliability index (0-100%) and the Kappa index (Chuvieco, 1990) for each year.



Changes in the level of shrub invasion between 2011 and 2017 were evaluated with the Change Analysis module of Land Change Modeler (LCM) software IDRISI Selva (Eastman, 2009). Maps were obtained with the changes that occurred in all the classes, as well as losses, gains and persistence for each class, establishing the state-transition matrix between the years. The future trend was quantified using the Markov model. Markov chain analysis is a stochastic modelling approach which has been used extensively for land cover change modelling (Fathizad et al., 2015). It assumes that the probability of a system being in a certain state at a certain time can be determined if its state at a prior time is known with the assumption that rates of change observed during the calibration period ( $t_1$  to  $t_2$ ), will remain the same during the simulation period ( $t_2$  to  $t_3$ ).

### 3 RESULTS

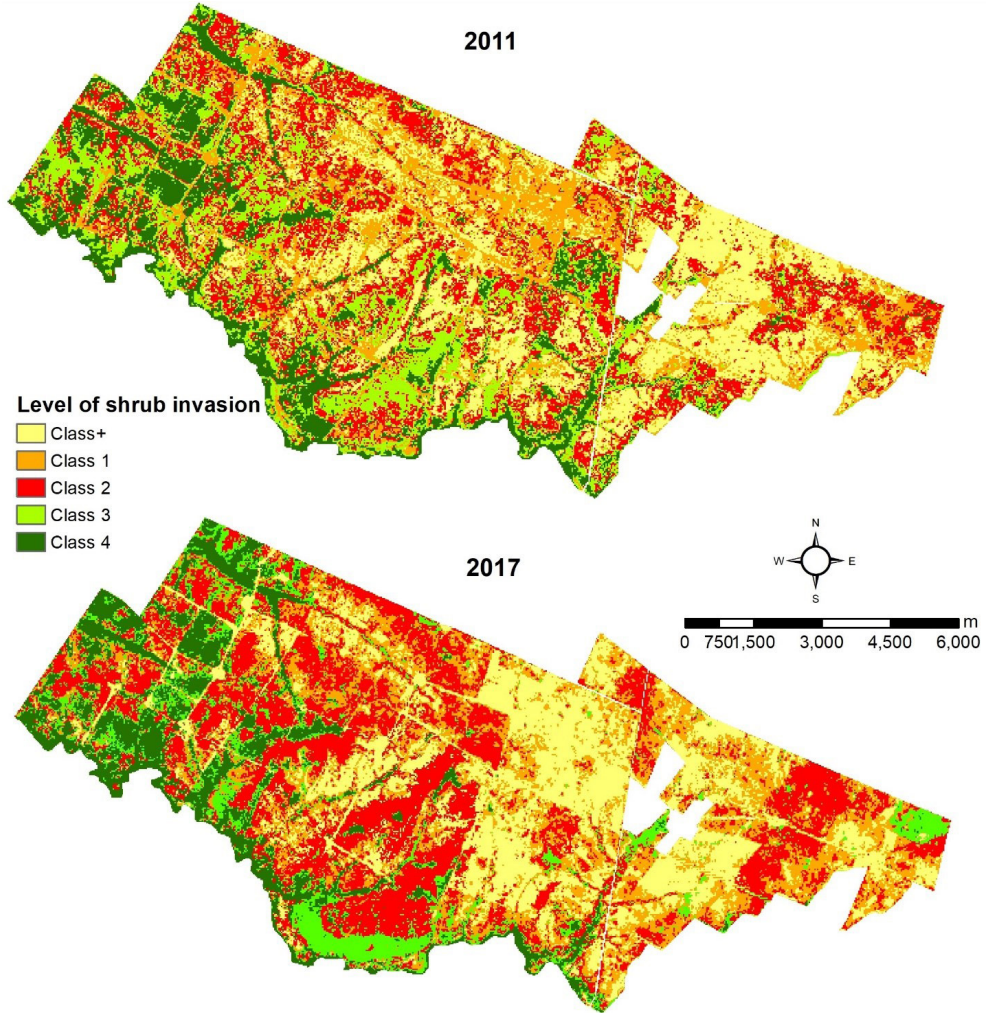
In general terms, 36% (3,775 ha) of the surface of the temperate native forests of the PA 'El Caraya' remained stable in relation to the level of shrub invasion in the period evaluated, of which 1,632 ha corresponded to forests with high conservation level (Class + and Class 1), 987 ha at medium conservation level (Class 2) and 1,156 ha to those forests with high shrub cover (Fig 2, Table 2). 64% of the total presented notable changes due to the intrinsic successional dynamics characteristic of these ecosystems. Class + in 2011 was represented by 2,407 ha, while in 2017 coverage increased by 17.4% (2,826 ha). The dynamics indicate that 1,368 ha were lost during the analyzed period, of which 70.5% were converted to Class 1 where the level of shrub invasion is significantly low, while the remaining percentage were native forests that presented a level of degradation. elevated by the constant invasion of the bushes (403 ha). However, it is important to mention that 1,787 ha were transformed to Class + from other levels of shrubs, of which 54.7% corresponded to Class 1 and 27.1% to Class 2 (Table 2)

Table 2. Transition matrix between shrub invasion levels between 2011 and 2017 (ha). The main diagonal represents areas of each class that persisted, and in the sense of rows and columns, areas that lost and won in 2017 for each class, respectively. Values expressed in hectares.

| Shrub invasion levels | Class +      | Class 1    | Class 2    | Class 3    | Class 4    | 2011   |
|-----------------------|--------------|------------|------------|------------|------------|--------|
| <b>Class +</b>        | <b>1,039</b> | 965        | 363        | 37         | 3          | 2,407  |
| <b>Class 1</b>        | 977          | <b>593</b> | 344        | 118        | 23         | 2,055  |
| <b>Class 2</b>        | 483          | 723        | <b>987</b> | 298        | 67         | 2,558  |
| <b>Class 3</b>        | 233          | 232        | 1,030      | <b>419</b> | 212        | 2,126  |
| <b>Class 4</b>        | 94           | 63         | 222        | 347        | <b>737</b> | 1,463  |
| <b>2017</b>           | 2,826        | 2,576      | 2,946      | 1,219      | 1,042      | 10,609 |
| <b>Loss</b>           | 1,368        | 1,462      | 1,571      | 1,707      | 726        |        |
| <b>Gains</b>          | 1,787        | 1,983      | 1,959      | 800        | 305        |        |

Relatively, Class 1 registered an increase of 521 ha in 2017 compared to 2011. Only 6.8% of the surface registered in 2011 were transformed into temperate native forests of medium to low level of conservation (Class 3 and 4), while 76.4% found a high conservation value (Class + and 1) because they respond to forests with a low level of shrub invasion. It is important to mention that 723 ha of Class 2 corresponds to 36.5% of the increased surface area of Class 1, while only 295 ha were recovered from Class 3 and 4 (Table 2).

Fig. 2. Shrub invasion levels in the PA 'El Caraya' for 2011 and 2017. Kappa index 0.892 and 0.767; Global reliability index 85.8% and 80.3% (2011 and 2017, respectively).



Class 2 presented a net increase of 388 ha in 2017, increased by the conversion of Class 3 (1,030 ha). On the other hand, 707 ha of Class 2 were transformed into Class + and 1 allowing their conservation level to be increased. The native forest classes with a

low conservation level (Classes 3 and 4) decreased significantly, obtaining a net loss of 1,328 ha, representing 12.5% of the surface of the natural area. In this sense, 21.30% of the surface of Class 3 (453 ha) became Class 2 (298 ha), Class 1 (118 ha) and Class + (37 ha). However, in 16.3% the degradation processes continued due to the advance of the shrubs and semi-woody plants. Regarding Class 4, it did not undergo substantial changes, obtaining a conversion of 212 ha to Class 3, while only 93 ha to Classes of medium to high level of conservation.

Table 2 shows the probability matrix of the change in the classes of shrub invasion for the year 2027. According to the period analyzed, in the next 10 years the surface of Class + will maintain 42% of the surface, 33 % of Class 1, 30% of Class 2, 14% of Class 3 and 33% of Class 4. Low shrub invasion levels (eg Class + and 1) would increase their share of the total ANP area 'El Caraya', presenting significant changes between classes. In addition, 60% of the surface of Class 2 in 2027 that presents medium conservation value, will be shaped by the transformation of areas with high shrub cover (Class 3 and 4).

Table 3. Status-transition matrix to the year 2027 for the ANP 'El Caraya' shrub invasion classes

|                | <b>Class +</b> | <b>Class 1</b> | <b>Class 2</b> | <b>Class 3</b> | <b>Class 4</b> |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| <b>Class +</b> | 0,4204         | 0,3380         | 0,1879         | 0,0461         | 0,0076         |
| <b>Class 1</b> | 0,3861         | 0,3340         | 0,2089         | 0,0536         | 0,0173         |
| <b>Class 2</b> | 0,2906         | 0,2733         | 0,3000         | 0,0989         | 0,0372         |
| <b>Class 3</b> | 0,1860         | 0,2255         | 0,3590         | 0,1386         | 0,0908         |
| <b>Class 4</b> | 0,1071         | 0,0994         | 0,2578         | 0,2049         | 0,3308         |

In 2027, 3,563 ha are expected to show no changes in the levels of shrub invasion, representing 33.5% of the total area of the PA 'El Caraya'. The areas of high conservation value increase by 11.8% (6,383 ha) compared to the year 2017. On the other hand, the areas with high shrub cover will show a decrease of 29.9%, obtaining 943 ha of Class 3 and 631 ha in Class 4. Those areas where there is an average level of shrub invasion will be stable with an area of 2,662 ha (Class 2), which means a decrease of 9.6%.

## 4 DISCUSSION

The change in the levels of shrub invasion was determined using techniques of land change models. The objective of this research is to evaluate how livestock management is in a protected area under the multiple-use reserve modality, using shrub invasion as an indicator.

The complex processes of land cover change are difficult to capture in variables, and model in algorithms, since they are often shaped by dynamic, non-linear human-

nature interactions (Camacho Olmedo et al., 2015). For this reason, the discussion will firstly focus on potential sources of error in the LCM and potential limitations (Pontius and Malanson 2005). The accuracy of an inductive model's output is a function of both the model itself i.e. suitability of algorithms within the model to fulfil the intended purpose, and the accuracy of the input data. In our study, very good indices of certainty in the classifications have been obtained in each year, which is good from the LCM point of view. In addition, there are many sampling sites that provide information on the reality of the territory as the great extension of the PA 'El Caraya'. For this reason, it is possible to affirm that the combination of randomly distributed field samplings throughout the study area, with the use of LCM, allows to estimate not only the change in the types of shrub invasion but also to predict in the future.

More than 30% of the PA 'El Caraya' territory did not present changes in the levels of shrub invasion, which indicates that the structural components such as herbaceous, shrub and tree are balanced. This balance would be fundamentally associated with the position within the ecological plant succession, being the case of more mature natural ecosystems. However, much of the territory presented important changes in the levels of shrub invasion. It has been widely documented that the introduction of invasive species has negative implications on the dynamics of ecosystems through the modification of the composition and decrease in species richness with effects on ecological interactions (intra and interspecific), and effects on competition and facilitation, among others (Pywel et al., 2003; Hejda et al., 2009). Through the process of secondary succession, attributes of structure and composition can be recovered after disturbances at different spatio-temporal scales, such as hurricanes, fires, felling, agricultural agriculture or livestock (Chazdon, 2003). However, it has been observed that secondary succession is one of the processes that is mainly affected by the introduction of shrub species. It has been observed that the introduction of invasive species can modify the patterns of dominance and establishment of species from the initial phase of succession (Fine, 2002). Moreover, the introduction of native and non-native species generates a new *status quo* inside of the plant community that lead to the establishment of an alternative state which affects the feedback processes returning to the original state (Faist and Beals, 2018). These results are similar to those obtained in Jean-Baptiste et al (2018) where they have demonstrated that invasive species disrupt the ecological mechanisms that drive secondary succession, but through recovery strategies it is possible to foster secondary succession. Other research shows the negative ecological consequences of conversion of native forest stands into non-native tree forest stands, where the biodiversity of native trees declines, and that vertical structure is much less complex (Hoyos et al., 2010).

Furthermore, the spatial distribution of the types of shrub invasion was highly heterogeneous and linked to abiotic (variation in rainfall) and biotic (cattle grazing) factors. Climate change has many facets, some of which can have potentially important bearing on shrub encroachment. This led to considerations of a possible link between the encroachment of the C3 shrub into the C4 grass dominated communities. Changes in temporal rainfall regimes severely affect growth peaks of grasslands and shrubs. The shrub canopy develops rapidly and greatly reduces the amount of light reaching the ground, and presumably completely alters most microclimatic features. In addition, before Autumn and Winter, the rainfall in the study area was lower between 2011 and 2015. This would affect the sexual and asexual reproduction of plant species, especially shrubs of the *Baccharis* genus. Successful establishment of seedlings is likely to be the critical process determining the invasion rate. *Baccharis* seeds are released during the wet winter months.

The intensity of livestock grazing influences shrub cover. The PA 'El Caraya' presented a moderate intensity during the study period, varying seasonally depending on the primary productivity of the natural grassland, as well as the cultural tasks of livestock farming. The moment, intensity and grazing pressure establish the competition relationship between the physiognomic and floristic components of the native forest (Sabattini et al., 2002). In temperate native forests where grazing intensity is moderate to high, the level of shrub invasion is reduced due to the increased grazing pressure (Sabattini et al., 2018). These mechanisms, although not easily attributable and verifiable due to the high heterogeneity in such a large area, may be one of the factors of relative weight that has contributed to the decrease in the level of shrub invasion in the PA 'El Caraya' in the year 2017 (Table 2). Maintaining the current biotic and abiotic conditions, it is expected that the level of shrub invasion will be reduced as explained by the state-transition matrix (Table 3), considering the aforementioned restrictions.

## 5 CONCLUSION

The results of this research have shown that remote sensors are a strategic, simple and useful tool to know what the spatial changes in the levels of invasion of shrub species in protected temperate native forests of southern South America. Furthermore, by using simulation models, it was possible to predict the future state under the same conditions of the study period. On the other hand, the design and execution of the management plan carried out in the PA 'El Caraya' has decreased the level of shrub invasion in much of its territory due to numerous abiotic and biotic factors, but which a priori is possible attribute with greater relative weight to the moderate cattle grazing intensity used in the last 10 years.





MATTEUCI, S.; COLMA, A. **Metodología para el estudio de la vegetación**. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Washington DC: Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico, 1982.

MCPHERSON, G. R. **Ecology and management of North American savannas**. Tucson, USA: University of Arizona Press, 1997.

OYARZABAL, M.; CLAVIJO, J.; OAKLEY, L.; BIGANZOLI, F. *et al.* Unidades de Vegetación de la Argentina. **Ecologia Austral**, 28, n. 1, p. 40-63, 2018.

PONTIUS, G. R.; MALANSON, J. Comparison of the structure and accuracy of two land change models. **International Journal of Geographical Information Science**, 19, n. 2, p. 243-265, 2005.

PYWELL, R. F.; BULLOCK, J. M.; ROY, D. B.; WARMAN, L. *et al.* Plant traits as predictors of performance in ecological restoration. **Journal of Applied Ecology**, 40, n. 1, p. 65-77, 2003.

RICHARDS, J. F. Land Transformation. *In*: TURNER, B. L.; CLARK, W. C., *et al.* (Ed.). **The Earth as transformed by human action**. New York: Cambridge University Press, 1990. p. 163-178.

SABATTINI, J. A. Land cover and land use changes of native forests categories: the case of the Atencio District, Argentina, in the period from 1984 to 2013. **Forest Systems**, 24, n. 2, 2015.

SABATTINI, J. A.; ALBERTO SABATTINI, R.; URTEAGA OMAR, A. F.; BACIGALUPO, M. *et al.* Recuperación del pastizal natural en un bosque nativo degradado del Espinal argentino mediante el control químico aéreo de arbustivas. **Investigación Agraria**, 21, n. 2, p. 93-107, 2019.

SABATTINI, J. A.; BOSCHETTI, N. G.; SABATTINI, R. A.; QUINTERO, C. E. *et al.* Unidades de vegetación de un Bosque Nativo según condiciones edáficas (Entre Ríos, Argentina). **Avances en Investigacion Agropecuaria**, 19, n. 2, p. 79-96, 2015.

SABATTINI, J. A.; SABATTINI, R. A.; CIAN, J. C.; LINDT, M. Mechanical recovery of a native forest with shrubs of the Espinal Ecoregion (Argentina). **Forestist**, 68, n. 2, p. 78-86, 2018.

SABATTINI, R. A.; ANGLADA, M. M.; SABATTINI, I. A.; CIAN, J. C. *et al.* **Recuperación de un monte nativo degradado con la utilización de la limpieza química aérea en la Estancia El Caraya: Lotes 4 Sureste A (2012-2013) y B (2013-2014), y Lote 51 (2013-2014)**. Facultad de Ciencias Agropecuarias, UNER, p. 48. 2014.

SABATTINI, R. A.; WILSON, M. G.; MUZZACHIODI, N.; DORSCH, A. F. Guía para la caracterización de agroecosistemas del centro-norte de Entre Ríos. **Revista Científica Agropecuaria**, 3, p. 7-19, 1999.

SABATTINI, R. A.; MUZZACHIODI, N.; DORSCH, F. **Manual de Prácticas de Manejo de Monte Nativo**. Oro Verde, Argentina: UNER, 2002. 56 p.

THEOHARIDES, K. A.; DUKES, J. S. Plant invasion across space and time: factors affecting nonindigenous species success during four stages of invasion. **New Phytologist**, 176, n. 2, p. 256-273, 2007.

WENG, Q.; WEI, Y. D. Land use and land cover changes in China under reform and globalization. **Asian Geographer**, 22, n. 1-2, p. 1-3, 2003.

WILSON, M.; SABATTINI, R. Sustentabilidad de los agroecosistemas de montes en Entre Ríos: revisión crítica y modelo conceptual. **Revista Facultad de Agronomía**, 21, n. 2, p. 117-128, 2001.

WOODCOCK, C. E.; ALLEN, R.; ANDERSON, M.; BELWARD, A. *et al.* Free Access to Landsat Imagery. **Science**, 320, n. 5879, p. 1011-1011, 2008.



# CAPÍTULO 11

## MANEJO AGROECOLÓGICO DO SOLO: ANÁLISE E CONSERVAÇÃO DE SOLOS NO MODELO AGROFLORESTAL

Data de submissão: 03/02/2021

Data de aceite: 26/02/2021

### **William Ortega Gonçalves**

Universidade Estadual do Norte do Paraná  
Bandeirantes - PR  
<http://lattes.cnpq.br/8335087724293573>

### **Diego Resende Rodrigues**

Universidade Estadual do Norte do Paraná  
Bandeirantes - PR  
<http://lattes.cnpq.br/9381400899886153>

### **Marcus Vinicius da Silva Rodrigues**

Universidade Estadual do Norte do Paraná  
Bandeirantes - PR  
<http://lattes.cnpq.br/1034886569235480>

### **Igor Graciano**

Universidade Estadual do Norte do Paraná  
Bandeirantes - PR  
<http://lattes.cnpq.br/6191731340354425>

### **Erika Cosendey Toledo de Mello Peixoto**

Universidade Estadual do Norte do Paraná  
Bandeirantes - PR  
<http://lattes.cnpq.br/0963818563395019>

**RESUMO:** Sistemas Agroflorestais (SAF) são caracterizados pela produção integrada de culturas agrícolas e florestais, mas que

podem da mesma forma, ser associados à produção animal. A consorciação de espécies vegetais compatíveis, propicia o equilíbrio dos sistemas de produção, uma vez que a diversificação de vegetais favorece a utilização radicular dos solos pela diferença de profundidade das raízes, além da regulação equilibrada de “pragas” e doenças. SAFs propiciam regeneração da fauna e matriz florestal determinando benefícios também no seu entorno. O objetivo deste trabalho foi restaurar a área de proteção permanente de uma nascente, aplicando manejo agroflorestal. Foram realizadas análises químicas e físicas do solo, tornando possível planejar os modelos de manejo e plantio. Posteriormente, foi realizada capina seletiva, poda e adubação verde em cinco canteiros. O plantio foi realizado utilizando espécies de interesse alimentício, como mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), bananeiras (*Musa paradisiaca* L.), plantas arbóreas e frutíferas, como aroeiras pimenteiras (*Schinus terebinthifoli* Raddi) e cedros (*Cedrela fissilis* Vell). O plantio melhorou a qualidade do solo, observando-se aumento dos teores de fósforo, cálcio e magnésio. As análises de solo foram essenciais para o monitoramento e correções necessárias, proporcionando a determinação das estratégias para preservação associada

à produção biodiversificada de alimentos. Adição de espécies nativas influenciou positivamente a biodiversidade e qualidade do solo. Adicionalmente, a longo prazo poderá favorecer a economia e sustentabilidade da propriedade rural. Dessa forma, e a partir dos resultados do presente estudo, foi possível concluir que a adequação do manejo às necessidades físico-químicas de um solo, propiciou a elaboração de consórcios de plantas relacionadas as demandas do mesmo. A melhoria da qualidade do solo, por meio de podas, gerando matéria orgânica diversificada, promoveu a diversificação da fauna, de maneira que a interação solo-microvida-mesovida-plant-clima, favoreceu o aumento de micro e macro nutrientes essenciais, aumentando a fertilidade e produtividade do solo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Agroecologia. Agrofloresta. Área de Proteção Permanente. Restauração Florestal.

## AGRICULTURAL SOIL MANAGEMENT: ANALYSIS AND SOILS CONSERVATION USING AGROFORESTRY MODEL

**ABSTRACT:** Agroforestry Systems (SAFs) are characterized by the integrated production of agricultural and forestry crops which can be associated with animal production. The intercropping of compatible plant species, provides the balance of production systems, since the diversification of plants favors the root use of soils due to the difference in depth of penetration of the roots, regulating pests and diseases. Thus, SAFs provide fauna and forest matrix regeneration, bringing benefits in their surroundings as well. The objective of this work was to restore a Permanent Protection Area of a spring water, through agroforestry management. Chemical and physical analyzes of the soil were realized, so that management and planting models could be planned. Subsequently, selective weeding, pruning and green manure were carried out in five flower beds. Seedlings of plants of food interest, such as manioc (*Manihot esculenta* Crantz) and banana (*Musa paradisiaca* L.), and fruit trees, such as peppermint (*Schinus terebinthifoli* Raddi) and cedars (*Cedrela fissilis* Vell) were planted. Planting improved soil quality demonstrated by the increase in phosphorus, calcium and magnesium. Soil analyzes were essential for the monitoring and necessary corrections, providing the determination of strategies for preservation associated with biodiversification production of food. The addition of native species influenced positively the biodiversity and soil quality. In addition, in a long-term, it may favor the economy and sustainability of rural property. Thus, and from the results of the present study, it was possible to conclude that the adequacy of the management to the physicochemical needs of a soil, propitiates the elaboration of plant consortia related to the demands of the whole SAF. The increase in soil quality, through pruning, generating diversified organic matter, promoted the diversification of fauna, so that the interaction between soil/micro-life/meso-life/climate-plant, favoring the increase of essential micro and macro nutrients and increasing soil fertility and productivity.

**KEYWORDS:** Agroecology. Agroforestry. Permanent Protection Area. Forest Restoration.

## 1 INTRODUÇÃO

A agricultura, não só brasileira como mundial, apresenta cada vez mais a necessidade de desenvolver modelos sustentáveis, que resgatem a complexidade e a biodiversidade específica de cada sistema (TONINI *et al.*, 2009).

Conforme Lei Federal nº12.651/12, que dispõe sobre o Código Florestal, as áreas de proteção permanentes (APPs), assim como áreas de nascentes, devem ser preservadas (BRASIL, 2012). Nascentes, popularmente conhecidas como olho d'água, correspondem aos afloramentos naturais do lençol freático que dá início a um curso d'água. Podem apresentar perenidade ou intermitência, algumas nascentes apresentam fluxo contínuo, embora seja possível ocorrer menor vazão em estações de seca. Outras, apresentam fluxo sazonal, não havendo disponibilidade de água na estação seca. Entretanto, a perenidade e a vazão das nascentes dependem da forma como os solos e florestas são manejados. Os sistemas radiculares das plantas penetram no solo, formam canais subterrâneos, que possibilitam infiltração, absorção e armazenamento de água nos aquíferos. Consequentemente, o escoamento direto das águas na superfície é minimizado (SEIDEL *et al.*, 2016).

Adicionalmente, as matas ciliares representam importante barreira vegetal, para evitar o e assoreamento dos cursos d'água. Porém, no caso de ser necessária a restauração da vegetação na APP, é fundamental considerar as espécies vegetais a serem implantadas, sendo importante equilibrar o meio ambiente com espécies nativas da região, caso contrário, a implantação de espécies exóticas pode determinar desequilíbrio do meio ambiente (SEIDEL *et al.*, 2016).

Os sistemas agroflorestais (SAFs) são formas de uso sustentável da terra, cujas espécies agrícolas e florestais são manejadas em associação, considerando seus processos naturais e em plena conformidade com o ecossistema onde estão inseridos (ABDO *et al.*, 2008). Nestes sistemas, busca-se preservar a qualidade do solo, água, e ar, de modo à sustentar o ecossistema, a produtividade biológica e agrícola, além da diversidade de fauna e flora (PEZARICO *et al.*, 2013).

O objetivo deste trabalho foi restaurar APP nas nascentes do *Campus* de Bandeirantes da UENP – PR, utilizando manejo agroflorestal. Adicionalmente, objetivou-se divulgar entre a comunidade acadêmica, produtores rurais, e comunidade local, a importância da preservação ambiental e a produção de alimentos de modo agroecológico, sustentável, e livre de contaminantes como pesticidas sintéticos.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado em uma APP que se encontra na Universidade Estadual do Norte do Paraná - *Campus* Luiz Meneghel localizado em Bandeirantes, nas coordenadas 23°07'06.2"S 50°21'37.4"W.

O clima da região caracteriza-se como Cfa, segundo a classificação de Köppen (ALVARES *et al.*, 2013), com precipitação média entre 1200 a 1400 mm, distribuída irregularmente durante o ano (CAVIGLIONE *et al.*, 2000). As unidades de solo predominantes são Latossolo Vermelho Eutroférico e Nitossolo Vermelho Eutroférico, com inclusões de Chernossolos e Gleissolos, considerados como solos de alta fertilidade (EMBRAPA 2006).

Esta nascente se encontrava completamente desprotegida e degradada pela ação erosiva e presença de árvores e gramíneas exóticas invasoras estando em estágio inicial de regeneração, segundo normas estabelecidas pela Resolução CONAMA n° 1, data de 31 de janeiro de 1994 (BRASIL, 1994).

### 2.1 COLETA DE SOLOS

A coleta de solo foi procedida em dois anos subsequentes, sendo a primeira coleta realizada no mês de agosto a setembro de 2017 (antes do início do manejo agroflorestal), e a segunda coleta em junho de 2018 (10 meses de manejo).

Cada coleta foi constituída de 5 (cinco) amostras compostas, formadas a partir da união de 5 (cinco) amostras simples, coletadas aleatoriamente na profundidade de 0-10 centímetros pela ferramenta trato de rosca holandês.

### 2.2 CORREÇÃO DE SOLOS / ANÁLISE DE SOLOS

As análises químicas foram realizadas no laboratório de solos da UENP – *Campus* Luiz Meneghel em outubro de 2017 e agosto de 2018, conforme trabalho de SILVA *et al.* (2011). Foram determinadas a quantidade de fósforo, potássio, pH, cálcio, magnésio, matéria orgânica e alumínio.

### 2.3 MANEJO AGROFLORESTAL

No decorrer deste trabalho, foram realizados diversos mutirões com a participação dos estudantes integrantes do grupo de estudo em agroecologia Kaa'pora (GEAK). Foram promovidas as discussões dos modelos de manejo e plantio, e a partir daí, foram estabelecidas estratégias de ação. Os mutirões foram executados com a participação de 20 acadêmicos das áreas: Ciência biológicas, Agronomia e Medicina Veterinária, dois produtores familiares e um residente da comunidade de Bandeirantes.

Os trabalhos foram realizados em 5 canteiros de 30 metros cada, preparados por meio de capina seletiva, poda e adubação verde. Foi realizado plantio de mudas de interesse alimentício como: mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), bananeiras (*Musa paradisiaca* L.), açafrão (*Curcuma longa* L.), gengibre (*Zingiber officinale* Roscoe), maracujá azedo (*Passiflora edulis* Sims), milho asteca roxo (*Zea mays* L.), abóbora (*Cucurbita pepo* L.).

Também foram introduzidas espécies para a restauração da flora, como plantas arbóreas e frutíferas: 10 aroeiras pimenteiras (*Schinus terebinthifoli* Raddi), 3 cedros (*Cedrela fissilis* Vell), 2 araucárias (*Araucária angustifolia* Bertol), 15 guapuruvus (*Schizolobium parahyba* Var), 20 cebolões (*Phytolacca dioica* L.), 3 uvaíes (*Eugenia pyriformis* Cambess), 7 pitangueiras (*Eugenia uniflora* L.), 5 jerivás (*Syagrus romanzoffiana* Cham), 10 pau-d'alho (*Gallesia integrifolia* Spreng), 20 Tucaneiras (*Citharexylum myrianthum* Cham), 20 Tarumãs (*Vitex megapotamica* Spreng), 5 Sangra-d'água (*Croton urucurana* Baill), 4 cafeeiros (*Coffea arabica* L.), 8 goiabeiras (*Psidium guajava* L.), 10 mamoeiros (*Carica papaya* L.), 3 paineiras-rosa (*Ceiba speciosa* A.St.-Hil) e 5 angicos (*Anadenanthera macrocarpa* Benth) totalizando 150 mudas, adubados com a própria biomassa das gramíneas e das podas das árvores invasoras.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Em relação às análises química o solo, nos momentos antes e após a implantação do manejo agroecológico, os resultados encontram-se nas Tabela 1 e 2 respectivamente.

Tabela 1. Resultado da análise de solos da nascente antes do início do manejo agroflorestal. Dados das análises químicas de M.O – matéria orgânica; pH – potencial hidrogeniônico; P – fósforo; K – potássio; Ca – cálcio; Mg – magnésio; Al – alumínio; H+Al – hidrogênio mais alumínio; SB – soma de bases; CTC – capacidade de troca de cátions; % de saturação – saturação de bases e ácidos; g Kg – grama por quilograma; CaCl<sub>2</sub> – cloreto de cálcio; mg dm<sup>3</sup> – miligramas por decímetro cúbico; cmol dm<sup>3</sup> – centímol por decímetro cúbico; (V%) – saturação de bases, colhidos anterior ao manejo.

| 2017    | M.O   | pH                | P                  | K                               | Ca   | Mg   | Al   | H+Al | SB   | CTC  | % de Saturação..... |       |       |      | Base s |
|---------|-------|-------------------|--------------------|---------------------------------|------|------|------|------|------|------|---------------------|-------|-------|------|--------|
| Amostra | g kg  | CaCl <sub>2</sub> | mg dm <sup>3</sup> | .....cmol dm <sup>3</sup> ..... |      |      |      |      |      |      | Al                  | Ca    | Mg    | K    | (V%)   |
| 1       | 36.26 | 5.30              | 1.64               | 0.24                            | 2.10 | 1.50 | 0.00 | 3.19 | 3.84 | 7.03 | 0.00                | 29.87 | 21.33 | 3.41 | 54.60  |
| 2       | 33.57 | 5.20              | 3.08               | 0.27                            | 3.70 | 0.60 | 0.00 | 3.52 | 4.57 | 8.09 | 0.00                | 45.71 | 7.41  | 3.34 | 56.50  |
| 3       | 30.89 | 5.30              | 1.88               | 0.40                            | 3.20 | 2.70 | 0.00 | 2.89 | 6.30 | 9.19 | 0.00                | 34.82 | 29.38 | 4.35 | 68.60  |
| 4       | 30.89 | 5.20              | 2.11               | 0.18                            | 2.40 | 0.90 | 0.00 | 3.52 | 3.48 | 7.00 | 0.00                | 34.27 | 12.85 | 2.57 | 49.70  |
| 5       | 33.57 | 5.10              | 1.64               | 0.13                            | 3.40 | 1.80 | 0.00 | 3.89 | 5.33 | 9.22 | 0.00                | 36.87 | 19.52 | 1.41 | 57.80  |
| Média   | 33.04 | 5.22              | 2.07               | 0.24                            | 2.96 | 1.50 | 0.00 | 3.40 | 4.70 | 8.11 | 0.00                | 36.31 | 18.10 | 3.02 | 57.42  |

O teor médio de matéria orgânica (MO) correspondeu a 33,04 g Kg<sup>-1</sup>, índice considerado normal para as condições tropicais, de alta atividade microbiana e ciclagem de nutrientes (MALAVOLTA 1980). Essa primeira coleta foi realizada no final do período de seca, que determina menor atividade microbiana e aumentato da serrapilheira, consequência da queda de galhos e folhas de espécies caducifólias da mata atlântica.

Os índices médios de saturação por bases de 57,4% e o pH de 5,2 são considerados baixos e característicos de solos fortemente intemperizados, como os Latossolos em geral (PORTUGAL *et al.*, 2008). O fósforo foi considerado em nível crítico, abaixo de 3 mg dm<sup>-3</sup>, solos que possuem altas concentrações de óxido de Fe possuem menor disponibilidade de P, como é caracterizado o Latossolo Vermelho eutroférrico do presente estudo (REIS *et al.*, 2014).

Tabela 2. Resultado da análise de solos da nascente após dez meses de implantação do manejo agroflorestal. Dados das análises químicas de M.O – matéria orgânica; pH – potencial hidrogeniônico; P – fósforo; K – potássio; Ca – cálcio; Mg – magnésio; Al – alumínio; H+Al – hidrogênio mais alumínio; SB – soma de bases; CTC – capacidade de troca de cátions; % de saturação – saturação de bases e ácidos; g Kg – grama por quilograma; CaCl<sub>2</sub> – cloreto de cálcio; mg dm<sup>-3</sup> – miligramas por decímetro cúbico; cmol dm<sup>-3</sup> – centímol por decímetro cúbico; (V%) – saturação de bases, colhidos após o manejo.

| 2018    | M.O   | pH                | P                  | K                               | Ca   | Mg   | Al   | H+Al | SB    | CTC   | % de Saturação..... |       |       |      | Base<br>s |
|---------|-------|-------------------|--------------------|---------------------------------|------|------|------|------|-------|-------|---------------------|-------|-------|------|-----------|
| Amostra | g kg  | CaCl <sub>2</sub> | mg dm <sup>3</sup> | .....cmol dm <sup>3</sup> ..... |      |      |      | Al   | Ca    | Mg    | K                   | (V%)  |       |      |           |
| 1       | 28.20 | 5.20              | 2.40               | 0.32                            | 6.40 | 3.20 | 0.00 | 4.46 | 9.90  | 14.40 | 0.00                | 44.50 | 22.30 | 2.20 | 69.00     |
| 2       | 36.20 | 5.70              | 3.60               | 0.34                            | 7.50 | 3.30 | 0.00 | 3.73 | 11.10 | 14.90 | 0.00                | 50.40 | 22.20 | 2.30 | 74.90     |
| 3       | 26.80 | 5.20              | 1.00               | 0.09                            | 6.00 | 2.60 | 0.00 | 4.63 | 8.70  | 13.30 | 0.00                | 45.10 | 19.50 | 0.70 | 65.30     |
| 4       | 29.50 | 5.50              | 0.50               | 0.10                            | 8.20 | 1.60 | 0.00 | 4.20 | 9.90  | 14.10 | 0.00                | 58.20 | 11.30 | 0.70 | 70.20     |
| 5       | 28.20 | 5.40              | 30.20              | 0.12                            | 5.60 | 3.10 | 0.00 | 4.08 | 8.80  | 12.90 | 0.00                | 43.40 | 24.00 | 0.90 | 68.40     |
| Média   | 29.78 | 5.40              | 7.54               | 0.19                            | 6.74 | 2.76 | 0.00 | 4.22 | 9.68  | 13.92 | 0.00                | 48.32 | 19.86 | 1.36 | 69.56     |

O teor de MO do solo apresentou leve queda de 33,4 para 28,7 g KG<sup>-1</sup>. Uma hipótese que justificaria essa baixa está relacionada com a época de amostragem, sendo a primeira realizada no mês de agosto que corresponde ao final da estação seca, onde a falta de água e temperaturas mais amenas determinam menor atividade microbiana. A segunda amostragem, realizada no mês de junho, pouco tempo após o período de maior atividade microbiana, determina a queda da MO em consequência de sua decomposição.

Com relação ao elemento Ca, constituinte da parede celular dos vegetais, houve um aumento. Provavelmente está relacionado à decomposição da matéria orgânica do solo. O K, elemento de grande mobilidade no solo, apresentou leve queda de 0,24 para 0,19 cmolc dm<sup>-3</sup>. Talvez em consequência da importação pelas espécies instaladas e possível lixiviação após o período das chuvas.

O fósforo, elemento bastante fixo no solo, se manteve nas mesmas concentrações com exceção da amostra de número 5, que naquele ponto amostral apresentou alta concentração de P, que não condiz com a realidade daquele solo. Os manejos que contribuem para o aumento da MO são de relevante importância para aumentar a disponibilidade de P, uma vez que a presença de MO diminui a fixação de P (BRADY e WEIL, 2013).

De acordo com estudos de IWATA *et al.* (2012), sistemas agroflorestais tendem a melhorar os indicadores de qualidade como pH, saturação por bases, como apresentado nas tabelas 1 e 2.

Já as espécies arbóreas nativas, que apresentaram maior desenvolvimento junto com exóticas de adubação, como as bananeiras (*Musa sp*), e as nativas leguminosas como feijão guandu (*Cajanus cajan*) foram: guapuruvu (*Schizolobium parahyba*), aroeira pimenteira (*Schinus terebinthifoli*), cebolão (*Phytolacca dioica*), pitanga (*Eugenia uniflora*) e pau-d'alho (*Gallesia integrifolia*). Isso demonstrou que os benefícios das espécies de adubação para as arbóreas é essencial para o maior crescimento e desenvolvimento (SOUZA *et al.*, 2013).

Os benefícios dos sistemas agroflorestais em nascente, desempenhou estímulos de conservação destes locais, devido a promoção de recursos econômicos, já que nessas áreas há necessidade da interação humana para se alcançar o sucesso da conservação (MARTINS e RANIERI, 2014). Complementarmente, da mesma forma, as espécies de interesse alimentar são eficazes no manejo agroflorestal, e ainda apresentam adicional vantagem de proporcionar renda e segurança alimentar ao produtor graças ao consórcio agrícola (RODRIGUES *et al.*, 2007).

#### 4 CONCLUSÕES

A adoção do manejo agroflorestal influenciou à qualidade do solo, aumentando a saturação de bases e o pH, e com isso as análises de solo foram importantes para o monitoramento da qualidade do solo, além de proporcionar aos acadêmicos envolvidos, prática na determinação e execução das estratégias necessárias para preservação ambiental associada à produção biodiversificada de alimentos. Dessa forma, os resultados apresentados nos permitem concluir que o acréscimo de culturas nativas de interesse econômico e florestal influenciaram positivamente tanto na qualidade do solo, como na biodiversidade florestal, podendo favorecer consequentemente a economia e sustentabilidade da propriedade rural.

#### 5 AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Grupo de Estudo em Agroecologia Kaa'póra, e ao Núcleo de Estudo em Agroecologia Sustentabilidade e Produção Orgânica, pelo apoio e auxílio nos trabalhos realizados, à direção da UENP – CLM pela ajuda nos materiais de trabalho, e à Fundação Araucária pelas bolsas de PIBEX.

#### REFERÊNCIAS

ABDO, M. T. V. N.; VALERI, S. V.; MARTINS, A. L. M. Sistemas agroflorestais e agricultura familiar: uma parceria interessante. **Revista tecnologia & inovação agropecuária**, v. 1, p. 50-59, 2008.



- ALVARES, C.A; STAPE, J.L; SENTELHAS, P.C; MORAES, G; GONÇALVES, J.L.M; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorol Zeitschrift** 22: 711-728, 2013.
- BRADY, N.C; WEIL, R.R. Nutrient cycling and soil fertility, in: Elements of Nature and Soil Properties. Porto Alegre: **Bookman**, p. 437-499, 2013.
- BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília - DF, 28 de mai. de 2012. p.1. [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm)
- Brasil. Resolução CONAMA nº. 1, "Define vegetação primária e secundária nos estágios pioneiro, inicial, médio e avançado de regeneração da Mata Atlântica, a fim de orientar os procedimentos de licenciamento de exploração da vegetação nativa em São Paulo" 31 de Janeiro de 1994. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF (1994 fev. 3); Sec. 1:1684-85. <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=142>. 15 abr. 2019.
- CAVIGLIONE, J.H; KIIHL, L.R.B; CARAMORI, P.H; OLIVEIRA, D. Cartas climáticas do Estado do Paraná. **IAPAR**, Londrina. <http://www.iapar.br/> 2000.
- EMBRAPA. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, 3a ed. **Embrapa Solos**, Rio de Janeiro, 2006.
- IWATA, B. F; LEITE, L. F. C; ARAÚJO, A. S. F; NUNES, L. A. P. L; GEHRING, C; CAMPOS, L. P. Sistemas agroflorestais e seus efeitos sobre os atributos químicos em Argissolo Vermelho-Amarelo do Cerrado piauiense. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande, Paraíba, v. 16, n. 7, p. 730-738, 2012.
- MALAVOLTA, E. Elementos de nutrição mineral de plantas. São Paulo: **Ceres**. 251 p. Portuguese, 1980.
- MARTINS, T.P; RANIERI, V.E.L. Sistemas agroflorestais como alternativa para as reservas legais. **Ambiente & sociedade**. São Paulo, v. 17, n. 3, 2014.
- PEZARICO, C. R; VITORINO, A. C. T; MERCANTE, F. M; DANIEL, O. Indicadores de qualidade de solo em sistemas agroflorestais. **Revista de ciências agrárias**, v. 56, n. 1, p. 40-47, 2013.
- PORTUGAL, A.F; COSTA, O.D.V; COSTA, L.M.E; SANTOS, B.C.M. Atributos químicos e físicos de um Cambissolo Háplico Tb distrófico sob diferentes usos na Zona da Mata Mineira. **R Bras Ci Solo**.32(1): 249-258. Portuguese, 2008.
- REIS, I.M.S; DE MELO, W.J; JÚNIOR, J.M; FERRAUDO, A.S; DE MELO, G.M.P. Adsorção de cádmio em latossolos sob vegetação de mata nativa e cultivados. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 38:1960-1969, 2014.
- RODRIGUES, E. R; JUNIOR, L. C; BELTRAME, T. P; MOSCOGLIATO, A. V; SILVA, I. C. Avaliação econômica de sistemas agroflorestais implantados para recuperação de reserva legal no Pontal do Paranapanema, São Paulo. **Revista Árvore**, Viçosa, Minas Gerais, v. 31, n. 5, p. 941-948, 2007.
- SEIDEL, E. P; MELLO, E. C. T; ZAMBOM, M. A. Sustentabilidade agropecuária em sistemas agroecológicos e orgânicos de produção. Marechal Cândido Rondon – PR, **UNIOESTE**, 2016.
- SILVA, D. C; SILVA, M. L. N; CURTI, N; OLIVEIRA, A. H; SOUZA, F. S; MARTINS, S. G; MACEDO, R. L. G. Atributos do solo em sistemas agroflorestais, cultivo convencional e floresta nativa. **Revista de estudos ambientais**, v. 13, n. 1, p. 77-86, 2011.

SOUZA, S; CRISTINA, M; PIÑA-RODRIGUES, M; CONCEIÇÃO, F. Desenvolvimento de espécies arbóreas em sistemas agroflorestais para recuperação de áreas degradadas na floresta ombrófila densa, Paraty, RJ. **Revista Árvore**, Viçosa, Minas Gerais, v. 37, n. 1, p. 89-98, 2013.

TONINI, F; GRIGOLO, S.C; FABRO, J.R. Análises de Resultados do Projeto Agroflorestal na Recuperação e Manutenção dos Recursos Naturais para a Região Sudoeste do Paraná. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, n. 2, p. 3411-3414, 2009.

# CAPÍTULO 12

## DIAGNÓSTICO DE LA COMPLEJIDAD DE UN SISTEMA AGROSILVOPASTORIL EN TRANSICIÓN HACIA LA SOSTENIBILIDAD Y RESILIENCIA

Data de submissão: 26/01/2021

Data de aceite: 24/02/2021

### Eduardo Blanco Contreras

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro  
Biólogo Maestro en Ciencias  
Torreón, Coahuila, México

### Alma Yasmin Moreno Esquivel

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro  
Ingeniero en Agroecología  
Torreón, Coahuila, México

### Emilio Duarte Ayala

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro  
Master in Science  
Torreón, Coahuila, México

### Gerardo Zapata Sifuentes

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro  
Maestro en Ciencias  
Torreón, Coahuila, México

### Agustín Cabral Martell

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro  
Doctor en Ciencias  
Torreón, Coahuila, México

**RESUMEN:** El abordaje integral de los agroecosistemas es un interesante tema de síntesis, describir el agroecosistema Huerta de Mezquite desde la complejidad,

estableciendo su productividad, sostenibilidad y resiliencia, permite consolidar una metodología para diagnosticar dicha complejidad. En un sistema agrosilvopastoril, cuyos subsistemas metodológicamente plantearon 40 indicadores divididos en: 12 sobre las formas biológicas del subsistema biótico, 14 referidos al clima, agua y suelo del subsistema abiótico y 14 del subsistema socio-económico, que incluyen visión, conocimiento y transformaciones realizadas. Los resultados permitieron determinar el Coeficiente de Manejo de los Subsistemas, clasificar el sistema agrosilvopastoril respecto a la producción alcanzada y a la aplicación del diagnóstico de la complejidad. En conclusión, se obtuvo un Coeficiente de complejidad de 2.75, clasificándose los diseños y manejos como: complejos apreciados localmente y en transición sobre bases agroecológicas.

**PALABRAS CLAVE:** Huerta. Mezquite. Modelo. Aridez. Sustentable.

### DIAGNOSIS OF THE COMPLEXITY OF AN AGROFORESTRY-PASTORAL SYSTEM IN TRANSITION TO SUSTAINABILITY AND RESILIENCE

**ABSTRACT:** The integral approach of agroecosystems is an interesting subject

of synthesis, describing the Huerta de Mezquite agroecosystem from the complexity, establishing its productivity, sustainability and resilience, allows consolidating a methodology to diagnose such complexity. In an agrosilvopastoral system, whose subsystems methodologically raised 40 indicators divided into: 12 on the biological forms of the biotic subsystem, 14 referred to climate, water and soil of the abiotic subsystem and 14 of the socio-economic subsystem, which include vision, knowledge and transformations carried out. The results made it possible to determine the Subsystem Management Coefficient, classify the agrosilvopastoral system with respect to the production achieved and the application of the complexity diagnosis. In conclusion, a complexity coefficient of 2.75 was obtained, classifying the designs and management as: locally appreciated complexes and in transition on agroecological bases.

**KEYWORDS:** Orchard. Mesquite. Model. Aridity. Sustainable.

## 1 INTRODUCCIÓN

El problema de la crisis alimentaria global involucra varias escalas y se despliega en múltiples direcciones, investigadores, políticos y ONG´s enfrentan el reto de la provisión de alimentos para la población urbana, combatir problemas de salud pública, reducir las importaciones de alimentos y el éxodo rural, entre otros conflictos apremiantes. Proponen continuar con el diálogo entre la producción global para una alimentación justa de la creciente población y las formas sustentables de producir. (Sandersen e Ioris, 2017).

Así, desde el punto de vista productivo, resulta pertinente analizar opciones de producción en los territorios, que contribuyan a formular planes sobre el abordaje integral de los recursos naturales existentes, y las mezquiteras representan una oportunidad inigualable para demostrar que estos ecosistemas, cuando son manejados con fundamentos técnicos sólidos, pueden constituir opciones productivas sustentables, con repercusiones económicas y sociales positivas para los poseedores del recurso. (Villanueva, Jasso, Cornejo y Potisek, 2004).

En este contexto, analizar la actividad agrosilvopastoril constituye un enfoque efectivo, necesario y actual en la investigación para el desarrollo de agroecosistemas (Iglesias, Funes-Monzote, Toral, Simón y Milera, 2011). Los sistemas agrosilvopastoriles, apilan un conjunto de técnicas de uso de la tierra que implica la integración deliberada de un elemento leñoso (forestal o frutal) con ganadería, varios cultivos y/o diferentes recursos en el mismo terreno. La integración puede generarse dentro de la finca o dentro de un territorio extenso (Nair, 1985; Pardini, 2007).

Por otra parte, las zonas áridas, requieren de la reflexión humana continua, si pretendemos detener el avance de la frontera árida, así como también, una mirada integral a los recursos y a su manejo holístico, comprendiendo el todo y no solo lo económico. Esto

es lo que ha hecho el Sr. Sóstenes Rosales Ramos, productor campesino, recapacitar sobre su actividad en el territorio y a partir de un mezquital secundario, debido al abandono de la agricultura por falta de agua, en la frontera hidrológica del distrito de riego 017, propone un uso alternativo a los arbolillos de mezquite, organizándolos a manera de un “huerto” en el que además de la madera se aproveche su vaina para alimento y el néctar de sus flores para producir miel de abeja, así como los servicios ambientales que generan estas especies nativas del género *Prosopis* (Fabaceae). (Blanco, 2016).

Los mezquiales o bosques de *Prosopis*, se presentan en las zonas áridas como componentes de los matorrales xerófilos, llegando a existir formas transicionales de arbustos a árboles dependiendo de los niveles freáticos existentes. (Rzedowskii, 2006).

Para diagnosticar la complejidad de los diseños y manejos en los subsistemas biótico, abiótico y socioeconómico del sistema agrosilvopastoril, huerta de mezquite, se sugiere una metodología que considera varias dimensiones; las especies involucradas, la complejidad de sus arreglos espaciales, estructurales y temporales, así como la visión humana de conservar los recursos naturales mediante una planeación efectiva y con la realización, solo de las transformaciones necesarias, en la propiedad.

La recuperación de los mezquiales nativos, o transición agrícola local, mediante un sistema agrosilvopastoril, permite además de producir alimentos de calidad, construir un modelo agroecológico de productividad para las zonas áridas de Coahuila. Por lo que se propone analizar la “Huerta de Mezquite” como sistema complejo de productividad sostenible y resiliente, así como identificar y valorar de manera participativa, los indicadores relacionados a los subsistemas biótico, abiótico y sociocultural.

## 2 METODOLOGÍA

El estudio se realizó en la pequeña propiedad Los Whyles, de 16-00 has, en el municipio de San Pedro, Coahuila, México. Localizada en las coordenadas 25°40´58” de latitud Norte y 102°54´52” de longitud Oeste. Presentando pendientes menores al 2% y ubicada en la depresión denominada Laguna de Mayrán, con una altitud de 1,090 msnm. (INEGI, 2017).

El análisis del agroecosistema inició con la caracterización de los elementos existentes en el predio, tanto abióticos como boticos y socioeconómicos, Blanco y Sáenz, (2015). En seguida se definieron los indicadores, con base en (Vázquez, 2013), quien maneja un total de 64 aspectos de la biodiversidad, sus diseños y manejos. En este estudio solo se aplicaron 23 de ellos y se adicionaron 17 propios de elementos particulares al sistema, haciendo un total de 40 indicadores.

Al concluir el proceso de diagnóstico con esta metodología se determinó el coeficiente de manejo de los subsistemas (CMS), del sistema de producción. Para

determinar el CMS se promediaron los valores correspondientes de cada componente mediante la siguiente expresión (Vázquez, (2013):  $CMS = \frac{\Sigma(SB+SA+SE)}{3}$ . Con los valores de estos coeficientes y su significado, que se muestran en la Tabla 1; se pudo clasificar el nivel de complejidad agroecosistémica alcanzado por la unidad agrosilvopastoril.

Cuadro 1. Determinación del nivel de complejidad con base en Vázquez, (2013).

| CMS     | Grado de complejidad agroecosistémica |
|---------|---------------------------------------|
| 0.1-0.8 | Simplificado                          |
| 0.8-1.6 | Poco complejo                         |
| 1.7-2.4 | Medianamente complejo                 |
| 2.5-3.2 | Complejo                              |
| 3.3-4.0 | Altamente complejo                    |

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIONES

La caracterización permitió percibir y analizar los componentes, las interrelaciones y el funcionamiento, de la “Huerta de Mezquite”, determinando con esto la estructura de un sistema complejo de interacciones bióticas, abióticas y socioeconómicas. La ponderación de los indicadores en cada uno de los subsistemas se realizó mediante la escala de 1–4; obteniendo de esta manera los valores para determinar la complejidad mediante la aplicación de la fórmula de Vázquez, (2013).

Tabla 2. Valores ponderados del subsistema biótico.

| Indicadores Bióticos                                       | Ponderación |
|--|-------------|
| Autótrofos   |             |
| Manejo de ambientes seminaturales (B1)                     | 4           |
| Diversidad estructural de los ambientes seminaturales (B2) | 4           |
| Manejo de arboledas(B3)                                    | 4           |
| Diversidad estructural de las arboledas(B4)                | 4           |
| Incidencia de arvenses(B5)                                 | 2           |
| Diversidad de arvenses(B6)                                 | 4           |
| Fauna  |             |
| Diversidad de polinizadores(B7)                            | 4           |
| Diversidad de grupos de reguladores naturales(B8)          | 2           |
| Población de reguladores naturales(B9)                     | 2           |
| Diversidad de fauna(B10)                                   | 4           |
| Macrofauna del suelo                                       | 1           |
| Microorganismos  |             |
| Diversidad de microorganismos(B11)                         | 3           |
| Diversidades simbiotes(B12)                                | 2           |
| Promedio   | 3.07        |

Tabla 3. Valores ponderados del subsistema Abiótico.

| Indicadores Abióticos                            | Ponderación |
|--|-------------|
| Clima  |             |
| Temperatura media anual(A1)                      | 3           |
| Precipitación anual(A2)                          | 3           |
| Tipo de clima(A3)                                | 3           |
| Suelo  |             |
| Tipo de suelo(A4)                                | 3           |
| Humedad(A5)                                      | 3           |
| Pendiente (A6)                                   | 2           |
| Infiltración (A7)                                | 1           |
| Profundidad efectiva(A8)                         | 3           |
| Materia Orgánica (A9)                            | 2           |
| Agua   |             |
| Superficie bajo sistemas de riego(A11)           | 1           |
| Sistema de riego(A12)                            | 1           |
| Fuentes de abasto de agua para uso agrícola(A13) | 1           |
| Sistema de drenaje(A14)                          | 2           |
| Promedio   | 2.15        |

Tabla 4. Valores ponderados del subsistema socioeconómico.

| Indicadores socioeconómicos   | Ponderación |
|---|-------------|
| Visión  |             |
| El productor está integrado a organizaciones sociales (SE1)   | 3           |
| Conocimiento  |             |
| Actividades participativas, donde existe la oportunidad de aprender, intercambiar y sistematizar experiencias (SE2) | 3           |
| La frecuencia durante el año en que son ofertados (SE3)   | 2           |
| Practica o transformación   |             |
| Acceso a servicios técnicos: Forestales, Veterinarios, Agronomía (SE4)  | 4           |
| Vínculos efectivos con Centros de Investigación, Universidades (SE5)  | 3           |
| Tipos de rubros productivos (SE6)   | 4           |
| Superficie con diseños agroforestales (SE7)   | 4           |
| Complejidad de diseños agroforestales (SE8)   | 2           |
| Diversidad de animales en sistemas de crianza (SE9)   | 2           |
| Superficie con diseños silvopastoriles (SE10)   | 3           |
| Complejidad vegetal de diseños silvopastoriles (SE11)   | 3           |
| Complejidad de sistema con diseño mixto (SE12)  | 4           |
| La diversidad de productos que se obtiene (SE13)  | 2           |
| Volumen total de producción obtenida (SE14)   | 2           |
| Promedio  | 2.92        |



Con respecto a la sostenibilidad, el subsistema biótico alcanzó el mayor valor de los tres subsistemas evaluados, con 3.07, ya que de sus 12 indicadores 7 cumplieron con valores óptimos, el abiótico obtuvo un valor de 2.15 y solo 6 de los 14 indicadores fueron considerados adecuados pero no óptimos, finalmente, lo socioeconómico alcanzo 2.92, de 14 indicadores, 4 obtuvieron valores óptimos, 5 fueron considerados adecuados, se colocan por encima de los abióticos, que se consideran con problemas de sostenibilidad. De acuerdo con Vázquez (2013), los principios agroecológicos ponderan la multifuncionalidad de la biodiversidad, lo que es evidente en este trabajo.

Por otra parte, el sistema natural fue alterado por la agricultura intensiva y ante el abandono de tierras por falta de agua, la cubierta natural secundaria realiza una sucesión ecológica (terreno enmontado), que el productor está transformando en una transición agroecológica hacia un sistema con mayor estabilidad ambiental y social.

Como resultado del diagnóstico realizado, la pequeña propiedad se obtuvo un Coeficiente de Manejo de Subsistemas  $CMS = \sum (3.07 + 2.15 + 2.92) / 3$ , de 2.71; clasificando el sistema agrosilvopastoril como complejo, a diferencia de Vázquez (2013), quienes al comparar dos fincas las clasifican como medianamente compleja y simplificada respectivamente, debido a los diseños y manejos de la biodiversidad. Lo que también puede deberse al tipo de agroecosistema, ya que el manejo agrosilvopastoril está próximo al ecosistema original.

## 4 CONCLUSIONES

Para analizar la complejidad agroecosistémica en cualquier sistema productivo, se debe comprender el sistema como una identidad total y no simplificada. La huerta de mezquite al tratarse de una unidad agrosilvopastoril integra varios elementos productivos de la biodiversidad, confiriendo mayor complejidad a la estructura biótica que resuelve las condiciones de aridez con lo nativo y permite sostener lo pecuario exótico.

Esto puede extrapolarse a la mayoría de los mezquiales del país y del mundo, al menos con la experiencia del manejo de la dimensión apícola. (Barros, 2010).

La decisión y visión de conservación del mezquital por el productor, incide en mejorar las prácticas de aprovechamiento y la organización de un modelo productivo en construcción social. Esto se evidencia a través de los indicadores evaluados, que pueden estar mejor equilibrados al agruparlos en los subsistemas, abiótico, biótico y socioeconómico del agroecosistema en cuestión, pero ello requiere mayores estudios para soportar el proceso metodológico.

Finalmente, la resiliencia o capacidad de un ecosistema, o sistema productivo, para regresar a su estado original luego de una perturbación, se fundamenta en la

adaptación de los elementos bióticos ante los factores abióticos, como los factores climáticos, (Fernández, López y Altesor, 2017). Por lo que las especies nativas representan una radiación adaptativa de largo plazo para soportar las exigencias de productos que demanda la población humana y la huerta de mezquite multipropósito, como hemos observado en este estudio, irradia aspectos de adaptación y productividad en el ambiente limitante de las zonas áridas; colocándola en un alto nivel de resiliencia.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Barros, S. 2010. El género *Prosopis*, valioso recurso forestal de las zonas áridas y semiáridas de América, Asia y África. *Ciencias e Investigación Forestal*, Vol. 16, No.1. p 124.

Blanco C. E. y M. L. Sáenz (2015). Ingeniero en Agroecología; Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Coahuila, México. V Congreso Latinoamericano de Agroecología-SOCLA, La Plata, Argentina.

Blanco C. E., 2016. Modelo agroecológico para la producción integral sostenible del complejo mezquite, en el desierto lagunero. Primer Simposium Internacional “Recursos Naturales Renovables en las Zonas Áridas de América. 26–28 de oct., 2016. UAAAN. Saltillo, México.

Fernández G., L. López M. y A. Altesor, 2017. Servicios ecosistémicos y resiliencia del pastizal natural. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/313792050>. P. 136.

Iglesias, J., F. Funes-Monzote, O. C. Toral, L. Simón y M. Milera 2011. “Diseños agrosilvopastoriles en el contexto de desarrollo de una ganadería sustentable. Apuntes para el conocimiento.” *Pastos y Forrajes* 34: 241-257.

INEGI. 2017. Continuo de Elevaciones Mexicano 3.0. Disponible en: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/datosrelieve/continuoelevaciones.aspx>

Nair, P. R. 1985. Classification of agroforestry systems. *Agroforestry systems* 3: 97-128.

Pardini, A. 2007. Perspectiva sobre la valorización de los sistemas agrosilvopastoriles en la cuenca del Mediterráneo. *Pastos y Forrajes* 30: 1-1.

Rzedowski, J., 2006. Vegetación de México. 1ra. Edición digital, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. P. 223.

Sanderson, B. A. y A. R. Ioris. 2017. Addressing the Knowledge Gaps in Agroecology and Identifying Guiding Principles for Transforming Conventional Agri-Food Systems. *Sustainability*, 9. P. 330.

Vázquez, L. L. 2013. “Diagnóstico de la complejidad de los diseños y manejos de la biodiversidad en sistemas de producción agropecuaria en transición hacia la sostenibilidad y la resiliencia.” *Agroecología* 8: 33-42.

Villanueva D., R. Jasso, H. Cornejo y C. Potisek 2004. “El Mezquite en la Comarca Lagunera: su dinámica, volumen maderable y tasas de crecimiento anual”. Facultad de Agricultura y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango. Durango, México.” *Agrofaz* 4: 633-648.

## CAPÍTULO 13

### ¿QUÉ ENSEÑAN LAS REDES ALIMENTARIAS ALTERNATIVAS A LAS POLÍTICAS PÚBLICAS?<sup>1</sup>

Data de submissão: 05/02/2021

Data de aceite: 24/02/2021

#### **Martha Alicia Cadavid Castro**

Profesora Escuela de Nutrición y Dietética-  
Universidad de Antioquia  
Nutricionista- Dietista,  
Magister en Ciencias de la Alimentación y  
Nutrición Humana  
Medellín- Antioquia- Colombia  
<https://orcid.org/0000-0001-7084-8742>

#### **Luz Stella Álvarez Castaño**

Profesora Escuela de Nutrición y Dietética-  
Universidad de Antioquia.  
Nutricionista- Dietista,  
Magíster y Doctora en Salud Pública  
Medellín- Antioquia- Colombia  
<https://orcid.org/0000-0002-8049-5685>

#### **Sara Eloísa Del Castillo Matamoras**

Profesora Departamento de Nutrición-  
Universidad Nacional de Colombia  
Nutricionista- Dietista,  
Licenciada en Educación,  
Especialidad en Química,  
Magister en Desarrollo Educativo y Social,  
Doctora en Ciencias Sociales  
Niñez y Juventud  
Bogotá DC- Colombia  
<https://orcid.org/0000-0003-4939-914X>

#### **Diana Patricia Giraldo Ramírez**

Profesora Facultad de Ingeniería  
Agroindustrial-  
Universidad Pontificia Bolivariana  
Ingeniera Agroindustrial,  
Especialista en Gestión de la  
Innovación Tecnológica,  
Doctora en Ingeniería con Énfasis en  
Gestión Tecnológica  
Medellín- Antioquia- Colombia  
<https://orcid.org/0000-0002-1500-0279>

#### **Lina María Vélez Acosta**

Profesora Facultad de Ingeniería  
Agroindustrial-  
Universidad Pontificia Bolivariana  
Ingeniera de Alimentos,  
Magíster en Desarrollo  
Medellín- Antioquia- Colombia  
<https://orcid.org/0000-0002-7774-7378>

<sup>1</sup> Este trabajo fue financiado por el Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación de Colombia –Colciencias- (Ahora Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación –Minciencias-) a través de la convocatoria 744 de 2016 para proyectos de ciencia, tecnología e innovación en salud, en cofinanciación con la Universidad de Antioquia, la Universidad Nacional de Colombia y la Universidad Pontificia Bolivariana. Algunos apartados contenidos en este artículo fueron presentados previamente en el VII Congreso Latinoamericano de Agroecología. Las investigadoras que lideran este proyecto declaramos que no existe conflicto de intereses actuales o potenciales de tipo financiero, personal o de relaciones con personas u organizaciones que pudieran influenciar inapropiadamente este trabajo.

**RESUMEN:** Las políticas públicas alimentarias y nutricionales se enfrentan a

grandes desafíos, ya que las necesidades alimentarias de la mayoría de la población se suplen al interior de un sistema insostenible, poco saludable e insolidario. Los efectos se expresan en alteraciones del estado nutricional, lo cual obliga a generar soluciones de fondo. Con este propósito se realizó estudio de casos colectivos que buscó establecer las potencialidades de las redes alimentarias alternativas (RAA) en la construcción de políticas públicas de soberanía alimentaria y seguridad alimentaria y nutricional, capaces de participar en la transformación de los sistemas alimentarios. Se realizaron entrevistas a líderes de las RAA, productores, distribuidores y consumidores en cinco ciudades capitales de Colombia. También se realizó observación participante y no participante en los espacios de distribución, producción y consumo de alimentos. Se halló que los principios bajo los que operan las RAA pueden ser un referente para la formulación de políticas públicas que busquen promover sistemas alimentarios sustentables. Estas redes han logrado materializar acciones para gestionar democráticamente los sistemas alimentarios y que éstos sean capaces de promover la equidad, la justicia, la protección de medio ambiente y la diversidad.

**PALABRAS CLAVE:** Agricultura sostenible. Abastecimiento de alimentos. Redes alimentarias alternativas. Seguridad alimentaria y nutricional. Política pública.

## HOW DO ALTERNATIVE FOOD NETWORKS INFORM PUBLIC POLICIES?

**ABSTRACT:** Public food and nutrition policies are faced with major challenges, given that the dietary needs of much of the population are supplied within an unsustainable, unhealthy, and unsupportive system. The effects present as alterations in the nutritional state of the population, which highlights the imperative need to generate alternative solutions. For this purpose, a study of collective cases was conducted seeking to elucidate the potential of alternative food networks (AFN) to shape the construction of public policies regarding food sovereignty and food and nutrition security that would be capable of transforming current food systems. Interviews were conducted with AFN leaders, producers, distributors, and consumers in five capital cities in Colombia. Additionally, participatory and non-participatory observation was carried out in the realms of distribution, production, and food consumption. It was found that the principles under which AFNs operate can be references for the formulation of public policies that seek to promote sustainable food systems. These alternative networks have achieved the development of actions to democratically manage food systems, and in that vein, encourage the design of systems that promote equity, justice, environmental protection, and diversity.

**KEYWORDS:** Sustainable Agriculture. Food Supply. Alternative Food Networks. Food and Nutrition Security. Public Policy.

## 1 INTRODUCCIÓN

Las políticas de alimentación y nutrición deben ser diseñadas para identificar, crear, conservar y proteger los sistemas alimentarios nacionales y globales, de forma

racional, sustentable y comunitariamente equitativa, con el fin de mantener la salud, el bienestar e integridad de la humanidad, y también de los seres vivos y el mundo físico (The Giessen Declaration, 2005). Por su parte los sistemas alimentarios deben ser capaces de:

*garantizar a todos el acceso a una alimentación disponible próximamente, económicamente accesible, culturalmente aceptable, sanitaria y nutricionalmente satisfactoria (FAO, 1995).*

Sin embargo, los sistemas alimentarios hegemónicos presentan hoy problemas de diferente naturaleza; como los efectos ambientales originados en formas de producción, distribución y consumo degradadoras del medio ambiente, la concentración del poder, la exclusión de productores y consumidores de la toma de decisiones y de los beneficios que producen dichos sistemas, lo cual se ve reflejado en la no resolución de los problemas de hambre y malnutrición, que de hecho algunos de estos sistemas profundizan, al tiempo que se suman a ahondar crisis como la climática.

En respuesta han surgido las redes alimentarias alternativas (RAA), que en Colombia son procesos organizativos relativamente recientes y hacen presencia en importantes zonas del país. Estas redes reposan sobre bases diferentes, y generalmente opuestas, que incluyen: fomentar la agroecología, lograr proximidad -de actores, tiempo y lugar-generar ingresos para grupos especiales -en condición de pobreza, pequeños productores, mujeres-, procurar relaciones económicas solidarias, entre otros.

Este capítulo, derivado de investigación, presenta algunas características de las RAA presentes en cinco ciudades capitales de Colombia, a partir de las cuales se describen acciones que podrían promover las políticas públicas (Fanzo et al., 2020) para configurar sistemas alimentarios sustentables que garanticen una alimentación sana a toda la población.

## 2 METODOLOGÍA

Se realizó estudio de casos colectivos en cinco ciudades capitales de Colombia de diferente tamaño: Bogotá, Medellín, Pereira, Manizales y Armenia, se incluyeron 32 expresiones de redes alimentarias alternativas presentes en los territorios fomentadas por organizaciones comunitarias, pequeños empresarios, universidades y gobiernos locales.

Para la selección se buscó información relacionada con experiencias que favorecieran: a) el uso de circuitos cortos de comercialización que incluyen proximidad (producción y compra local y cadenas comerciales directas o indirectas cortas; b) el favorecimiento de una relación cercana entre productores y consumidores; c) establecimiento de precios atendiendo las necesidades tanto de productores como de

consumidores; d) producción de alimentos basada en la agroecología o la agricultura familiar y campesina; e) constitución en una base asociativa, f) consideran la equidad de género.

Una vez constituido el banco de casos con aquellas iniciativas en las que fue posible detectar algunos de los rasgos antes mencionados, para su selección final, y buscando especialmente variedad, se incluyeron aspectos como: año de origen, consumidor al que se dirige (tanto por el tipo: doméstico o institucional, como por estrato socioeconómico), variedad de los alimentos que se producen y distribuyen -incluyendo especialmente alimentos frescos: frutas, verduras, leguminosas, huevos, lácteos-.

Se inició el contacto con responsables del eslabón de distribución. Se realizaron entrevistas semiestructuradas con 36 representantes que conocieran todo el accionar de la red, entre ellos se incluyeron gerentes o propietarios en caso de las iniciativas privadas, directores o coordinadores de organizaciones no gubernamentales o académicas, y funcionarios públicos a cargo de iniciativas gubernamentales.

A través de estos informantes, o en actividades de observación participante en los espacios de comercialización, se obtuvieron referidos de productores y consumidores; se entrevistaron 22 agricultores, 26 consumidores domésticos y 12 consumidores institucionales que compran alimentos al por mayor.

Todas las actividades de recolección de información fueron realizadas por las investigadoras y un equipo técnico conformado por profesionales y estudiantes de pregrado y posgrado capacitados al interior del proyecto de investigación. Las entrevistas y la observación se realizaron previo consentimiento informado y con instrumentos aprobados por el Comité de Bioética de la Sede de Investigación Universitaria de la Universidad de Antioquia mediante acta 16-68-699.

El análisis de la información se realizó en tres niveles: ordenación de datos, codificación abierta e identificación de códigos patrones. El procesamiento se realizó usando ATLAS/ti 8.0.

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las RAA muestran una vía de transformación de los sistemas alimentarios que actualmente generan problemas sociales y de salud a las poblaciones y graves afectaciones al medio ambiente, por tanto, brindan elementos para formular nuevas políticas públicas de soberanía alimentaria y seguridad alimentaria y nutricional (SSAN) que promuevan sistemas alimentarios sustentables, entendidos como el conjunto de interrelaciones próximas, solidarias, transparentes, democráticas y equitativas, que

posibilitan que alimentos producidos respetando el medio ambiente, la diversidad biológica y cultural, sean distribuidos mediante comercio justo, para favorecer prácticas de consumo ético, solidario, sustentable y saludable.

A continuación, se evidencia cómo las RAA estudiadas materializan estas características.

### 3.1 FAVORECER RELACIONES DE PROXIMIDAD, TRANSPARENTES Y DEMOCRÁTICAS

Las RAA estudiadas se fundamentan en canales de comercialización o intercambio directos o indirectos cortos, con lo cual logran eliminar intermediarios y el diálogo entre los diversos actores se ve fortalecido. Es de resaltar que la presencia de distribuidores normalmente representa el cumplimiento de un rol de conexión, necesario en el mercadeo agropecuario, lo cual no resta transparencia al modelo, pues se conoce normalmente quién es y qué papel desempeña en el funcionamiento del sistema. La proximidad también es favorecida mediante la promoción de asociatividad, que en este modelo pretende trascender fines únicamente comerciales, para incidir también en la reconversión hacia procesos de agricultura ecológica, comercio justo y consumo consciente, involucrando en ello a productores, distribuidores y consumidores.

*“Eso es fundamental en nuestro trabajo, nosotros no empezamos a venderle a nadie si no ha ido a las fincas, es lo primero para empezar ya una relación comercial. Porque es una diferencia muy gigante cuando ellos ven cómo lo hacemos y respetan nuestro trabajo, la relación comprador – vendedor, cambia, cambia a una relación colaborativa entre el chef y nosotros los productores”*  
(Pequeña empresa-RAAB-D1)

A pesar de lo anterior, la asociatividad -ya sea formal o informal- entre productores, distribuidores y consumidores podría fortalecerse, por ejemplo, a partir de la práctica de la economía solidaria y los principios de confianza en que se fundamentan las RAA, lo cual es deseable, en la medida que el trabajo conjunto favorecería las capacidades que han desarrollado los productores y distribuidores, y podría vincular activamente en la gestión del sistema alimentario a los consumidores.

*“Yo soy un pequeño proyecto intentando llegarle a mucha gente y el esfuerzo puede ser muy grande, entonces me parece que tenemos que asociarnos, agremiarnos o juntarnos con otras iniciativas que tienen las mismas lógicas, intereses y... no política, sino como las mismas lógicas... para hacer esfuerzos en común, en conjunto para llegarle a más gente”* (Pequeña empresa-RAAB-D2).

Lo anterior es importante para todos los actores del sistema alimentario, pero es especialmente relevante para los consumidores, en la medida que se halló que ninguno pertenece a asociaciones ni a ligas de consumidores ni están vinculados a estructuras que desarrollen una acción pública de una manera orgánica; en general, se trata de



una vivencia menos volcada a la vida colectiva, más construida en y para el mundo privado y un primer círculo social de amigos y familiares que creen en estas prácticas y las disfrutan. Alguna participación en movilizaciones sociales o la implementación de prácticas de resistencia ocurren de manera individual por parte de los consumidores, tal vez relacionados entre sí en redes no formales o virtuales.

A pesar de lo anterior, las RAA se constituyen en un escenario que propicia el consumo ético, solidario, sustentable y saludable y pueden contribuir de manera significativa en la creación de valores colectivos, la solidaridad y la movilización social (Fonte, 2013). Esto porque, en primera instancia, involucrarse con las RAA genera importantes cambios de las prácticas de cuidado de sí mismo, del medio ambiente y de los demás por parte de productores, distribuidores y consumidores.

[Los consumidores son] *cualquier persona que esté interesada en relacionarse distinto, no solo con la naturaleza, con la pacha mama, con el agua, consigo misma*" (Pequeña empresa-RAAB-D3)

Además, las RAA crean espacios para cuestionar el sistema alimentario convencional y lo que representa, allí las personas son libres de discutir formas en las que la política y la sociedad deberían cambiar; Bollier citado por Follet indica que las RAA ofrecen la oportunidad de escuchar la voz de personas no representadas en los medios tradicionales (Follett, 2009), por tanto desde allí se podrían coordinar horizontalmente, y con la participación de actores públicos, privados y comunitarios las políticas públicas de SSAN.

De esta manera las RAA contribuyen significativamente al desarrollo de sujetos deliberativos y a la construcción de una ética pública que antepone los intereses comunes a los personales; también hace posible el empoderamiento o la creación de poder, entendido éste como la capacidad humana para actuar concertadamente (Arendt, 1999). Esta concepción sitúa al ciudadano como actor central de la política, con capacidad de pensar por sí mismo, gobernarse y gobernar, y le otorga posibilidades de acciones emancipadoras y no simplemente de adaptarse y disciplinarse dentro de los marcos sociales e institucionales (Uribe, 2003).

### 3.2 PROMOVER EL FLUJO LOCAL Y EQUITATIVO DE RECURSOS

Las políticas públicas de SSAN deberían promover que los capitales que se generan al interior de los sistemas alimentarios sirvan al bienestar, al desarrollo local y cuenten con una estructura organizativa social y solidaria que garantice la distribución de los recursos hacia la base.

Las RAA estudiadas procuran estos objetivos mediante dos estrategias; alcanzando niveles de autosuficiencia para realizar actividades agrícolas y suplir las necesidades y preferencias alimentarias de productores, productoras y sus familias, constituyéndose en unidades de producción-consumo, que incluyen prácticas de intercambio no monetario como el trueque.

*"[En la red] hay intercambios, para mí es muy importante eso, lo que es el trueque, lo que es vender más económico, aunque para mí lo importante no es vender, para mí lo importante es que mi familia se alimente y se alimente súper bien". (Productor Alternativo-RAAM-P1)*

Por otra parte, cuando se dan relaciones de tipo comercial normalmente se fundamentan en el comercio justo, favoreciendo especialmente al productor. También se establecen convenios entre productores y distribuidores con plazos amplios –en general un año- y normalmente la relación permanece en el tiempo. No se halló financiamiento previo de la cosecha como práctica del comercio justo.

*"Las sumas que se pagan a los productores se fijan con ellos con antelación, independientemente de los precios del mercado, nos basamos en los costos de producción, incluido el trabajo de quienes producen" (Pequeña Empresa-RAAB-D4).*

En estas prácticas tampoco se evidenció el establecimiento de precios atendiendo las necesidades y posibilidades de los consumidores, ocasionando que en la mayoría de RAA sólo participen consumidores que no son sensibles al precio, excluyendo a grupos poblacionales con bajo poder adquisitivo y que dependen de la compra para acceder a alimentos.

*"Yo veo que las personas que vienen a comprar son personas que tienen su forma de pagar el producto a un poco más de lo que está en el mercado. Pero uno ve que hay otras personas que lo hacen con mucho sacrificio, porque no son personas que se están ganando dos o tres salarios mínimos, sino que se están ganando un salario mínimo (...), entonces uno que hace ahí, ¡jugársela! uno hasta le vende un poco más favorable. La política mía ha sido que este producto no se tenga que encarecer tanto, sino que antes lleguemos a un momento que se pueda vender igual que el otro, para que todo mundo tenga acceso" (Organización Comunitaria-RAAM-D2).*

### 3.3 PROTEGER EL MEDIO AMBIENTE, RESPETAR LA DIVERSIDAD BIOLÓGICA Y CULTURAL

Las RAA se esfuerzan en la conservación y protección del medio ambiente, lo cual es especialmente evidente en las prácticas de producción de alimentos, donde los agricultores buscan adaptarse a ciclos e insumos naturales, así como proteger los bosques y las fuentes hídricas. Promover la reconversión de los sistemas productivos en esta vía debe ser prioritario para las políticas públicas de SSAN.

También se halló que cuidar el medio ambiente es una de las principales motivaciones que conducen a los consumidores a participar e involucrarse en las RAA, en la medida que éstas les posibilita el acceso a alimentos que protegen el medio ambiente dadas sus formas de producción y distribución.

Igualmente es valorada la diversidad biológica y cultural con las que las RAA tienen un alto compromiso, por ejemplo, al ofrecer a sus consumidores una amplia diversidad de especies vegetales, ser custodios de semillas criollas, nativas y de diversas procedencias obtenidas a través del intercambio cultural. Estas redes promueven la inclusión y valoración de diferentes grupos étnicos, de las mujeres, de los campesinos y campesinas. También es habitual que entre sus actores se les asignen nuevos significados a alimentos autóctonos para revalorizar su consumo.

*“Tenemos un montón de productos ocultos, yo me quedé sorprendida la última vez que hicimos un taller de biodiversidad, el montón de comida que hay y que la gente no valora y que está como pérdida en lo convencional que la gente produce...entonces mirá, los vamos como sacando de por allá, como de donde se meten los alimentos, los vamos volviendo públicos nuevamente, y vamos dándole un significado importante y son demasiados, demasiados los productos alimenticios” (Entidad Gubernamental-RAAM-D3).*

Las características antes descritas evidencian que existen vías de acción para conducir cambios en los sistemas alimentarios; de esta manera, las RAA que las han promovido y desarrollado en Colombia desde finales del siglo XX, se constituyen en referentes para las políticas públicas alimentarias y nutricionales actuales. Es importante resaltar que estas propuestas surgen especialmente en las bases sociales de campesinos, así como desde de iniciativas de pequeños empresarios y de algunos gobiernos territoriales, este surgimiento puede contribuir a transitar hacia una gobernanza democrática del sistema alimentario (van Bers et al., 2019), en la cual sea posible coordinar horizontalmente la resolución de problemas de interés común entre actores públicos, privados y comunitarios.

## 4 CONCLUSIONES

Las políticas públicas de SSAN deben garantizar que los sistemas alimentarios que las sustentan favorezcan relaciones de proximidad, transparentes y veraces; protejan el medio ambiente; respeten la diversidad biológica y cultural; promuevan el flujo local y equitativo de recursos; faciliten el consumo ético, solidario, sustentable y saludable y promuevan la acción y participación política. Estas características pudieron observarse en la RAA estudiadas, demostrando que cambios hacia sistemas alimentarios sustentables son posibles, y que las políticas públicas podrían favorecerlos con el fin de avanzar en la

garantía de la soberanía alimentaria, la seguridad alimentaria y nutricional y el derecho humano a la alimentación adecuada.

Las acciones públicas basadas en la gobernanza democrática deberán orientar e incentivar la transformación de los sistemas alimentarios. Algunas de las estrategias pueden concretarse en la creación de RAA y el fortalecimiento de las existentes procurando la preservación de los principios en que se fundamentan, la equidad para el acceso a los alimentos, la inclusión de diferentes grupos poblacionales independiente de su nivel socioeconómico, el mejoramiento de la capacidad de respuesta ante la demanda de un mayor número consumidores individuales e institucionales, así como en el fortalecimiento del trabajo asociativo o colaborativo.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Arendt. (1999). Crisis de la República. Taurus.

Fanzo, J., Covic, N., Dobermann, A., Henson, S., Herrero, M., Pingali, P., & Staal, S. (2020). A research vision for food systems in the 2020s: Defying the status quo. *Global Food Security*. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100397>

FAO. (1995). Cumbre Mundial de la Alimentación.

Follett, J. R. (2009). Choosing a food future: Differentiating among alternative food options. *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 22(1), 31–51. <https://doi.org/10.1007/s10806-008-9125-6>

Fonte, M. (2013). Food consumption as social practice: Solidarity Purchasing Groups in Rome, Italy. *Journal of Rural Studies*, 32. <https://doi.org/10.1016/j.jrurstud.2013.07.003>

The Giessen Declaration. (2005). The Giessen Declaration. *Public Health Nutrition*, 8(6A), 783–786. <https://doi.org/10.1079/phn2005768>

Uribe, M. T. (2003). Esfera pública, acción política y ciudadanía. Una mirada desde Hannah Arendt. In *Los clásicos de la filosofía política*. Editorial Universidad de Antioquia.

van Bers, C., Delaney, A., Eakin, H., Cramer, L., Purdon, M., Oberlack, C., Evans, T., Pahl-Wostl, C., Eriksen, S., Jones, L., Korhonen-Kurki, K., & Vasileiou, I. (2019). Advancing the research agenda on food systems governance and transformation. In *Current Opinion in Environmental Sustainability*. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.08.00>

# CAPÍTULO 14

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

Data de submissão: 05/02/2021

Data de aceite: 25/02/2021

**Mario A. Gómez-Hurtado**

Instituto de Investigaciones  
Químico Biológicas  
Universidad Michoacana de  
San Nicolás de Hidalgo,  
Ciudad Universitaria, 58030, Morelia, Mich.  
México.  
<https://orcid.org/0000-0002-2386-4819>

**Antonio Hilario Lara-Rivera**

Centro de Bachillerato Tecnológico  
Agropecuário No. 293,  
“Ing. Edmundo Taboada Ramírez”,  
Zapotlán El Grande, Jalisco.  
Carretera Ciudad Guzmán-El grullo km.105.  
Parque industrial Zapotlán 2000, C.P. 49000,  
Ciudad Guzmán, Jal, México.  
<https://orcid.org/0000-0002-8739-9610>

**Sinuhé Galván Gómez**

Instituto de Investigaciones  
Químico Biológicas  
Universidad Michoacana de  
San Nicolás de Hidalgo,  
Ciudad Universitaria, 58030, Morelia, Mich.  
México.  
<https://orcid.org/0000-0001-6006-8523>

**Gabriela Rodríguez-García**

Instituto de Investigaciones  
Químico Biológicas  
Universidad Michoacana de  
San Nicolás de Hidalgo,  
Ciudad Universitaria, 58030, Morelia, Mich.  
México.  
<https://orcid.org/0000-0002-9840-9968>

**Rosa Elva Norma del Río**

Instituto de Investigaciones  
Químico Biológicas  
Universidad Michoacana de  
San Nicolás de Hidalgo,  
Ciudad Universitaria, 58030, Morelia, Mich.  
México.  
<https://orcid.org/0000-0001-8932-552X>

**Ernesto Ramírez-Briones**

Centro Universitario de Ciencias Biológico  
Agropecuarias  
Universidad de Guadalajara,  
Camino Ramón Padilla Sánchez 2100,  
Nextipac, Zapopan, Jal. México  
<https://orcid.org/0000-0002-1428-2542>

**RESUMEN:** Con el fin de proteger e incrementar el conocimiento científico, así como el uso sustentable de especies del género *Diospyros* (Ebenaceae), particularmente, de especies con limitada distribución y consumo, en el presente trabajo se discute el metabolismo de los componentes mayoritarios de las hojas de

*D. reko*i, los cuales son la base de una potencial estrategia para el uso racional de especies vegetales nativas, que propicie la conservación del entorno donde éstas se desarrollan, y que puedan ser aprovechadas de tal manera que sirvan como un recurso adicional para el desarrollo económico de su zona de crecimiento. El estudio está basado en los resultados del análisis químico por Cromatografía de Gases acoplado a Espectrometría de Masa (CG/EM) del extracto metanólico de hojas de *Diospyros reko*i, la cual fue colectada en el occidente de México. Las muestras vegetales se tomaron en las distintas estaciones del año, permitiendo observar variaciones interesantes de los componentes mayoritarios, los cuales cuentan con aplicaciones médicas e industriales, particularmente, en alimentación y cosmética. La correlación química, metabólica y ambiental permitió visualizar el potencial aprovechamiento sustentable para esta especie. Este análisis podría ser la base para futuros estudios que permitan establecer el uso sustentable de especies nativas en América y el mundo, de igual manera, aprovechar y conservar ecosistemas en beneficio de frenar el cambio climático y el uso desmedido del suelo.

**PALABRAS CLAVE:** Zapotillo. Ebenaceae. Estrategias sustentables. Fitoquímica. Silvestre.

## DIOSPYROS REKOI MAJORITY METABOLITES AND THEIR ENVIRONMENTAL CORRELATION FOR SUSTAINABLE APPLICATIONS

**ABSTRACT:** In order to protect and increase scientific knowledge, as well as the sustainable use of species of the genus *Diospyros* (Ebenaceae), particularly of species with limited distribution and consumption, in this work the metabolism of the major components of the leaves of *D. reko*i is discussed, which are the basis of a potential strategy for the rational use of native plant species, which promotes the conservation of the environment where they develop, and that can be used in such a way that they serve as an additional resource for the economic development of your growth zone. The study is based on the results of the chemical analysis by Gas Chromatography coupled to Mass Spectrometry (GC / MS) of the methanolic extract of *Diospyros reko*i leaves, which was collected in western Mexico. The plant samples were taken in the different seasons of the year, allowing to observe interesting variations of the majority components, which have medical and industrial applications, particularly in food and cosmetics. The chemical, metabolic and environmental correlation allowed to visualize the potential sustainable use for this species. This analysis could be the basis for future studies that allow to establish the sustainable use of native species in America and the world, in the same way, to take advantage of and conserve ecosystems in benefit of curbing climate change and excessive use of the soil.

**KEYWORD:** Zapotillo. Ebenaceae. Sustainable strategies. Phytochemical. Wild.

## 1 INTRODUCCIÓN

Los metabolitos secundarios no actúan directamente en asimilar nutrientes de la planta, estos suelen servir para protegerla. Esta capacidad de respuesta ante factores

bióticos y abióticos se asocia a las propiedades curativas que comúnmente se les confiere a las plantas, pues la diversidad de metabolitos que poseen les atribuye estas características terapéuticas (Azcón-Bieto et al., 2013). Para los químicos de productos naturales, estas características vegetales son de suma importancia, debido a ello, se han logrado aislar moléculas para sintetizar fármacos y/o materias primas que actualmente se encuentran en el mercado (Ferraro et al., 2012). Ejemplos de compuestos químicos de origen vegetal que sobresalen por su aplicación son el taxol, que es un agente quimioterápico aislado por primera vez de la corteza del árbol americano *Taxus brevifolia*, y que es usado en todo el mundo para tratar el cáncer de ovario, mama, pulmón, y que ha sido la base para diseñar nuevos fármacos, como el cabazitaxel, cuya efectividad contra el cáncer de próstata lo ha situado como el medicamento de preferencia para combatir esta afección (Abidi, 2013). En términos de prevención de enfermedades crónico degenerativas se puede ubicar al esteviósido, un edulcorante no calórico presente en las hojas *Stevia rebaudiana*, nativa de Paraguay, cuya aplicación industrial ha sido evidente a nivel global, al grado de que ha sido ingrediente en variantes de bebidas gaseosas reconocidas a nivel mundial (Durán et al., 2012). Como se aprecia en los ejemplos anteriores, el potencial industrial de especies vegetales de América es notable, no obstante, es necesario llevar a cabo estudios químicos que den soporte científico a futuros usos, también es importante considerar el aprovechamiento racional y sustentable de estas especies vegetales, de tal manera que el impacto ambiental sea despreciable.

La familia Ebenaceae se distribuye por todo el mundo y cuenta con siete géneros y alrededor de 500 especies, de éstas, en el continente americano se ubican alrededor de 100, y unas 20 se han encontrado en el territorio mexicano, destacando aquellas del género *Diospyros* por ser el principal representante en este país, y por el consumo del fruto de algunas de sus especies, como *D. digyna* (Arellano-Gómez et al., 2005). En su mayoría, las especies del género son árboles dioicos de porte bajo y medio, caducifolios y siempre verdes (Ramírez-Briones et al., 2019). Se trata del género más grande de Ebenaceae, y se caracteriza por la ausencia de látex y tener flores unisexuales (Medina et al., 2001). A lo largo de regiones pantropicales se han localizado especies del género, todas estas comparten fitoquímicos con características terapéuticas, entre las que destacan actividades antioxidantes, anti-inflamatorias, analgésicas, antihipertensivas, cardioprotectoras, antidiabéticas, neuroprotectoras, citotóxicas y antimicrobianas, propiedades insecticidas y aplicaciones cosméticas (Rauf et al., 2017, Vijayan et al., 2020). La especie *D. kaki*, nativa de Asia Oriental, China, Japón y Korea (Singh y Joshi 2011) ha destacado por su vasta gama de actividades biológicas (Chen et al., 2020), lo cual motiva a las exploraciones fitoquímicas de especies nativas de América (García et



al., 2015), particularmente, sobre aquellas que no cuenten con estudios preliminares. El conocimiento de la composición química de especies vegetales endémicas puede favorecer su uso racional, conservación de la especie y el entorno, así como el desarrollo económico de su zona de crecimiento.

*Diospyros rekoï* (Figura 1), también llamado “zapotillo negro”, con presencia en zonas de Jalisco y Michoacán pertenecientes a la cuenca de Chapala, en localidades con bosque tropical caducifolio y encinar; es utilizado de manera marginal y se aprovechan principalmente los frutos, que se consumen por personas que se dedican al pastoreo de ganado, la medicina tradicional sugiere su uso para el tratamiento de hipertensión, diabetes y afecciones respiratorias. En recientes trabajos dirigidos al entendimiento de la composición química de especies mexicanas de *Diospyros* se ha determinado la presencia de flavonoides, polifenoles, ácidos fenólicos, cumarinas, antocianinas, terpenos y taninos en ejemplares silvestres, así como su correlación metabólica con especies domesticadas del género, como *D. digyna* (Ramírez-Briones et al., 2019). En este capítulo se correlacionan a los componentes mayoritarios del extracto metanólico de hojas de *D. rekoï*, determinados mediante GC/EM, con su variación de abundancia a lo largo de las cuatro estaciones del año, así como con su potencial aprovechamiento racional y sustentable.

Figura 1. Sitio de colecta y detalle de hoja, tallos y fruto de *D. rekoï*.





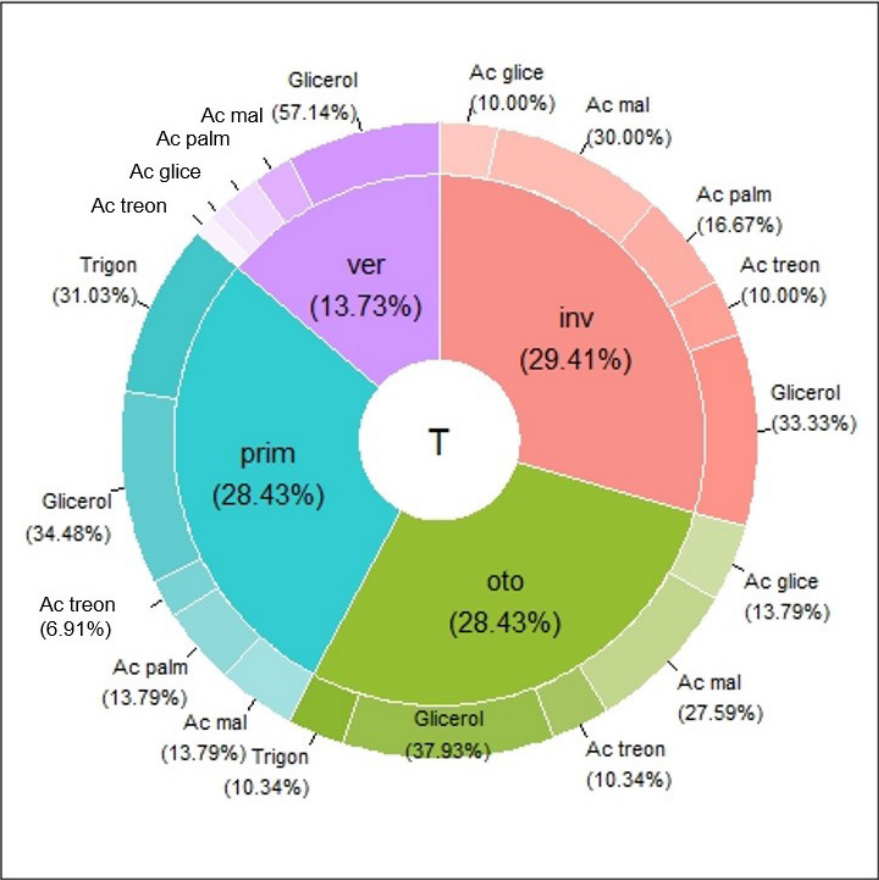
## 2 ANÁLISIS FITOQUÍMICO DEL EXTRACTO METANÓLICO DE *D. REKOI*

Las hojas de *D. rekoï* fueron empleadas para obtener los extractos metanólicos para el análisis fitoquímico. Las colectas se realizaron durante el ciclo anual invierno-otoño del 2018 empleando cinco árboles silvestres del municipio de Teocuitatlán de Corona, Jalisco, México (20°10'40.2"N 103°24'59.9"O), dentro de una comunidad de selva baja caducifolia con una precipitación promedio de 500 mm.

Basado en los porcentajes de abundancia (Ramírez-Briones et al., 2019), variaciones en los porcentajes de los componentes mayoritarios fueron observadas a lo largo del estudio (Figura 2). En primavera, los metabolitos dominantes son el glicerol y la trigonelina. Las estaciones de otoño e invierno mostraron similitudes en la composición química de los extractos, debido a que los componentes mayoritarios fueron glicerol y ácido málico. Las estructuras químicas de estos compuestos pueden apreciarse en la Figura 3. Finalmente, pudo apreciarse que las concentraciones de metabolitos identificados en verano resultaron bajas en comparación con el resto de las muestras.

Como puede apreciarse, el glicerol domina en abundancia en los extractos metanólicos de *D. rekoï*, este compuesto posee capacidades humectantes, pues su base hidrocarbonada de tres átomos de carbono le confiere polaridad disminuida, no obstante, las funcionalidades hidroxilo favorecen interacciones polares, de tal manera que este compuesto genera una adecuada afinidad hacia el agua (hasta 5 M a 20 °C), lo cual lo hace una materia prima muy versátil (Hu et al., 2014., Rodríguez et al., 2019). Por su parte, la trigonelina es un interesante heterociclo aromático con esqueleto base de piridina, el cual se incluye en el grupo de alcaloides derivados del ácido nicotínico. Este compuesto se encuentra comúnmente en los granos de café, contribuyendo al amargor de esta bebida, y su ocurrencia depende del tostado que a este se le proporcione. La literatura reporta estudios de esta molécula presenciando actividades que ayudan a mejorar la memoria, se ha demostrado en neuronas corticales de rata que tiene la capacidad de regenerar dendritas y axones. En humanos, se ha encontrado que a dosis de 500 mg muestra efecto hipoglucemiante (Van Dijk, et al., 2009). Otro impacto tangible de esta clase de compuestos son los análogos comerciales del ácido nicotínico con aplicación analgésica, antiinflamatoria y antipirética (AINES), varios de ellos se aplican en la medicina humana como el clonixin, y ácido mefenámico, y otros más en la veterinaria, como el flunixin (Khalil et al., 2013).

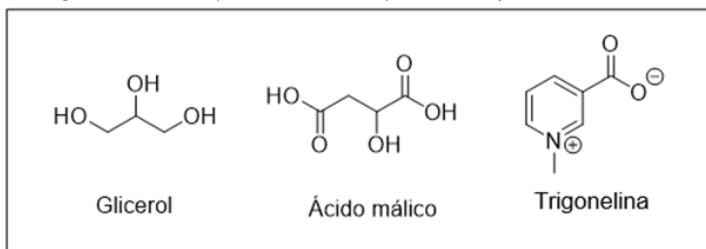
Figura 2. Distribución de metabolitos por temporada (prim (primavera), ver (verano), oto (otoño), inv (invierno) e identificación de los mayoritarios (Ac. Glíce (ácido glicérico), Ac. Mal (ácido málico), Ac. Palm (ácido palmítico), Ac. Treon (ácido treónico), Trigon (trigonelina).



En adición, el ácido málico se emplea para regular la acidificación de alimentos y bebidas, por ejemplo, Carvalho y Curvelo-García, en el 2000, describen al compuesto como uno de los mejores agentes acidificantes en vinos ya que no produce precipitaciones de sales y su pH resulta muy poco alterado. Por otro lado, se describe un polímero derivado del ácido *L*-málico comúnmente aislado de hongos, que es capaz de condensar al respectivo ácido en laboratorio, y se le atribuyen propiedades biomédicas y farmacéuticas, ya que en agregados macromoleculares con clofamizina, un principio antituberculoso, disminuye efectos secundarios que incluyen alteraciones digestivas y pigmentación cutánea. Debido al eficaz mecanismo de selección del polímero se ha desarrollado un fármaco denominado Polycefin que consiste en el polímero unido a diferentes péptidos, este medicamento puede atravesar la barrera hematoencefálica combatiendo el cáncer de cerebro (Portilla-Arias et al., 2008). La presencia de la mezcla de ácido málico en las hojas de *D. reko*i constituye una fuente potencial de la materia

prima que se necesitaría para formar este agregado macromolecular constituido con unidades monoméricas de ácido *L*-málico justificando su interés en su actividad como como un vector farmacológico selectivo.

Figura 3. Fórmulas químicas de los componentes mayoritarios en *D. rekoí*.



### 3 CORRELACIÓN DEL METABOLISMO DE *D. REKOI* CON LAS CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE SU ENTORNO

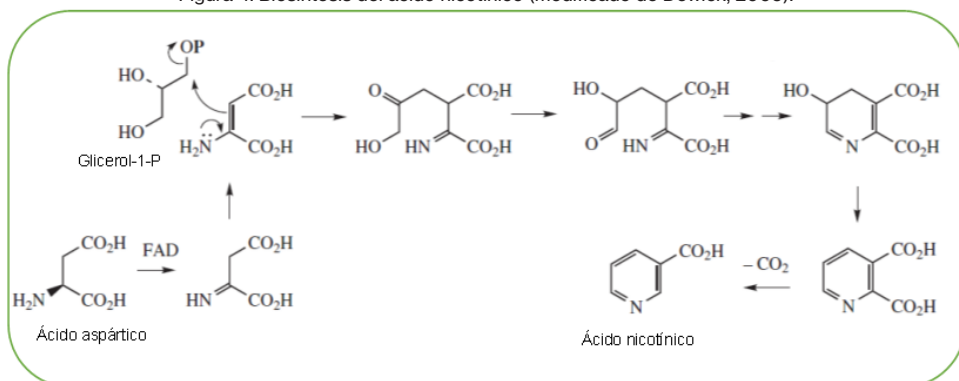
De acuerdo a los principios adaptativos de las especies vivas del planeta, variaciones morfológicas garantizan la supervivencia y permanencia de estas, no obstante, la evolución también va acompañada de variaciones bioquímicas que armonizan las necesidades metabólicas de acuerdo al entorno de un determinado lapso de tiempo (Tissier et al., 2015). Lo anterior parece manifestarse en *D. rekoí* a lo largo de un ciclo anual.

En la zona de crecimiento de *D. rekoí*, la temperatura media anual es de 21 °C, y muestra un gradiente de temperaturas que van desde los 14 °C (mínima) hasta 36 °C (máxima). El clima es semiseco en otoño. Durante el invierno y primavera prevalece el clima seco y semicálido (enero-abril), y la temporada de lluvia surge con el verano. Los vientos son de dirección variable (Trejo-Vázquez, 1999).

Lo anterior sugiere que la presencia de glicerol en altas concentraciones está asociada a las temperaturas elevadas y baja precipitación de las estaciones de invierno-primavera. Puede deducirse que dichas condiciones ambientales favorecen la baja disponibilidad de nutrientes y agua, por lo que la degradación de triglicéridos y ácidos grasos para la obtención de acetil-CoA es dominante. A pesar de lo anterior, la clara adaptación de la especie a su entorno puede establecerse, ya que en el estudio no fue detectada la presencia de malondialdehído, un metabolito de referencia en procesos de estrés vegetal, que puede desatarse por factores ambientales (Morales y Munné-Bosch 2019). En adición, las propiedades humectantes del glicerol pueden estar asociadas a una estrategia adaptativa para disminuir efectos de deshidratación por el clima a la vez que obtiene sustratos energéticos. En relación al ácido málico, este es un intermediario metabólico dentro del ciclo de Krebs, que demuestra tanto la actividad bioquímica

mitocondrial como procesos metabólicos a nivel de citosol (Pott et al., 2019), lo que sugiere la alta adaptabilidad de la especie a las condiciones más extremas que pueden ocurrir en su zona de desarrollo. Finalmente, la trigonelina podría jugar un papel como osmolito, y asociarse a la adaptabilidad de la especie pese al aparente estrés ambiental (Rajasekaran et al., 2001). Esta sustancia también podría revelar una estrategia metabólica de alta optimización de la economía molecular en procesos bioquímicos en *D. reko*, ya que, el esqueleto base de esta molécula se genera a partir de glicerol-1-fosfato, un recurso abundante en la planta, como puede inferirse con base en lo anteriormente discutido. La condensación de esta molécula con derivados del aminoácido ácido aspártico, y la posterior ciclización favorecida por procesos tautoméricos conlleva a la formación del ácido nicotínico, esqueleto base de la trigonelina como muestra la Figura 4 (Dewick, 2009).

Figura 4. Biosíntesis del ácido nicotínico (modificado de Dewick, 2009).



#### 4 APROVECHAMIENTO RACIONAL DE *D. REKO* PARA SU POTENCIAL APLICACIÓN INDUSTRIAL

Diversos recursos naturales de uso industrial obtenidos de fuentes vegetales silvestres actualmente son empleados en la vida cotidiana. Uno ejemplo de lo anterior es la colecta de resina de pinos, cuya productividad es dominada por países que impactan positivamente la economía global, como China, Brasil, Indonesia, India y México (Cunningham, 2012). Las estrategias de productividad de esta materia prima se enfocan en mantener el entorno natural de los árboles empleados para estos fines, lo que ayuda a mantener la flora y fauna nativa, con un mínimo de invasión durante el proceso, y a la vez, apoya el desarrollo económico de las comunidades insertadas en el entorno, permitiendo generar conciencia de sustentabilidad, y por ende de conservación, toda vez que el ciclo virtuoso generado por estas prácticas económico-ambientales garantizan el bienestar común.

La selva baja caducifolia, al ser un ambiente predominantemente semiseco podría sugerir una aparente limitación de aprovechamiento sustentable en la mayor parte del ciclo anual, sin embargo, la adaptabilidad y actividad metabólica de especies nativas, como en *D. Rekoï* propone lo contrario. La cadencia metabólica que se avizora con el escrutinio de metabolitos presentes en hojas plantea el aprovechamiento sistemático de materias primas de uso industrial, principalmente en el área de la cosmética, debido a las concentraciones de glicerol establecidas en el análisis fitoquímico, la cual tiene un impacto económico anual cercano a los 400,000 millones de dólares (Varrone et al., 2013). Así, en primavera, la época de mayor actividad metabólica de *D. rekoï* puede aprovecharse la extracción de glicerol y trigonelina con la primera poda anual. Interesantemente, las concentraciones de trigonelina en esta época del año es competitiva con especies vegetales que se distinguen en países asiáticos por la presencia de este metabolito, como *Murraja paniculata* y *Mirabilis jalapa* (Ashihara y Watanabe, 2014). Para la temporada de verano, la época más húmeda del año puede ser el tiempo de recuperación de la especie vegetal, lo cual no limita el aprovechamiento de otras especies del entorno cuyo metabolismo se activa con el temporal, entre las que pueden encontrarse especies del género *Caesalpinia*, de las que se ha sugerido su aprovechamiento para la generación de energías sustentables, principalmente, biodiesel (Pamatz-Bolaños et al., 2018; Adewuyi y Oderinde, 2014; Kulkarni et al., 2008; Razia et al., 2012).

Las épocas de otoño e invierno pueden resultar de alto interés debido a la obtención de la mezcla glicerol-ácido málico como componentes mayoritarios, pues al ser ambos empleados en la industria cosmética, podrían aportar un producto de valor agregado. Es pertinente comentar que el ácido málico es utilizado como agente renovador de tejido cutáneo, por lo que se le atribuyen propiedades conservantes y anti-edad, reductor de arrugas y líneas de expresión. Estas propiedades, además del origen natural y las actuales tendencias de frenar el impacto negativo ambiental de malas prácticas industriales, podrían llamar rápidamente la atención del sector productivo.

## 5 CONCLUSIONES

El estudio fitoquímico de las hojas de *Diospyros rekoï* realizado a lo largo de un ciclo anual permitió establecer la presencia de glicerol, ácido málico y trigonelina como metabolitos mayoritarios, principalmente en primavera, otoño e invierno. Estos compuestos son reconocidos por sus aplicaciones en productos cosméticos y/o como principios activos naturales. La relación metabólica de los compuestos mayoritarios con el clima sugiere la completa adaptabilidad de la especie vegetal, lo que permitiría llevar a cabo el aprovechamiento sustentable de estos compuestos, principalmente en

el área cosmética y farmacéutica. Un futuro plan de aprovechamiento sustentable podría ser desarrollado considerando múltiples factores como, entorno ambiental, población vegetal, fauna y población humana, para establecer la viabilidad y optimización del uso de *D. reko* como una nueva fuente de materia prima de valor agregado.

## REFERENCIAS

- Abidi A. (2013). **Cabazitaxel: A novel taxane for metastatic castration-resistant prostate cancer-current implications and future prospects.** Journal of pharmacology & pharmacotherapeutics, 4(4), 230-237
- Adewuyi, A., and R. A. Oderinde. 2014. **Fatty acid composition and lipid profile of Diospyros mespiliformis, Albizia lebbeck, and Caesalpinia pulcherrima seed oils from Nigeria.** International Journal of Food Science 2014:1-6
- Arellano-Gómez, L., Saucedo-Veloz, C., Arévalo-Galarza (2005). **Cambios bioquímicos y fisiológicos durante la maduración de frutos de zapote negro (Diospyros digyna Jacq.).** Agrociencia, 39(2), 173-181
- Ashihara, H., y Watanabe S. (2014). **Accumulation and Function of Trigonelline in Non-leguminous Plants.** Natural product communication. 9(6). 795-798.
- Azcón-Bieto, J.; Talón, M. (2013). **Fundamentos de fisiología vegetal**, segunda ed. Aravaca (Madrid). McGrawHill.
- Betancourt-Aguilar, C.; Mello-Prado, R.; Castellanos-González, L.; Silva-Campos, C. (2016). **Características de la glicerina generada en la producción de biodiesel, aplicaciones generales y su uso en el suelo.** Cultivos Tropicales. 37(3), 7-14.
- Carvalho, E.; Curvelo-García, A. (2000). **Aplication des acides L-tartrique, L-lactique et DL-malique dans L'acidification des mouts et des vins.** Ciência e Técnica Vitivinícola. 15(2), 65-73.
- Chen, L.; Guo, Y.; Alsaif, G.; Gao, Y. (2020) **Total flavonoids isolated from Diospyros kaki L. f. leaves induced apoptosis and oxidative stress in human cancer cells.** Anticancer Research, 40, 5201-5210.
- Cunningham, A. (2012). **Pine resin: biology, chemistry and applications.** Pine tapping recent advances. Boston: PCA, 1-8
- Durán A, Samuel, Rodríguez N, María del Pilar, Córdón A, Karla, & Record C, Jiniva. (2012). **Estevia (stevia rebaudiana), edulcorante natural y no calórico.** Revista chilena de nutrición, 39(4), 203-206.
- Paul M. Dewick (2009). **Medicinal Natural Products: A Biosynthetic Approach**, 3rd Edition. Ed. John Wiley & Sons, Ltd
- Ferraro, G.; Martino, V.; Bandoni, A.; Nadinic, J. (2012). **Fitocosmética fitoingredientes y otros productos naturales.** Eudeba. Buenos Aires.
- García, R.; Cuevas, J.; Segura, S.; Basurto, F. (2015). **Análisis panbiogeográfico de Diospyros spp. (Ebenaceae) en México.** Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 6(1), 187-200.
- Hu, J.; Yonghong, Z.; Jinfang, W.; Yongming, Z. (2014). **Glycerol affects root development through regulation of multiple pathways in Arabidopsis.** Plos one 9 (1), e86269.

Khalil, N., Mohamed E., Khaled, O., Mohamed, A., Sawsan A. (2013). **Synthesis of New Nicotinic Acid Derivatives and Their Evaluation as Analgesic and Anti-inflammatory Agents**. Chemical Pharmaceutical Bulletin 61(9) 933–940

Kulkarni, D. K., R. B. Bhagat, and V. N. Joshi. (2008) **Caesalpinia crista L. seed oil-a probable candidate for biodiesel**. Indian Journal of Tropical Biodiversity 16:93–96.

Medina, L.; Chiang, F. (2001). **Flora de Valle de Tehuacán-Cuicatlán**. Instituto de Biología Universidad Nacional Autónoma de México, México.

Morales, M., & Munné-Bosch S. (2019). **Malondialdehyde: Facts and Artifacts**. Plant physiology. 180, 1246-1250.

Pamatz-Bolaños, T., Cabrera-Munguia, D., González, H., Del Río, R., Rico, J., Rodríguez-García, G. Gutiérrez-Alejandre, A., Tzompantzi, F. & Gómez-Hurtado M. (2018) **Transesterification of Caesalpinia eriostachys seed oil using heterogeneous and homogeneous basic catalysts**. International Journal of Green Energy,15:8, 465-472,

Portilla-Arias, J.; García-Álvarez, M.; Muñoz-Guerra, S. (2008). **Polímeros biotecnológicos funcionalizados para aplicaciones biomédicas: el ácido poli(β,L-málico)**. Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales. 28(1), 03-17.

Pott, D.M.; Osorio, S.; Vallarino, J.G. (2019). **From central to specialized metabolism: an overview of some secondary compounds derived from the primary metabolism for their role in conferring nutritional and organoleptic characteristics to fruit**. Frontiers in Plant Science. 10,835.

Rajasekaran, L.R., Aspinall, D., Jones, G., Paleg, L. (2001). **Stress metabolism. IX. Effect of salt stress on trigonelline accumulation in tomato**. Can J Plant Sci. 81(3), 487-498.]

Ramírez-Briones, E.; Rodríguez-Macias, R.; Salcedo-Pérez, E.; Ramírez-Chávez, E.; Molina-Torres, J.; Tiessen, A.; Ordaz-Ortiz, J.; Martínez-Gallardo, N.; Délano-Frier, J.P.; Zañudo-Hernández, J. (2019). **Seasonal changes in the metabolic profiles and biological activity in leaves of Diospyros digyna and D. rekoí “Zapote” Trees**. Plants. 8(11), 449.

Rauf, A.; Uddin, G.; Patel, S.; Khan, A.; Halim, S.; Bawazzer, S.; Ahmad, K.; Muhammad, N.; Mubarak, S. (2017). **Diospyros, an under-utilized, multi-purpose plant genus: A review**. Biomedicine & Pharmacotherapy. 91, 714-730.

Razia, S., S. Rubina, S. Nighat, A. Farhana, and G. Tahsin. (2012). **Characterization of the composition of Caesalpinia bonducella seed grown in temperate regions of Pakistan**. Journal of the American Oil Chemists' Society 89:1021–27.

Rodríguez, R., Liao, H.L., Chen, Y., Plascencia-Villa, G., Perry, G. (2019). **Single-channel permeability and glycerol affinity of human aquaglyceroporin AQP3**, Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – 1861(4), 768-775

Singh, S.; Joshi, H. (2011). **Diospyros kaki (Ebenaceae): A review**. Asian Journal of Research in Pharmaceutical Science. 1(3), 55-58.

Tissier, A; Ziegler, J; Vogt, T. (2015). **Specialized plant metabolites: diversity and biosynthesis. In: ecological biochemistry: environmental and interspecies interactions**. Ed: Krauss and Nies. Wiley 1(26), 14-37.

Trejo Vázquez, I. (1999). **El clima de la selva baja caducifolia en México**. Investigaciones Geográficas, 1(39)



Van Dijk, A.E., Olthof, M.R., Meeuse, J.C., Seebus, E., Heine, R.J., Van Dam, R.M. (2009). **Acute effects of decaffeinated coffee and major components chlorogenic and trigonelline on glucose tolerance.** Diabetes Care. 32(6), 1023-1025.

Varrone, C., Liberatore, R., Crescenzi, T., Izzo, G., Wang, A. (2013) **The valorization of glycerol: Economic assessment of an innovative process for the bioconversion of crude glycerol into ethanol and hydrogen.** Applied Energy. 105, 349-357

Vijayan, K.; Gopinathan, M.; Ambikapathy, V. (2020). **Phytochemical screening and antioxidant activity of *Diospyros ebenum* J. Koenig ex Retz., leaves extract.** International Journal of Pharmaceutical Sciences & Research.11(10), 5163-6.

### AMARANTO: UNA ALTERNATIVA DE DIVERSIFICACIÓN PRODUCTIVA DE CALIDAD NUTRICIONAL EN LA NORPATAGONIA ARGENTINA<sup>1</sup>

Data de submissão: 24/02/2021

Data de aceite: 24/03/2021

**Maria Fany Zubillaga**

Universidad Nacional de Río Negro (UNRN)-  
Sede Atlántica -  
Centro de Investigación y Transferencia  
(CIT)- CONICET  
Viedma - Río Negro - Argentina  
<https://orcid.org/0000-0001-9080-9847>

**Juan José Gallego**

Instituto Nacional de Tecnología  
Agropecuaria. EEA Valle Inferior.  
Viedma - Río Negro - Argentina  
<https://orcid.org/0000-0002-9340-1641>

**Maite Alder**

Instituto Nacional de Tecnología  
Agropecuaria. EEA Valle Inferior.  
Viedma - Río Negro - Argentina

**RESUMEN:** El cultivo de amaranto (*Amaranthus* sp) se visualiza como una producción alternativa de excelente

<sup>1</sup> Se agradece a la UNRN Sede Atlántica y a la EEA VI Río Negro, especialmente al Área de Producción Animal por proporcionar los medios y las condiciones para la realización de los ensayos que brindaron la información plasmada en este capítulo. Este trabajo surge de la tesis doctoral de la primera autora realizada en la Universidad nacional del Sur. Bahía Blanca Argentina

calidad nutricional para las condiciones agroecológicas del Valle Inferior del Río Negro (VIRN). Por esta razón se llevaron a cabo cultivos de *A. cruentus* cv Mexicano, con el objetivo de evaluar la calidad nutricional del grano mediante diferentes variables (fibra, proteína, cenizas y digestibilidad) en diferentes prácticas de manejo agronómico: fechas de siembra, densidad de plantas, dosis de fertilización nitrogenada y diferentes frecuencias de riego. Las prácticas de manejo empleadas durante el desarrollo del cultivo generaron efectos en la calidad nutricional del mismo. Fechas de siembra tardías (fines de diciembre-mediados de enero) permitieron obtener mejores valores de calidad nutricional. A pesar de ello, las diferencias entre fechas fueron de poca relevancia agronómica por lo que sería conveniente considerar como óptimas siembras entre fines de noviembre y principios de diciembre (tempranas) para las condiciones del VIRN dado que proveen altos rendimientos en grano de adecuada calidad nutricional. Con respecto a la densidad de plantas, el aumento de la misma por sobre 143.000 pl ha<sup>-1</sup> a 0,70 m influyó negativamente en calidad del grano dado que incrementó los valores de fibra y redujo el contenido proteico. La fertilización con dosis de hasta 150 kg N ha<sup>-1</sup> permitió mejorar el contenido de proteína bruta, aunque sería

conveniente evaluar si este efecto de la fertilización en el contenido de proteína y en el rendimiento es económicamente viable para el productor. En relación a la práctica de riego, una frecuencia de 14 días produjo altos rendimientos de adecuada calidad nutricional con un manejo más eficiente del recurso hídrico.

**PALABRAS CLAVE:** Grano. Fertilización. Riego. Fechas de Siembra. Densidad.

## AMARANTH: AN ALTERNATIVE FOR PRODUCTIVE DIVERSIFICATION OF NUTRITIONAL QUALITY IN NORTH PATAGONIA ARGENTINA

**ABSTRACT:** Amaranth cultivation (*Amaranthus* sp) is seen as an alternative production of excellent nutritional quality for the agroecological conditions of the Río Negro Lower Valley (VIRN). This is why, *A. cruentus* cv Mexicano cultivations were carried out, with the aim of evaluating the nutritional quality of the grain through different variables (fiber, protein, ashes and digestibility) in different agronomic management practices: sowing dates, density of plants, doses of nitrogen fertilization and different frequencies of irrigation. The handling practices used during the development of the crop generated effects on its nutritional quality. Late sowing dates (late December-mid January) allowed to obtain better nutritional quality values. In spite of this, the differences between dates were of little agronomic relevance, so it would be convenient to consider as optimal sowings the ones between late November and early December (early) for the VIRN conditions since they provide high yields in grain of an adequate nutritional quality. Regarding plant density, its increase over 143,000 pl ha<sup>-1</sup> at 0.70 m negatively influenced grain quality since it increased fiber values and reduced protein content. Fertilization with doses up to 150 kg N ha<sup>-1</sup> made it possible to improve the crude protein content, although it would be convenient to evaluate whether this effect of fertilization on protein content and yield is economically viable for the producer. In relation to the irrigation practice, a frequency of 14 days produced high yields of adequate nutritional quality with a more efficient management of the water resource.

**KEYWORDS:** Grain. Fertilization. Irrigation. Planting Dates. Density.

## 1 GENERALIDADES DEL CULTIVO DE AMARANTO

### 1.1 CARACTERÍSTICAS DEL AMARANTO

La palabra amaranto proviene del griego y significa “la que no se marchita, la imperecedera”. Este nombre se debe a que sus flores mantienen su aspecto fresco por mucho tiempo después de cortadas sin perder su color.

Técnicamente el amaranto es considerado un pseudocereal, ya que tiene características similares a los granos de los cereales verdaderos de las monocotiledóneas. Su diferencia radica en que el amaranto tiene almidón almacenado en el perispermo y el embrión ocupa gran parte del grano. Esta característica lo destaca por ser una importante

fuelle de lípidos y proteínas. Sin embargo, por ser una dicotiledónea no es considerado como un cereal verdadero.

El amaranto pertenece a la familia Amaranthaceae, género *Amaranthus* que se caracteriza por presentar plantas herbáceas o arbustivas, de ciclo anual, que pueden alcanzar 2,5 m de altura, con tallos erectos, succulentos, cilíndricos. De hojas pecioladas, ovals o elípticas, de borde entero, de color verde o púrpura, con nervaduras prominentes en el envés (Mujica *et al.*, 1997). De raíz pivotante con abundantes ramificaciones (Sumar, 1993). Los amarantos son plantas monoicas, dioicas o polígamas con grandes inflorescencias muy vistosas llamadas panojas, las cuales pueden ser terminales o axilares, erectas o decumbentes, de tamaños variables y colores diversos. La semilla es pequeña, lisa, brillante de colores amarillentos, dorados, rojos, rosados, púrpuras y negros, con un peso de 1000 entre 0,6 y 1 gr (Kigel, 1994).

Este cultivo se caracteriza por presentar una amplia variabilidad genética que les confiere adaptación a numerosas condiciones de clima y suelo con atractivos rendimientos. La familia Amaranthaceae comprende 60 géneros que abarcan unas 800 especies de las cuales la mayoría son nativas de América y solo 15 provienen de Europa, Asia, África y Australia (Sauer, 1967; Feine *et al.*, 1979). Del total de especies, solo 3 se utilizan para la producción de grano: *A. cruentus* L.; *A. hypochondriacus* L.; y *A. caudatus* L.

## 1.2 REGIONES DE PRODUCCIÓN DE AMARANTO

El uso del amaranto se retrae más de 4000 años, existen evidencias arqueológicas que confirman el origen americano de las especies cultivadas para grano, dado que, hojas y semillas del género *Amaranthus* fueron utilizadas por habitantes de América Prehistórica antes del proceso de domesticación de estas plantas (Sauer, 1967). Es así que internacionalmente se asume que el amaranto fue cultivado y utilizado junto al maíz, los frijoles y el chian (salvia Hispánica) por los aztecas en el valle de México, por los mayas en Guatemala, y por los Incas en Sudamérica en Perú, Bolivia y Ecuador junto a la papa, el maíz y la quinua (NRC, 1984).

En la actualidad el amaranto tiene una distribución cosmopolita, que en los últimos años ha sido exponencial en diferentes países del mundo siendo los principales productores de grano China, India, Kenya, México, Nepal, Perú, EE.UU. y Rusia (Bale y Kauffman, 1992, Mujica, *et al.*, 1997).

El amaranto en Argentina solía cultivarse en las regiones de Purmamarca y Humahuaca (Jujuy), en Pampa Grande (Salta) y en los valles de Tucumán y Catamarca. Actualmente el área de cultivo comprende las provincias de Jujuy, Santiago del Estero, Córdoba, este de La Pampa y oeste de Buenos Aires. Potencialmente podría producirse

en las extensas superficies de la zona semiárida al norte de la Patagonia, donde se encuentra ubicado el VIRN, dado que ha demostrado ser apta para este cultivo sin necesidad de desplazar otras actividades agropecuarias.

### 1.3 USOS DEL AMARANTO

La planta de amaranto puede ser utilizada prácticamente en su totalidad. Es así que los granos se utilizan para consumo humano en forma de granos integrales, harina, copos, harina integral de amaranto tostado, amaranto reventado al estilo rosetas, polvo pregel, aceite, barras de cereal, pan de amaranto y como tortilla de amaranto y maíz. La harina generalmente se recomienda para enriquecer pastas, panes, fideos, galletas y alimentos para bebés y celíacos (Bejosano y Corke, 1998; Juan *et al.*, 2007; Mlakar *et al.*, 2009). En cuanto al resto de la planta, la hoja de algunas especies se consume como hortícola y como forrajera, destacándose por contener altos niveles de calcio, hierro, fósforo y magnesio, así como ácido ascórbico, vitamina A y fibras (NRC, 1984; Alfaro *et al.*, 1987).

En Europa, América y algunas regiones de Asia se cultiva con el principal objetivo de la producción de grano. En Malasia e Indonesia básicamente se utiliza como verdura (Mujica, *et al.*, 1997).

En Argentina carece de un sistema de comercialización desarrollado que se refleja en la falta de consumo masivo y en la ausencia de un mercado referencial. En general se vende en negocios de dietéticas en forma de harina, grano o cereal inflado. Si bien no existe un mercado interno consolidado, ni transacciones internacionales, se considera que con mayores volúmenes productivos podría abastecer a otros países.

### 1.4 RINDES Y CALIDAD DE GRANO

Debido a que el amaranto es una especie C4, presenta una elevada eficiencia de asimilación de luz y de agua, que le permite lograr altas tasas de crecimiento y alcanzar un elevado potencial de rendimiento. Por ello, las características locales donde se realiza el cultivo, la tecnología aplicada (densidad de plantas, a la fertilización, al riego, y al control de plagas) y el genotipo utilizado influyen en los rendimientos obtenidos.

En América el rendimiento de siembras comerciales presenta alta variabilidad: 1.000 - 5.300 Kg ha<sup>-1</sup> en México; 800-3.500 Kg ha<sup>-1</sup> en Perú; 600 - 3.800 Kg ha<sup>-1</sup> en Ecuador; 700-2.500 Kg ha<sup>-1</sup> en Bolivia; 4.000 - 5.700 Kg ha<sup>-1</sup> en Chile; y 150 y 1.500 Kg ha<sup>-1</sup> en Argentina (Mujica *et al.*, 1999). Datos más recientes en Argentina mostraron rendimientos que varían desde 350 hasta 3.000 Kg ha<sup>-1</sup> (Troiani *et al.*, 2004; Reinaudi *et al.*, 2011).

## 2 CULTIVO DE AMARANTO EN EL VALLE INFERIOR DEL RÍO NEGRO

### 2.1 DESCRIPCIÓN DEL VALLE INFERIOR DEL RÍO NEGRO

El Valle Inferior de Río Negro (VIRN) se encuentra ubicado en la ribera del río del mismo nombre, en el SE de la Provincia de Río Negro, Argentina (40° 36' - 40° 48' LS y 63° 00' - 63° 30' LO). La zona agrícola bajo riego del VIRN está organizada en pequeñas explotaciones (30 - 120 ha) sistematizadas para el riego gravitacional. La mayor parte de la superficie productiva se destina a especies forrajeras, mayormente alfalfa y pasturas consociadas, utilizadas para engorde vacuno. Las otras producciones que se desarrollan son, en importancia decreciente: frutos secos; cereales (maíz y avena); cebolla, zapallo y horticultura diversificada. Recientemente se iniciaron actividades más intensivas como: cultivos bajo cubierta; engorde a corral y producción porcina (INTA, 2013). Esta variabilidad de producciones puede llevarse a cabo debido a las condiciones ambientales, a la disponibilidad del recurso hídrico y a la gran variabilidad de series de suelo con diferentes clases texturales presentes en la zona.

El clima se caracteriza como semiárido y mesotermal, con temperatura media mensual de 14°C (Peri, 2004). El período libre de heladas es de 164 días entre octubre y mayo. El viento es constante en el año, con velocidades que van desde moderado a muy fuertes. La precipitación media es de 391,2 mm con una distribución casi homogénea en el año. La estación primavera-verano es la de mayor importancia agrícola, presenta un ambiente seco y alta demanda hídrica debido a que las precipitaciones en este período resultan deficitarias para los cultivos sin las aplicaciones de riego (Berasategui, 2002).

### 2.2 PRÁCTICAS AGRONÓMICAS PARA EL CULTIVO DE AMARANTO EN EL VIRN

En el VIRN se realizaron cultivos de amaranto para evaluar su comportamiento en función de su adaptabilidad a diversas prácticas agronómicas (fecha de siembra y densidad, fertilización nitrogenada, frecuencias de riego) y su incidencia en la calidad del grano obtenido.

El suelo donde se realizaron los cultivos se caracterizó como franco arcilloso con propiedades químicas dentro de parámetros normales que lo califican de buena aptitud agrícola. Las labores culturales realizadas previo a la siembra consistieron en: una pasada de rastra pesada, dos pasadas de rastra liviana, surqueado, riego y aplicación de herbicida presiembra (glifosato 4 l ha<sup>-1</sup>).

La siembra se realizó a chorrillo, a una profundidad de 1,5 cm y la variedad utilizada fue *A. cruentus* cultivar Mexicano. La fecha de siembra fue temprana en todos los cultivos, exceptuando aquellos que evaluaban diferentes fechas de siembra (tempranas: mediados

de noviembre y principios de diciembre; y tardías: fines de diciembre y mediados de enero). Una vez emergidas las plántulas el control de malezas se realizó manualmente hasta que las plantas alcanzaron un porte de 50-60 cm, momento en que las plantas lograron una adecuada competencia con las malezas. Con este porte se realizó un raleo para establecer la densidad de plantas deseada (143.000 pl ha<sup>-1</sup> a 0,70 m entre líneas), exceptuando los cultivos que evaluaban diferentes densidades y geometrías de cultivo (71.500, 110.000, 143.000 pl ha<sup>-1</sup> a una cara del surco (0,70 m) y 85.800, 143.000, 286.000, 572.000 pl ha<sup>-1</sup> a dos caras del surco (0,35 m)).

La fertilización se efectuó fraccionada en dos etapas según lo recomendado por Soto (2003). La primera aplicación con plantas próximas a los 60 cm de altura y la segunda a inicios de la etapa de floración. El fertilizante utilizado fue urea granulada y la dosis incorporada como nitrógeno (N) de 90 Kg ha<sup>-1</sup> para todos los cultivos, excepto en aquellos que evaluaban diferentes dosis de fertilización nitrogenada (0, 50, 100, 150, 300 Kg N ha<sup>-1</sup>).

El riego se realizó en forma gravitacional según los requerimientos del cultivo con un total de agua ingresada al perfil de suelo (precipitaciones + agua de riego) entre 850 y 950 mm, con excepción de los trabajos en los que se evaluó diferentes frecuencias de riego (cada 7, 14 y 21 días con un total de agua ingresada de 1260, 940 y 750 mm respectivamente).

La cosecha y trilla fue manual para la evaluación de rendimiento y calidad en cada cultivo.

### 3 CALIDAD DEL GRANO DE AMARANTO PRODUCIDO EN VIRN

Para la evaluación de la calidad del grano obtenido de los diferentes cultivos descriptos anteriormente, se tomaron muestras de grano que fueron molidas hasta consistencia de harina para su análisis en laboratorio. Las variables de calidad determinadas fueron: Materia seca (MS), Proteína bruta (PB), Cenizas (Cen) por metodología AOAC (1990); Fibra detergente neutro (FDN), Fibra detergente ácido (FDA), Lignina detergente ácido (LDA) por método secuencial de detergentes Van Soest *et al.* (1991); y Digestibilidad de la materia seca (DMS) por Ecuación sumativa de Van Soest (1967).

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que las prácticas de manejo empleadas durante el desarrollo del cultivo generan efectos en la calidad nutricional. Algunos autores hacen referencia a la incidencia de la especie, la fecha de siembra y la fertilización nitrogenada en la calidad del cultivo (Sleugh *et al.*, 2001; Pisarikova *et al.*, 2007; Abbasi *et al.*, 2012). En este sentido, los resultados presentados en este capítulo y su discusión se centran en las siguientes prácticas agronómicas:



### 3.1 DIFERENTES FECHAS DE SIEMBRA

El comportamiento de los parámetros de calidad estudiados respecto de las fechas de siembra está asociados al desarrollo general de las plantas donde variables tales como altura, número de nudos, ramificaciones, máximo de hojas y diámetro de tallo son afectados por condiciones ambientales y de cultivo. Así, se observó cómo en las fechas de siembra tardías el crecimiento y desarrollo se redujo, posiblemente en respuesta a factores tales como radiación, fotoperiodo y temperatura que disminuyen luego de la estación estival (Zubillaga, 2017). Estas condiciones generan diferencias morfofisiológicas entre fechas de siembra que ocasionan variaciones en: la calidad nutricional de la fibra en su proporción de celulosa, hemicelulosa y lignina; en el contenido de sustancias inorgánicas (Cen) y proteicas (PB), es por ello que el análisis de calidad reflejó lo que sucedió constitutivamente en la planta.

Para el contenido de fibra (FDN y FDA) se observó una tendencia a disminuir conforme se retrasó la fecha de siembra. La fracción proteica (PB) presentó el comportamiento opuesto al mencionado anteriormente, es decir se incrementó en siembras tardías. Sin embargo, para las tres variables mencionadas la magnitud de estas diferencias fue mínima por lo que se consideran poco relevantes agronómicamente, tomándose como valores promedio: FDN 18,25%; FDA 7,3% y PB 17,6%. Por su parte, los contenidos de LDA, Cen y DMS no mostraron diferencias asociadas a las fechas de siembra estudiadas con valores promedios de 4,24%; 2,25% y 68,4% respectivamente.

Siembras tempranas tienen ciclos de desarrollo más prolongados y mejores condiciones ambientales, que reflejaron una mayor estructura de planta con aumento de sustancias inorgánicas y síntesis de fibras, debido a la necesidad de sostener una estructura floral de mayor porte (Zubillaga, 2017). El contenido de PB se vio reducido posiblemente por el comportamiento biológico de la célula la cual incrementa la pared celular en detrimento del material citoplasmático con la madurez (Sleugh *et al.*, 2001; Yu *et al.*, 2004). En siembras tardías, las condiciones ambientales producen el acortamiento de las etapas fenológicas con una inducción floral temprana y al momento de cosecha las plantas aun presentan hojas y tallos verdosos (fotosintéticamente activos) y por lo tanto, un mayor contenido de proteína y un menor desarrollo de componentes estructurales inorgánicos y lignocelulósicos.

Los valores de Cen encontrados en la bibliografía (William y Brenner, 1995; Gimplinger *et al.*, 2007) varían entre 3 y 4%, es decir valores superiores a lo hallado en este trabajo. Estas diferencias podrían estar asociadas al cultivar estudiado o bien a las condiciones ambientales donde se desarrolló el cultivo. En relación con contenido de PB en grano los resultados obtenidos en esta experiencia se encuentran dentro del rango de

12-19% citado por la bibliografía (Bressani, 1989; Lehmann, 1990; Barba de la Rosa *et al.*, 1992). En cuanto a la digestibilidad no se apreciaron diferencias entre fechas de siembra pese a la reducción observada de las fracciones de FDN y FDA, posiblemente debido a que el contenido de LDA no mostró diferencias entre las fechas estudiadas.

A modo de síntesis podemos mencionar que fechas tardías permiten obtener mejores valores de calidad nutricional. A pesar ello, las diferencias halladas son de poca relevancia agronómica por lo que sería conveniente considerar siembras entre fines de noviembre y principios de diciembre (tempranas) como óptimas para las condiciones del VIRN dado que proveen altos rendimientos (superiores a 3500 kg ha<sup>-1</sup>) de adecuada calidad nutricional.

### 3.2 DIFERENTES DENSIDADES DE PLANTAS

Al evaluar el efecto de la densidad de plantas en las variables de calidad analizadas se observó una tendencia a incrementar la fracción fibra (FDN, FDA y LDA) conforme aumentó la densidad, mientras que Cen, PB y DMS disminuyeron con incremento la densidad del cultivo. El rango de valores entre la densidad más baja y la más elevada fue de 16,4% y 17,3% para FDN; 7,3% y 7,7% para FDA; 3,7% y 4,4% para LDA; 2,4% y 2,3% para Cen; 17,9% y 17,6% para PB y 70,8% y 69,3% para DMS (Zubillaga, 2017).

Los resultados obtenidos evidenciaron como el aumento de densidad de plantas a cosecha permitió incrementar los rendimientos en grano. Sin embargo, en lo que respecta a calidad se observó un comportamiento opuesto, hecho que podría estar asociado al incremento de competencia intraespecífica que se manifestó como una reducción de la biomasa aérea por planta y por lo tanto en una menor superficie fotosintética y menor rendimiento en grano por planta (Zubillaga, 2017). Otros autores coinciden con lo observado y atribuyen este efecto al sombreado y la competencia por luz y nutrientes minerales entre plantas, lo que disminuiría la síntesis de fotoasimilados y la estructura morfológica de las plantas (Yarnia, 2010; y Moshaver *et al.*, 2015). En este sentido en maíz, el sombreado entre plantas redujo la concentración de nitrato reductasa, situación que disminuyó el N en el grano (Graybill *et al.*, 1991) este hecho podría justificar el menor contenido de PB en grano obtenido. La reducción de la calidad del grano observada en este trabajo con el aumento de la densidad podría asociarse al incremento de los valores de fibra y a la reducción del contenido de PB, hecho que explicaría los menores valores de DMS obtenidos.

Es importante destacar que, si bien se detectaron diferencias en las variables de calidad estudiadas respecto de las densidades de planta evaluadas, la magnitud de las mismas sería de poca relevancia agronómica. Por lo tanto, sería importante considerar

como óptima aquella densidad que permitiría alcanzar altos rendimientos con una adecuada eficiencia de los recursos ambientales y buena calidad nutricional del cultivo. En las condiciones de cultivo del VIRN se considera óptima 143.000 pt ha<sup>-1</sup> sembradas a una cara del surco (0,70 cm) para alcanzar rendimientos en grano de 2900 kg ha<sup>-1</sup> (Zubillaga, 2017).

### 3.3 DIFERENTES DOSIS DE FERTILIZACIÓN NITROGENADA

Al evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada en la calidad nutricional del grano se observó que la fracción fibra (FDN, FDA y LDA) y la DMS no presentaron diferencias asociadas al incremento de la dosis fertilización con valores promedios de 16,3%, 7,5%, 4,3% y 70,2% respectivamente, mientras que las Cen y PB, incrementaron conforme aumentó la dosis de fertilización con valores de 2,2% a 2,4% para cenizas, y 16,2% a 19,2% para PB (Zubillaga, 2017). Estos resultados evidencian como la disponibilidad de N por medio de la fertilización favoreció la incorporación de este nutriente a las estructuras de la planta, situación que se visualizó como un incremento de la biomasa total y una mayor durabilidad del área foliar. Esto permitió mantener más tiempo la superficie fotosintética y aumentar la disponibilidad de nutrientes para la síntesis de nuevos componentes nitrogenados entre otros, hecho que podría explicar el incremento del contenido de Cen y PB observado. El comportamiento biológico celular muestra que, con el avance de la madurez, las células de diferentes secciones de la planta (tallo-hoja-grano) muestran un incremento en la pared celular en detrimento del contenido citoplasmático (Sleugh *et al.*, 2001, Yu *et al.*, 2004). Este hecho podría justificar la estabilidad de los valores de fibra y el incremento en el valor de PB por el retraso en la senescencia (extensión del ciclo de cultivo) por efecto de la fertilización nitrogenada. Resultados similares fueron reportados para este mismo cultivo en condiciones de fertilización nitrogenada (Mlakar *et al.*, 2010; Abbasi *et al.*, 2012; Ardali y AghaAlikhanet, 2015).

A modo de síntesis, la fertilización como práctica de manejo en el cultivo de amaranto permite mejorar el contenido de PB de grano bajo las condiciones medioambientales del VIRN. Este efecto se logra con dosis de hasta 150 kg N ha<sup>-1</sup>, por sobre esta dosis no se observan efectos en la calidad del mismo. Es importante mencionar que sería conveniente evaluar si este efecto de la fertilización en el contenido de PB y en el rendimiento es económicamente viable para el productor.

### 3.4 DIFERENTES FRECUENCIAS DE RIEGO

Los resultados de laboratorio asociados a las frecuencias de riego evaluadas evidenciaron que: por un lado, el estrés hídrico generado entre la frecuencia mayor (7

días) y la frecuencia menor (21 días) redujo los componentes estructurales de la fracción fibra de: 16,6% a 15,6% para FDN; de 7,5% a 7,4% para FDA y de 4,3% a 4,2% para LDA y de las Cen de 2,8% a 2,2% y por otro, incrementó del contenido de PB de 18,4% a 18,5% y la DMS de 70% a 71% (Zubillaga, 2017).

Trabajos realizados en este cultivo destacan la tolerancia del mismo a la sequía y su adaptabilidad a zonas marginales, principalmente debido a su eficiente uso del agua (Schahbazain *et al.*, 2006; Ferrarotto 2010; Mlakar *et al.*, 2012). Si bien las diferencias entre las variables estudiadas para las frecuencias de riego utilizadas en el VIRN fue pequeña, estos resultados podrían asociarse con una respuesta morfofisiológica del amaranto, donde, bajo condiciones de estrés hídrico se reduce el porte general de la planta, su biomasa y la elongación de tallos y hojas (Zubillaga, 2017). Esta respuesta podría relacionarse con un incremento del cierre estomático, situación que disminuye la tasa fotosintética y ocasiona disturbios en el funcionamiento del metabolismo de aminoácidos y carbohidratos (Taiz y Zeiger, 2006). Por otra parte, una estrategia de supervivencia del amaranto es disminuir sus carbohidratos estructurales e incrementar los solubles para mantener un ajuste osmótico que permite a la planta continuar sus funciones aún en condiciones de sequía severas (Liu y Stützel, 2002; y Omami y Hammers, 2010). El efecto del estrés hídrico en la composición del grano de amaranto se observa como una disminución del almidón y las cenizas con un incremento de la proteína (Lavini *et al.*, 2016).

En la mayor frecuencia de riego (7 días) se observaron los mayores valores de FDN, FDA, LDA y Cen. Esto podría deberse a una mayor translocación de nutrientes minerales de las raíces a los granos, promovida por la mayor disponibilidad de agua tal como propone Vieira Queiroz, *et al.*, (2015). A nivel celular, el aumento de la fracción fibra se asocia al incremento de las paredes celulares, con lo cual se reduce el contenido citoplasmático y consecuentemente disminuye DMS. Otros autores detallan un comportamiento de la fracción proteica similar al hallado en este trabajo en diferentes cultivos (Singh *et al.*, 2012, Ertek y Kara, 2013; Karasu *et al.*, 2015).

Es importante destacar que la magnitud de las diferencias halladas entre frecuencias de riego para las diferentes variables de calidad estudiadas podría considerarse poco relevantes agronómicamente. No obstante, su importancia radica en el manejo más eficiente del recurso hídrico de la zona, e incluso en la posibilidad de siembra del cultivo en condiciones de secano. A pesar de la merma en los rendimientos ante una restricción de agua (frecuencia cada 21 días), se mantuvo la calidad nutricional con elevados valores PB y DMS.

En el VIRN, los mayores rendimientos fueron de 3800 kg ha<sup>-1</sup> con una frecuencia de riego de 14 días. Esto permitió un manejo sustentable de los recursos suelo y agua y un óptimo balance entre producción y calidad.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A.O.A.C. (1990). Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. Washington D.C. (15th edition).

Abbasi D, Rouzbehan Y, Rezaei J. (2012). Effect of harvest date y nitrogen fertilization rate on the nutritive value of amaranth forage (*Amaranthus hypochondriacus*). Anim Feed Sci Technol 171:6–13.

Alfaro, M.A.; Martínez, A. Ramírez, R.; Bressani, R. (1987). Yield y chemical composition of the vegetal parts of the amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*, L.) at different physiological stages. Arch Latinoam Nutr. 37: 108-121.

Ardali, S. A.; AghaAlikhani, M. (2015). Effect of plant density y nitrogen fertilizer rate on forage yield y quality of cultivated amaranth (*Amaranthus cruentus* L.). Iranian Journal of Crop Sciences. 17 (1): 35-45.

Bale, J. R. y Kauffman, C.S. (1992). Special issue on grain amaranth: New potential for an old crop. Food Rev. Int. 8:1-190.

Barba de la Rosa, A. P, Gueguen, J. Paredes López, O., Viroben, G. (1992). Fractionation procedures electrophoretic characterization, an amino acid composition of amaranth seed proteins. J. Agric. Food Chem. 40:931-936.

Bejosano, F. P. y Corke, H. 1998. Protein quality evaluation of *Amaranthus* wholemeal flours y protein concentrates. J. Sci. Food Agric., 76 (1) 100–106.

Berasategui, L. (2002). Estadísticas climáticas del Valle de Viedma. 30 años: Información Técnica N° 20. Año 1 N°2 – ISSN: 1666-6054. p: 1-70.

Bressani, R. (1989). The Proteins of Grain Amaranth. Food Reviews International, 5(1), 13-38.

Ertek, A., Kara, B. (2013). Yield y quality of sweet corn under deficit irrigation. Agricultural Water Management 129:138-144.

Feine, L. B., Harwood, R., Kauffman, S. C. y Senft, J. P. (1979). Amaranth: gentle giant of the past y the future. En: G. A. Ritchie (Ed.). New Agricultural Crops. AAAS Selected Symposium 38. Westview Press, Boulder, CO. p. 41-63.

Ferrarotto, M.S. (2010). Respuesta de pira (*Amaranthus dubius* Mart. ex Tell.) y amaranto (*Amaranthus cruentus* L.) al déficit hídrico. Rev. Fac. Agron. 36(1):20-27.

Gimplinger, D. M., Dobos, G. R. Schönlechner, Kaul, H. P. (2007). Yield y quality of grain amaranth (*Amaranthus* sp.) in Eastern Austria. Plant soil environ. 53 (3): 105–112

Graybill, J.S., Cox, W.J., y Otis, D.J. (1991). Yield y quality of forage maize as influenced by hybrid, planting date, y plant density. Agron. J. 83:559–564.

INTA 2013. Proyectos Regionales con Enfoque Territorial EEAIVIRN. Disponible en: <http://inta.gob.ar/proyectos/PATNOR-1281308>

Juan, R., Pastor, J., Alaiz, M., Megías, C., y Vioque, J. (2007). Caracterización proteica de las semillas de once especies de amaranto. Grasas y Aceites 58 (1), 49-55.

Karasu, A., Kuşcu, H., Mehmet, Ö. Z., & Bayram, G. (2015). The effect of different irrigation water levels on grain yield, yield components and some quality parameters of silage Maize (*Zea mays indentata* Sturt.). Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca, 43(1), 138-145.

- Kigel, J. (1994). Development y Ecophysiology of Amaranths, en: *Amaranth biology, chemistry, y technology*, cap 4. Ed. Octavio Paredéz-López. p. 39–73.
- Lavini, A., Pulvento, C., D'Yria, R., Riccardi, M., Jacobsen, S.E. (2016). Effects of saline irrigation on yield y qualitative characterization of seed of an amaranth accession grown under Mediterranean conditions. *Journal of Agricultural Science* 154 (5), p. 858-869.
- Liu, F, Stützel, H. (2002). Leaf water relations of vegetable amaranth (*Amaranthus spp.*) in response to soil drying. *Eur J Agron*; 16:137–50.
- Mlakar, G.S., Turinek, M., Jakop, M., Bavec, M., Bavec, F. (2009). Nutrition value and use of grain amaranth: Potential future application in bread making. *Agricultura*, 6: 43-53
- Mlakar, S. G., Jakop, M., Turinek, M., Robažer, M., Bavec, M., & Bavec, F. (2010). Protein content and amino acid composition of grain amaranth depending on growing season, sowing date and nitrogen supply. 45. hrvatski i 5. Međunarodni simpozij agronoma, 15-19 veljače 2010, Opatija, Hrvatska. Zbornik Radova, 727-732.
- Mlakar, S. G; Bavec, M., Jakop, M. y Bavec, F. (2012). The Effect of Drought Occurring at Different Growth Stages on Productivity of Grain Amaranth *Amaranthus cruentus* G6. *Journal of Life Sciences* (6) 283-286.
- Moshaver, E., Emam, Y., Madani, H., NourMohamadi, G., Sharifabad, H. H. (2015). Comparison of qualitative y quantitative performance of forage crops maize, sorghum y amaranth as affected by planting density y date in fars province, Iran. 4: 2319–5037 ISSN: 2319–4731.
- Mujica, A. (1997). El cultivo del amaranto (*Amarantus spp.*): producción, mejoramiento genético y utilización. (No. F006. 020). FAO Universidad de Concepción (UDEC), Chile Universidad Nacional del Altiplano (UNA), Peru.
- Mujica, A., Izquierdo, J., & Jacobsen, S. (1999). Prueba Americana de Cultivares de Amaranto. Reunión técnica y taller de formulación de proyecto regional sobre producción y nutrición humana en base a cultivos andinos, 47-54.
- NRC: National Research Council. 1984. Amaranth: Modern prospects for an ancient crop. National Academy Press, Washington, DC. EUA. 80 p.
- Omami, E.N. y Hammes, P.S. (2010). Interactive effects of salinity y water stress on growth, leaf wáter relations, y gas exchange in amaranth (*Amaranthus spp.*) *New Zealy Journal of Crop y Horticultural Science*, 2006, Vol. 34: 33-34.
- Peri, G. (2004). La agricultura irrigada en Río Negro y su contribución al desarrollo regional. Documentos, presentaciones y reportes del seminario taller sobre desarrollo rural. Banco Mundial, 115 pág.
- Písaříkova B, Peterka J, Trčková M, Moudrý J, zralý Z, Herzig I. (2007). The content of insoluble fibre y crude protein value of the aboveground biomass of *Amaranthus cruentus* y *A. hypochondriacus*. *Czech J. Anim. Sci.*, 52 (10): 348–353.
- Reinaudi, N. B; Repollo, R; Janovská D.; Délamo Frier, J.; R; Martín de Troiani, R. (2011). "Evaluación de genotipos de amaranto (*Amaranthus spp.*) para la adaptabilidad productiva en el área de la Facultad de Agronomía" en: *Revista Científica UDO Agrícola* N° 11 (1): 50-57.
- Sauer, J. D. 1967. The grain amaranths y their relatives: a revised taxonomic y geographic survey. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 37: 561-616.

- Schahbazian, N., Kamkar, B. y Iran Nejad, H. (2006). Evaluation of Amaranth Production Possibility in Arid y Semi-Arid Regions of Iran. *Asian Journal of Plant Sciences*, 5: 580-585.
- Singh, S., Gupta, A. K., & Kaur, N. (2012). Influence of drought and sowing time on protein composition, antinutrients, and mineral contents of wheat. *The Scientific World Journal*, 2012.
- Sleugh B.B., Moore K.J., Brummer E.C., Allan D.K., Russell J., Gibson L. (2001). Forage nutritive value of various amaranth species at different harvest dates. *Crop Sci.*, 41:466-472.
- Soto, G. (2003). Abonos orgánicos: el proceso de compostaje. In: Gloria Meléndez y Gabriela Soto (eds.) *Taller de abonos orgánicos*. Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica. San Pedro de Montes de Oca, San José, Costa Rica. pp 30 – 57.
- Sumar Kalinowski, L. (1993). La kiwicha y su cultivo. Centro Bartolomé de las Casas. Cusco, Perú.
- Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). *Plant Physiology* 4th Edition Sinauer Associates. Inc. Sunderland. England.
- Troiani, R. M., Sánchez, T. M., Reinaudi, N. B. (2004). Optimal sowing dates of three species of grain-bearing amaranth in the semi-arid Argentine Pampa. *Spanish Journal of Agricultural Research* 2 (3): 385-391.
- Van Soest, P. J., Robertson, J. B., y Lewis, B. A. (1991). Methods for Dietary Fiber, Neutral Detergent Fiber, y Nonstarch Polysaccharides in Relation to Animal Nutrition. *Journal of Dairy Science*, 74 (10): 3583–3597.
- Vieira Queiroz, V. A. V., Santana da Silva, C.; Bezerra de Menezes, C.; Schaffert, R. E.; Mendes Guimaraes, F. F., Guimaraes, L. J. M.; Oliveira Guimaraes, P.E., Dessaune Tardin, F. (2015). Nutritional composition of sorghum (*sorghum bicolor* (L.) Moench) genotypes cultivated without & with water stress. *J.Cereal Sci* 65 103-111
- Williams, J. T., Brenner, D. (1995). Grain amaranth (*Amaranthus* species). In: Williams J.T. (ed.): *Cereals y Pseudocereals*. Chapman y Hall, London: 129–186.
- Yarnia, M., Khorshidi Benam, M. B. y Farajzadeh Memari Tabrizi, E. (2010). Sowing dates y density evaluation of amaranth (cv. Koniz) as a new crop. *Journal of Food, Agriculture y Environment* Vol.8 (2): 445-448.
- Yu, P., Christensen, D. A., McKinnon, J. J., (2004). In situ rumen degradation kinetics of timothy y alfalfa as affected by cultivar y stage of maturity. *Can. J. Anim. Sci.* 84, 255–263.
- Zubillaga, M. F. (2017). Comportamiento del cultivo de amaranto en el valle inferior del río Negro, Argentina: optimización de las condiciones del cultivo.

## CAPÍTULO 16

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

Data de submissão: 28/02/2021

Data de aceite: 22/03/2021

**Joana Paula Bispo Nascimento**

Programa de Pós-Graduação em

Ecologia e Conservação,

Universidade Federal de Sergipe

São Cristóvão – Sergipe

<http://lattes.cnpq.br/7145328181318600>

<https://orcid.org/0000-0002-6599-3221>

**Marcos Vinicius Meiado**

Laboratório de Fisiologia de Sementes,

Departamento de Biociências,

Universidade Federal de Sergipe

Itabaiana – Sergipe

<http://lattes.cnpq.br/7578950823950448>

<https://orcid.org/0000-0002-9334-5985>

**RESUMO:** Em ambientes áridos, a disponibilidade de água na superfície do solo ocorre por um curto período, devido à baixa precipitação e às altas taxas de evaporação. Nesses ecossistemas, a embebição das sementes não é contínua e ocorrem ciclos de hidratação e desidratação (ciclos de HD) antes da germinação. Alguns pesquisadores vêm elucidando o comportamento de espécies nativas em resposta à hidratação descontínua, especialmente com espécies

da Caatinga, uma Floresta Tropical Seca brasileira. Assim, o objetivo deste capítulo foi realizar uma revisão dos estudos publicados nas últimas duas décadas que avaliaram a resposta de sementes e plântulas submetidas à hidratação descontínua, a fim de mostrar o cenário atual das pesquisas relacionada ao tema com espécies do semiárido brasileiro. A revisão bibliográfica compreendeu artigos, capítulos de livros, resumos, monografias, dissertações de mestrado e teses de doutorado publicados nas últimas duas décadas. Nesse período, 106 trabalhos foram escritos e publicados sobre hidratação descontínua de sementes de espécies que ocorrem na Caatinga, sendo apenas 14% representados por artigos científicos. A maioria das publicações é com espécies arbóreas, sendo estas representantes das famílias Fabaceae (15 espécies), Cactaceae (5 espécies), Anacardiaceae (4 espécies), Bignoniaceae (3 espécies), Euphorbiaceae (2 espécies), Apocynaceae, Arecaceae, Bromeliaceae, Polygonaceae e Rhamnaceae (1 espécie cada). Mais da metade dos trabalhos publicados avaliaram alterações fisiológicas em sementes das espécies submetidas a ciclos de HD. Por sua vez, cerca de 30% das publicações abordaram as alterações morfoanatômicas de plântulas após as sementes terem sido submetidas à hidratação descontínua e menos de 15%



realizaram análises bioquímicas. Já foi comprovado nesses estudos que a hidratação descontínua confere benefícios à germinação e à sobrevivência as plântulas, o que indicará novos caminhos para o desenvolvimento de novas técnicas de produção de mudas, bem como novos conhecimentos em várias áreas da Ecofisiologia Vegetal.

**PALAVRAS-CHAVE:** Memória hídrica. Germinação de sementes. Estabelecimento de plântulas. Caatinga.

## DISCONTINUOUS HYDRATION OF SEEDS IN SEMIARID REGIONS AND THEIR ECOLOGICAL IMPLICATIONS: A REVIEW FOCUSING ON THE BRAZILIAN TROPICAL DRY FOREST

**ABSTRACT:** In arid environments, water is available in the soil surface for a short period, due to low precipitation and high evaporation rates. In these ecosystems, the imbibition of the seeds is not continuous, and hydration and dehydration cycles (HD cycles) occur before germination. Some researchers have been elucidating the behavior of native species in response to discontinuous hydration, especially with species from the Caatinga, a Brazilian Tropical Dry Forest. Thus, the aim of this chapter was to carry out a review of studies published in the last two decades that evaluated the response of seeds and seedlings submitted to discontinuous hydration, to show the current research scenario related to the theme with species from the Brazilian semiarid. The literature review included papers, book chapters, abstracts, monographs, master's dissertations, and doctoral theses published in the last two decades. During this period, 106 papers were written and published on discontinuous hydration of seeds of species that occur in the Caatinga, with only 14% represented by scientific papers. Most publications are with tree species, these being representatives of the families Fabaceae (15 species), Cactaceae (5 species), Anacardiaceae (4 species), Bignoniaceae (3 species), Euphorbiaceae (2 species), Apocynaceae, Arecaceae, Bromeliaceae, Polygonaceae and Rhamnaceae (1 species each). More than half of the published works evaluated physiological changes in seeds of species submitted to HD cycles. In turn, about 30% of the publications addressed the morphological and anatomical changes of seedlings after the seeds had been subjected to discontinuous hydration and less than 15% performed biochemical analyzes. It has been proven in these studies that discontinuous hydration provides benefits to germination and seedling survival, which will indicate new paths for the development of new seedling production techniques, as well as new knowledge in several areas of Plant Ecophysiology.

**KEYWORDS:** Seed hydration memory. Seed germination. Seedling establishment, Caatinga.

### 1 INTRODUÇÃO

As áreas de Caatinga, uma Floresta Tropical Seca localizada majoritariamente na região Nordeste do Brasil, são caracterizadas pela escassez e irregularidade das chuvas e pelas altas temperaturas durante boa parte do ano, com uma vegetação

que apresenta florística e fisionomia própria (Meiado *et al.*, 2020). A vegetação desse ecossistema é condicionada pela topografia e pela baixa precipitação pluvial, combinada com as características edáficas do ambiente (Fernandes *et al.*, 2020). De forma geral, as sementes das espécies que ocorrem na Caatinga apresentam adaptações morfológicas, fisiológicas e ecológicas, com estratégias reprodutivas que as permitem germinar e se estabelecer, mesmo em condições extremas (Meiado *et al.*, 2012).

Essas sementes de diferentes espécies da Caatinga são produzidas continuamente, devido aos variados padrões de fenologia e a sazonalidade climática, além de apresentarem grande variação de forma, tamanho, coloração e estruturas anexas, que podem afetar direta ou indiretamente o seu padrão de dispersão e respostas germinativas (Meiado *et al.*, 2012). Apesar da alta produção durante várias épocas do ano, a maioria das espécies dispersa suas sementes no final da estação seca e início da estação chuvosa, o que favorece a germinação e o estabelecimento das plântulas nesse ambiente (Meiado *et al.*, 2012).

De maneira geral, as sementes da Caatinga são dispersas com baixo teor de água e o processo germinativo se inicia com um conteúdo hídrico reduzido e sob estresse. Baseado nesse conhecimento, alguns estudos vêm sendo desenvolvidos com a finalidade de aumentar a qualidade fisiológica da semente através de tratamentos como, por exemplo, o hidrocondicionamento ou *priming* (Chen & Arora, 2013). Esses tratamentos consistem, basicamente, em uma hidratação das sementes durante um tempo específico, a qual permita os processos respiratórios essenciais à germinação, porém, que seja insuficiente para propiciar a protrusão da radícula. Fisiologicamente, a semente completaria as fases I e II da embebição, que são preparatórias para a germinação, sem, no entanto, avançar para a fase III, devido à interrupção do fornecimento hídrico, que impede o alongamento celular e, conseqüentemente, a protrusão da radícula (Alvarado-Lopez *et al.*, 2014). O hidrocondicionamento utiliza água sem nenhuma outra solução adicional, sendo, a quantidade de água que entra na semente controlada pelo tempo que estas passam em contato direto com a água.

Em ambientes desérticos, áridos e semiáridos, a disponibilidade de água no solo ocorre por um curto espaço de tempo, devido à baixa precipitação e às altas taxas de evaporação. A embebição, nesses ecossistemas, pode não ser contínua, ocorrendo, naturalmente, ciclos de hidratação e desidratação (ciclos de HD), o que poderia ser considerado um *priming* natural das sementes que ocorrem nesses ambientes. Sob essas condições, onde a embebição das sementes nem sempre resulta em germinação, a hidratação prévia pode facilitar os processos bioquímicos e celulares que precedem a germinação, alterando o comportamento fisiológico das sementes, auxiliando em uma maior germinabilidade, em um menor tempo e de forma mais sincronizada (Dubrovsky,

1996; 1998; Alvarado-Lopez *et al.*, 2014; Contreras-Quiroz *et al.*, 2016; Lima & Meiado, 2017a; 2018a; 2018b; Lima *et al.*, 2018a).

De acordo com Dubrovsky (1996; 1998), a hidratação descontínua proporciona às sementes o que podemos chamar de memória hídrica. Essa memória, ocasionada pelo processo de embebição e posterior desidratação, preserva as características resultantes da hidratação prévia e ativa alguns genes específicos da planta relacionados à tolerância aos estresses ambientais (Dubrovsky, 1996; 1998; Rito *et al.*, 2009a; Meiado, 2013). A maioria dos estudos realizados acerca dos benefícios proporcionados pelos ciclos de HD são, principalmente, desenvolvidos com espécies de interesse agrônomo. Porém, recentemente, alguns pesquisadores vêm elucidando o comportamento de espécies nativas acerca de diferentes técnicas de condicionamento, especialmente com espécies da Caatinga. Dessa forma, o objetivo deste capítulo foi realizar uma revisão dos estudos publicados nas últimas duas décadas, que avaliaram a resposta de sementes e plântulas de espécies que ocorrem na Caatinga submetidas à hidratação descontínua, a fim de mostrar o cenário atual das pesquisas relacionada ao tema com espécies do semiárido brasileiro.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### *Análise cientiométrica*

Para a realização da revisão bibliográfica foi realizada uma busca nas principais bases de dados nacionais e internacionais, tais como ISI Web of Knowledge, SciELO, Bireme, Periódicos Capes e Google Acadêmico. As consultas foram realizadas utilizando as palavras e expressões “hidrocondicionamento”, “hidratação descontínua”, “ciclos de hidratação e desidratação”, “memória hídrica”, “germinação”, “sementes”, “plântulas”, “mudas”, “desenvolvimento inicial” e “Caatinga” (em inglês – “hydropriming”, “discontinuous hydration”, “hydration and dehydration cycles”, “hydration memory”, “germination”, “seed”, “seedling” e “early development”). Além disso, foram consultados os Currículos da Plataforma Lattes (<http://lattes.cnpq.br/>) de todos os pesquisadores que trabalham com sementes e plântulas e que estão vinculados às instituições de pesquisa e de ensino superior localizadas em todos os estados da região Nordeste do Brasil, para buscar publicações com essa temática.

A revisão bibliográfica compreendeu artigos, capítulos de livros, resumos expandidos, resumos simples, monografias, dissertações de mestrado e teses de doutorado publicados nas últimas duas décadas, de 2001 a fevereiro de 2021. Foram selecionados os estudos que apresentaram informações no título ou palavras-chaves do trabalho. Os trabalhos de hidrocondicionamento levantados nesta revisão foram

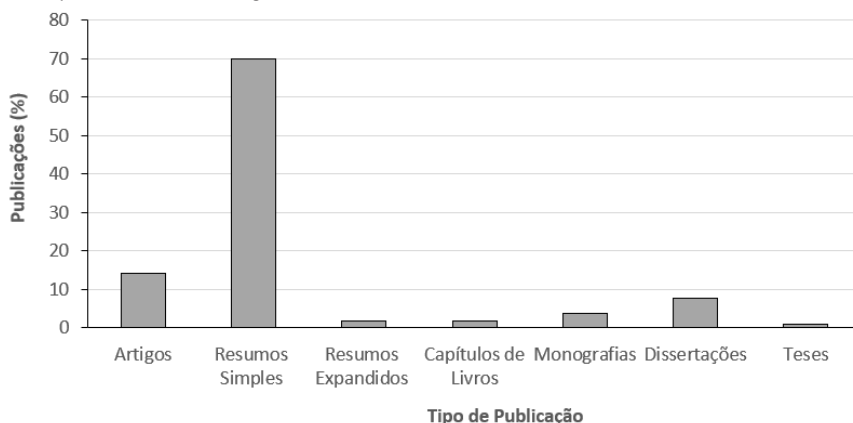
agrupados em três categorias de temas abordados nas pesquisas: (1) alterações fisiológicas, (2) alterações morfoanatômicas e (3) alterações bioquímicas e moleculares proporcionadas pela hidratação descontínua. Quando um mesmo trabalho abordou dois ou mais temas, este foi incluído em todas as categorias criadas. Entretanto, sua citação foi contabilizada apenas uma vez no total de trabalhos consultados.

Estudos realizados com a espécie invasora *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) também foram incluídos nas análises deste capítulo. Além disso, as espécies ainda foram classificadas de acordo com o hábito (*i.e.*, herbáceo, arbustivo ou arbóreo), a categoria de ameaça (segundo a Lista Vermelha da União Internacional para a Conservação da Natureza e dos Recursos Naturais) e a fase do ciclo de vida que foi avaliada no estudo (*i.e.*, semente, plântula, planta jovem ou adulto). As classificações do hábito e da categoria de ameaça das espécies levantadas nos estudos sobre hidratação descontínua de sementes, bem como a grafia válida e atualizada dos nomes científicos foram obtidas na Lista de Espécie da Flora do Brasil (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/>). Todas as referências foram numeradas e organizadas em tabela de acordo com as espécies estudadas para facilitar a localização dos trabalhos consultados.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas últimas duas décadas, 106 trabalhos foram escritos e publicados sobre hidratação descontínua de sementes de espécies que ocorrem na Caatinga, sendo cerca de 70% destes representados por resumos simples e apenas 14% foram representados por artigos científicos, seguidos de dissertações de mestrado, monografias, resumos expandidos, capítulos de livros e teses de doutorado (Figura 1). Como podemos observar, a maioria desses trabalhos ainda não foi publicado na forma de artigo científico, o que pode dificultar a divulgação dos resultados presentes nesses estudos.

Figura 1. Categorias de trabalhos publicados nas últimas duas décadas sobre hidratação descontínua de sementes de espécies que ocorrem na Caatinga.



O primeiro estudo sobre hidrocondicionamento com sementes da Caatinga foi publicado no ano de 2009 e realizado com o cacto *Cereus jamacaru* DC. subsp. *jamacaru* (Cactaceae), espécie conhecida popularmente como mandacaru (Rito *et al.*, 2009a). Não coincidentemente, essa também foi a primeira espécie da família Cactaceae a despertar o interesse dos pesquisadores brasileiros da área de sementes (para mais informações sobre estudos com sementes e plântulas de cactos do Brasil veja a revisão de Meiado *et al.*, 2017), sendo também a única espécie utilizada para a análise de todos os temas de pesquisa levantados nesta revisão.

Segundo Meiado *et al.* (2015), essa planta é amplamente conhecida e possui uma das maiores distribuições geográficas dos cactos que ocorrem no país, o que pode contribuir para esse resultado. Em seu artigo publicado no Boletín de la Sociedad Latinoamericana y del Caribe de Cactaceas y otras Suculentas, Rito *et al.* (2009a) se perguntaram no título da publicação: “As sementes de mandacaru têm memória hídrica?”. Esse foi o primeiro questionamento relacionado aos efeitos da hidratação descontínua em sementes de espécies nativas da Caatinga e serviu como ponto de partida para várias pesquisas desenvolvidas, posteriormente, com outras espécies que ocorrem nesse ecossistema semiárido.

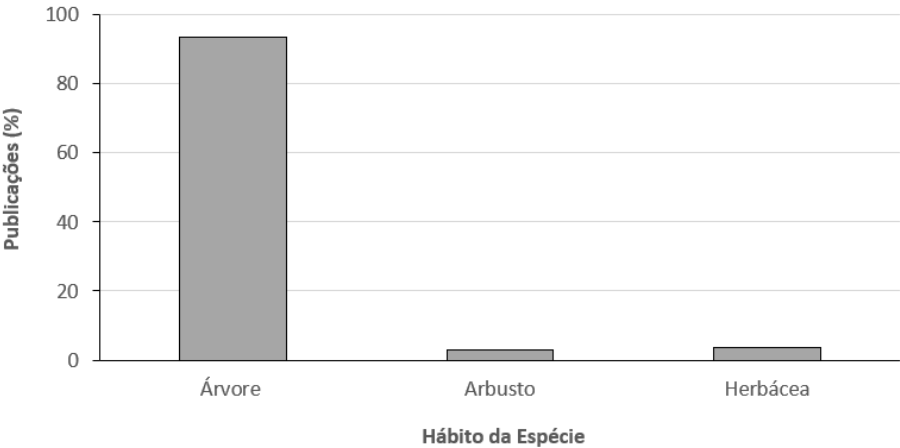
Além de mostrar os benefícios que a hidratação descontínua conferiu às sementes de mandacaru como, por exemplo, as alterações fisiológicas observadas durante a germinação das sementes, que refletiram em uma germinação mais rápida e sincronizada, Rito *et al.* (2009a) concluíram que as sementes dessa espécie têm sim memória hídrica e chamaram atenção para outro ponto muito importante da técnica de hidratação descontínua: o tempo de hidratação. De acordo com suposições feitas por esses autores na discussão do seu artigo, um longo tempo de hidratação poderia justificar resultados não satisfatórios em estudos de hidratação descontínua realizados com sementes que ocorrem em ambientes semiáridos, pois, nesses ambientes, as sementes que passam naturalmente pela hidratação descontínua no solo não estariam em contato com a água por um período muito extenso. Esse apontamento feito pelos autores trouxe à tona a importância de se conhecer a dinâmica de absorção de água pela semente da espécie estudada antes de se determinar os tratamentos adequados dos ciclos de HD, pois cada espécie apresenta sua própria curva de embebição e a aposta em tempos padronizados, sem considerar a velocidade de absorção de água pela semente, pode acarretar prejuízos ao processo germinativo. Apenas anos mais tarde, outros trabalhos começaram a ser desenvolvidos sobre o tema hidratação descontínua, havendo um pico de publicações em 2018 (Figura 2).

Figura 2. Número de trabalhos publicados anualmente nas últimas duas décadas sobre hidratação descontínua de sementes de espécies que ocorrem na Caatinga.



Com o aumento do número de pesquisas realizadas sobre hidratação descontínua de sementes, outras espécies de diferentes famílias, além de Cactaceae (5 espécies), também começaram a ser objeto de estudo como, por exemplo, os representantes das famílias Fabaceae (15 espécies), Anacardiaceae (4 espécies), Bignoniaceae (3 espécies), Euphorbiaceae (2 espécies), Apocynaceae, Arecaceae, Bromeliaceae, Polygonaceae e Rhamnaceae (1 espécie cada), totalizando 34 espécies estudadas até o presente momento (Tabela 1). Dessas, a maioria das publicações é com espécies arbóreas, seguida de herbáceas e arbustos (Figura 3).

Figura 3. Hábito das espécies estudadas nos trabalhos publicados nas últimas duas décadas sobre hidratação descontínua de sementes de espécies que ocorrem na Caatinga.



A Caatinga possui 3347 espécies catalogadas, as quais estão agrupadas em 962 gêneros e 153 famílias (Fernandes *et al.*, 2020), sendo o número total de espécies estudadas ainda pouco expressivo (1,02% das espécies registradas na Caatinga), o que

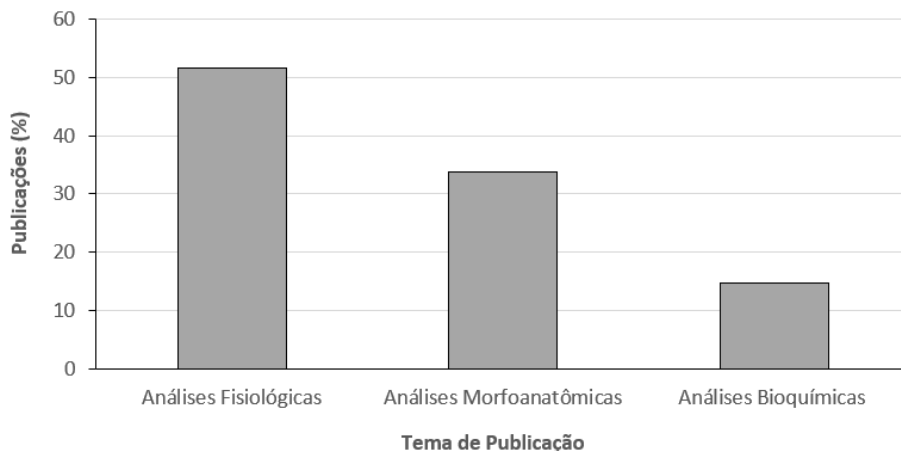
demonstra a carência de estudos sobre o tema da hidratação descontínua de sementes em espécies nativas que ocorrem nesse ecossistema semiárido.

Além da necessidade de se conhecer a dinâmica de absorção de água das sementes para se determinar tratamentos adequados de ciclos de HD, com os avanços dos estudos desenvolvidos com as sementes das espécies que ocorrem na Caatinga, outros problemas de ordem técnica foram surgindo e sendo resolvidos para o aprimoramento da metodologia da hidratação descontínua em sementes de espécies nativas. Uma característica comum de sementes de várias espécies que ocorrem na Caatinga é a presença de uma dormência tegumentar, que impede ou dificulta a entrada de água nas sementes e, conseqüentemente, influencia os processos metabólicos relacionados aos benefícios da hidratação descontínua. Visando a resolução desses problemas técnicos, Nascimento (2016) propôs, em sua dissertação de mestrado, uma análise mais minuciosa da curva de embebição para a determinação de diferentes tempos de hidratação, que seriam indicados para os ciclos de HD. Esses diferentes tempos de hidratação foram denominados pela autora de tempos X, Y e Z, os quais correspondem a  $\frac{1}{2}$  da primeira fase da embebição e  $\frac{1}{4}$  e  $\frac{3}{4}$  da segunda fase de embebição, respectivamente. Além disso, em seu estudo realizado com sementes de espécies arbóreas da família Fabaceae nativas da Caatinga, a autora chama a atenção para a necessidade de se selecionar uma técnica adequada que garanta a completa superação da dormência tegumentar das sementes antes de se determinar a curva de embebição das espécies estudadas e, conseqüentemente, seus diferentes tempos de hidratação nos ciclos de HD. Segundo Nascimento (2016; 2021) e Nascimento *et al.* (2021), diferentes tempos de hidratação conferem respostas fisiológicas diferenciadas quando as sementes são submetidas a estresses abióticos distintos, o que reforça ainda mais a necessidade de se conhecer a dinâmica de absorção de água pelas sementes, bem como determinar a técnica mais adequada de superação de dormência e o método de análise de germinação das sementes antes de se avaliar suas respostas fisiológicas aos ciclos de HD. Após a proposição dessa adequação da técnica de análise da memória hídrica realizada por Nascimento (2016), vários autores passaram a avaliar os diferentes tempos de hidratação propostos pela autora (tempos X, Y e Z) em sementes de outras espécies nativas da Caatinga submetidas a diferentes estresses abióticos, confirmando as diferenças nas respostas fisiológicas observadas por Nascimento (2016) em sementes de espécies arbóreas nativas da família Fabaceae [para exemplos de outras espécies e famílias que ocorrem na Caatinga, veja os trabalhos de Hora & Meiado (2016a), Lima & Meiado (2017a; 2018a) e Lima *et al.* (2018a)].

Com relação aos temas estudados, mais da metade dos trabalhos publicados avaliaram alterações fisiológicas em sementes das espécies submetidas a ciclos de HD.

Por sua vez, cerca de 30% das publicações abordaram as alterações morfoanatômicas de plântulas após as sementes terem sido submetidas à hidratação descontínua e menos de 15% realizaram análises bioquímicas, não sendo observado, até o momento, análises moleculares que possam auxiliar o entendimento das respostas observadas nas sementes e plântulas submetidas aos ciclos de HD (Figura 4).

Figura 4. Tema dos trabalhos publicados nas últimas duas décadas sobre hidratação descontínua de sementes de espécies que ocorrem na Caatinga.



De forma geral, inúmeros benefícios provenientes do condicionamento em sementes já foram relatados. Segundo alguns autores, essas técnicas também favorecem a ativação de muitos processos bioquímicos e fisiológicos relacionados à germinação, como o auto reparo de membranas e o estímulo da atividade de enzimas removedoras de radicais livres (Bailly *et al.*, 2002), aumento do conteúdo de DNA e RNA (Bruce *et al.*, 2007), mobilização de reservas (Varier *et al.*, 2010; Alvarado-Lopez *et al.*, 2014), maior porcentagem e redução do tempo de germinação, bem como aquisição de tolerância às condições de estresses abióticos, como déficit de água, excesso de sais e temperaturas sub e supra ótimas (Dubrovsky, 1996; Nascimento, 2016; Lima & Meiado, 2017a; Nascimento, 2021; Nascimento *et al.*, 2021), além de conferir às plântulas uma maior tolerância quando submetidas a déficit hídrico (Dubrovsky, 1996; Lima & Meiado, 2018a; 2018b).

A técnica do hidrocondicionamento, realizada em ambiente controlado de laboratório, tenta simular condições naturais de campo. Por ser mais simples e não empregar reagentes ou equipamentos sofisticados, esses estudos já mostraram a presença de memória hídrica em várias espécies da Caatinga (Tabela 1), porém, a maioria dos trabalhos não deixou claro como fisiologicamente esse processo ocorre, indicando a necessidade de mais estudos bioquímicos e moleculares nessa área tão vasta. Até o momento, o que está comprovado nos trabalhos encontrados nesta revisão é que a



resposta das sementes aos ciclos de HD apresenta variações a depender da espécie, da população, do lote, da quantidade dos ciclos de HD, do clima e microambiente onde as sementes são produzidas e, principalmente, do tipo de estresse ambiental que a semente é submetida após passar pela hidratação descontínua (Meiado, 2013; Nascimento, 2016; Santos & Meiado, 2017a; Lima & Meiado, 2017a; 2018a; 2018b; Lima *et al.*, 2018a; Santos *et al.*, 2018a; 2018d; Nascimento *et al.*, 2021). Algumas dessas características serão exemplificadas a seguir com espécies da Caatinga.

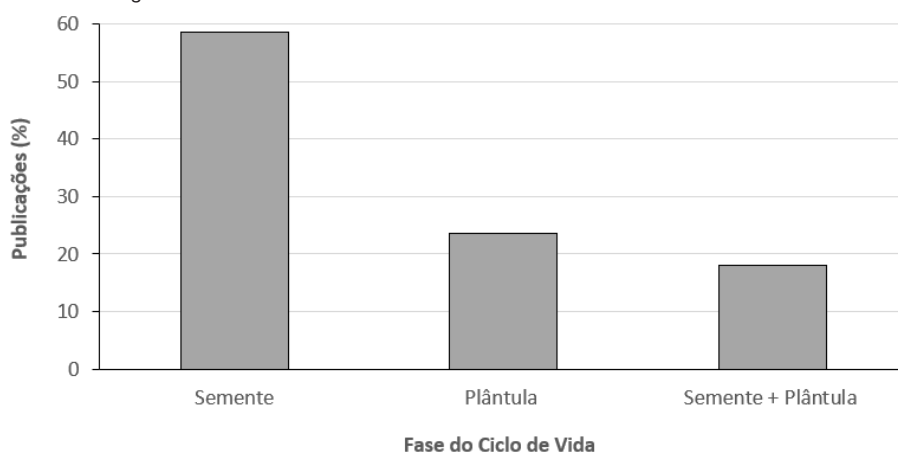
Em estudos realizados com sementes e plântulas de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & G.D. Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi (Cactaceae) coletadas em áreas de Caatinga e Restinga, Lima e Meiado (2017a; 2018b) observaram que essa espécie de cacto colunar responde de forma diferenciada tanto na germinação quanto no crescimento das plântulas, quando estas são submetidas a estresses ambientais após as sementes terem passado pelos ciclos de HD. Em geral, as sementes de *P. catingicola* subsp. *salvadorensis* coletados no ecossistema Caatinga que passaram pela hidratação descontínua apresentaram maior tolerância ao estresse hídrico, enquanto as sementes da mesma espécie coletadas na população da Restinga foram mais tolerantes ao estresse salino após as sementes passarem pelos ciclos HD, indicando um comportamento germinativo diferencial entre essas duas populações (Lima & Meiado, 2017a; Lima & Meiado, 2018b). Os autores relacionaram essa diferença ao ambiente em que essa espécie ocorre. Os cactos que ocorrem em Restinga estão muito próximos do mar, onde são submetidos às condições de maior salinidade que os indivíduos da Caatinga que, por sua vez, possuem a disponibilidade de água no solo como principal fator limitante para a germinação de sementes e estabelecimento de novas plantas. Além disso, uma mesma população de *P. catingicola* subsp. *salvadorensis* pode apresentar uma resposta diferenciada em relação à hidratação descontínua quando as sementes são produzidas em diferentes estações do ano. De acordo com Lima *et al.* (2018e), sementes de *P. catingicola* subsp. *salvadorensis* produzidas na estação seca adquirem mais tolerância ao déficit hídrico após a passagem pelos ciclos de HD quando comparadas às sementes produzidas na estação chuvosa de um mesmo ano.

Sementes da mesma espécie também podem apresentar respostas germinativas diferenciadas quando submetidas a estresses ambientais distintos. Por exemplo, ao passarem por ciclos de HD, as sementes *P. nitens* adquirem tolerância ao estresse salino, porém, a hidratação descontínua não confere aquisição de tolerância ao déficit hídrico. Esse comportamento pode ser atribuído às características inerentes à própria espécie, que pode ser considerada como insensível ao pré-condicionamento (Nascimento, 2016). Outra espécie que também se mostrou insensível ao hidrocondicionamento foi a espécie

*A. cearensis*, onde a hidratação descontínua não influenciou nenhum dos parâmetros de germinação e crescimento inicial, além de apresentar uma germinação mais lenta após três ciclos de HD. Segundo os autores, embora não tenha sido observada uma influência positiva da hidratação descontínua na germinação e no desenvolvimento inicial dessa espécie, a técnica de hidrocondicionamento das sementes e plântulas não deve ser descartada para a sua produção de mudas, pois ainda não foi testada sua influência sob condições de estresse (Santos & Meiado, 2017a). Algumas espécies podem não apresentar uma influência dos ciclos de HD na germinação. Porém, os ciclos de HD podem favorecer o estabelecimento de plântulas que se desenvolvem sob condições não controladas no ambiente (Meiado, 2013).

Além da germinação das sementes, como já foi mencionado, outras fases do ciclo de vida das plantas que apresentam essa memória hídrica podem ser favorecidas pela hidratação descontínua como, por exemplo, o recrutamento e desenvolvimento das plântulas, que podem ser mais vigorosas e apresentar um maior crescimento quando as sementes são submetidas a ciclos de HD (Meiado, 2013; Lima & Meiado, 2018a). A maioria dos trabalhos, cerca de 60% avaliaram somente as respostas fisiológicas das sementes, porém pouco mais de 40% dos trabalhos levaram em conta a análise morfoanatômica das plântulas, demonstrando em sua grande maioria que os benefícios da memória hídrica podem se perpetuar no indivíduo (Figura 5).

Figura 5. Fase do ciclo de vida avaliada nos trabalhos sobre hidratação descontínua de sementes de espécies que ocorrem na Caatinga.



Lima e Meiado (2018a) observaram que os ciclos de HD durante a germinação de *M. tenuiflora* levam a produção de mudas mais vigorosas, com maior altura e quantidade de matéria seca foliar quando comparadas a plântulas originadas de sementes não tratadas. Desta forma, a memória hídrica parece estar intimamente relacionada ao sucesso

reprodutivo de espécies que produzem sementes em ambientes áridos e semiáridos, como a Caatinga, e pode representar uma ferramenta importante para a produção de mudas mais tolerantes às condições ambientais, as quais poderão ser utilizadas com maior sucesso na restauração de ambientes degradados (Meiado, 2013).

Em relação às alterações bioquímicas observadas em sementes que passam pela hidratação descontínua, Santos (2020) faz duas ressalvas importantes em seu trabalho realizado com sementes de *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook.f. ex S. Moore (Bignoniaceae). De acordo com a autora, sementes que passam pelos ciclos de HD apresentam um aumento significativo na atividade de enzimas antioxidantes e essa resposta é ainda maior em sementes que passam pelos ciclos e, posteriormente, são submetidas ao déficit hídrico durante a germinação. Em contrapartida, a produção de osmólitos (*i.e.*, carboidratos, proteínas solúveis e aminoácidos como, por exemplo, a prolina) fica em estado basal. Não há diminuição ou aumento desses compostos, mesmo quando as sementes são estressadas durante o processo germinativo, após a passagem pelos ciclos de HD, o que não é observado em sementes que não passam pelos ciclos. Nessas sementes não submetidas à hidratação descontínua, há um aumento significativo na produção dos osmólitos para o ajustamento osmótico do embrião, não sendo observado alterações nas atividades das enzimas antioxidantes, o que as deixam mais vulneráveis ao déficit hídrico (Santos, 2020). Outra característica observada em sementes de *T. aurea* é que os benefícios da hidratação descontínua podem ser reduzidos quando as sementes passam por um número excessivo de ciclos, ou quando os ciclos são longos demais, o que pode indicar a existência de um limite e/ou uma relação entre a quantidade de ciclos de HD ou o tempo de hidratação das sementes com a sua capacidade germinativa. Segundo a autora, deve haver um trade-off entre as alterações bioquímicas relacionadas à aquisição de tolerância ao estresse hídrico e o número de ciclos de HD, pois há um gasto de energia armazenada nos tecidos de reserva das sementes para essa alteração bioquímica, a qual, originalmente, devia ser destinada à germinação e ao estabelecimento da plântula.

Além de beneficiar as espécies em sua morfologia e fisiologia, o hidrocondicionamento alternativamente poderia causar mudanças epigenéticas em longo prazo (Bruce *et al.*, 2007). Bruce *et al.* (2007) propuseram que o *priming* poderia ativar um gene ou um conjunto de genes que deixariam na planta uma “impressão de tensão” genética ou de modificações bioquímicas que ocorriam após o estresse, fazendo com que as respostas a tensões futuras sejam mais rápidas. Os mecanismos moleculares responsáveis pelas respostas ao hidrocondicionamento das sementes ainda não são bem compreendidos, uma das mudanças bioquímicas que ocorrem durante a desidratação no

condicionamento é a mobilização do armazenamento de proteínas (Lutts *et al.*, 2016). Essas e outras alterações, como a síntese de proteínas de estresse e de proteínas de embriogênese tardia, conhecidas como proteínas LEA, representam processos bioquímicos iniciais que ocorrem durante a desidratação. Em consequência, quando as sementes são reidratadas, a germinação ocorre de forma rápida e sincronizada e as plântulas podem ser mais tolerante a futuros períodos de seca (Lutts *et al.*, 2016).

O conhecimento dos mecanismos naturais que ativam e controlam a tolerância à seca que são desenvolvidos pelas plantas durante a fase de germinação pode servir de subsídio para o desenvolvimento de melhores práticas de manejo a serem empregadas na recuperação de áreas degradadas e programas de enriquecimento de espécies e reflorestamento da Caatinga, principalmente utilizando-se espécies nativas. Como foi visto, já foi comprovado que a hidratação descontínua confere benefícios à germinação e à sobrevivência as plântulas da Caatinga (Rito *et al.*, 2009a; Meiado, 2013; Nascimento, 2016; Lima & Meiado, 2017a; Santos & Meiado, 2017a; Lima & Meiado, 2018a; 2018b; Lima *et al.*, 2018a). Assim, a confirmação da hipótese de que essa memória hídrica das sementes pode ser perpetuada no próprio indivíduo e quais alterações morfológicas, fisiológicas e a nível molecular ocorrem nessas espécies indicará novos caminhos para o desenvolvimento de novas técnicas de produção de mudas, bem como novos conhecimentos em várias áreas da Ecofisiologia Vegetal.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARADO-LÓPEZ, S.; SORIANO, D.; VELÁZQUEZ, N.; OROZCO-SEGOVIA, A.; GAMBOA-DE BUEN, A. Priming effects on seed germination in *Tecoma stans* (Bignoniaceae) and *Cordia megalantha* (Boraginaceae), two tropical deciduous tree species. **Acta Oecologica**, v. 61, n. 1, p. 65-70, 2014.

ALVES, R. M.; SILVA, M. A. D.; SILVA, E. F.; ALVES, R. J. R.; MOURA, D. P.; SILVA, J. N. Stored diaspores of *Astronium urundeuva* Fr. (M. Allemão) Engl. (Anacardiaceae) submitted to hydropriming. **Journal of Seed Science**, Londrina, v. 42, n. 1, p. 1-10, 2020.

BAILLY, C.; BOGATEK-LESZCZYNSKA, R.; CÔME, D.; CORBINEAU, F. Changes in activities of antioxidant enzymes and lipoxygenase during growth of sunflower seedlings from seeds of different vigour. **Seed Science Research**, v. 12, n. 1, p. 47-55, 2002.

BISPO, I. B.; FREITAS, R. S.; DIAS, G. S.; OLIVEIRA, M. F. C.; SILVA, E. C. Avaliação da ocorrência de memória hídrica em plântulas de aroeira-do-sertão sob déficit hídrico. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFS, 26., 2016, São Cristóvão. **Resumos...** São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, 2016.

BRUCE, T. J. A.; MATTHES, M. C.; NAPIER, J. A.; PICKETT, J. A. Stressful “memories” of plants: Evidence and possible mechanisms. **Plant Science**, v. 173, n. 6, p. 603-608, 2007.

CASTRO, R. A. **Hidratação descontínua como estratégia adaptativa de sementes da exótica invasora *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae)**. 2018. 55f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2018.

CASTRO, R. A.; DANTAS, B. F.; MEIADO, M. V. Efeito da hidratação descontínua de sementes da invasora *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit em diferentes temperaturas. In: SIMPÓSIO DO BIOMA CAATINGA, 2., 2018, Juazeiro. **Resumos...** Petrolina: Embrapa Semiárido, 2019, p. 310.

CASTRO, R. A.; MEIADO, M. V. Hidratação descontínua em sementes da invasora *Leucaena leucocephala* (Lam.) de Wit (Fabaceae) submetidas a estresse hídrico. In: ENCONTRO DA BIOLOGIA VEGETAL, 2., 2017, Recife. **Resumos...** Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2017.

CHEN, K.; ARORA, R. Priming memory invokes seed stress-tolerance. **Environmental and Experimental Botany**, v. 94, n. 1, p. 33-45, 2013.

CONTRERAS-QUIROZ, M.; PANDO-MORENO, M.; JURADO, E.; FLORES, J.; BAUK, K.; GURVICH, D. E. Is seed hydration memory dependent on climate? Testing this hypothesis with Mexican and Argentinian cacti species. **Journal of Arid Environments**, v. 130, n. 1, p. 94-97, 2016.

CUNHA, P. H. J.; CASTRO, R. A.; SANTOS, C. S.; MEIADO, M. V. A hidratação descontínua confere um melhor desempenho na germinação das sementes e no desenvolvimento inicial de plântulas de *Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul.) L.P. Queiroz? In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 70., 2019a, Maceió. **Resumos...** Maceió: Sociedade Botânica do Brasil, 2019a, p. 578.

CUNHA, P. H. J.; CASTRO, R. A.; SANTOS, C. S.; MEIADO, M. V. Efeito da hidratação descontínua no desenvolvimento inicial de plântulas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae). In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 70., 2019b, Maceió. **Resumos...** Maceió: Sociedade Botânica do Brasil, 2019b, p. 601.

CUNHA, P. H. J.; LIMA, A. T.; MEIADO, M. V. Altas temperaturas na hidratação descontínua conferem maior tolerância ao estresse em facheiro. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFS, 27., 2017a, Itabaiana. **Resumos...** São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, 2017a, p. 100.

CUNHA, P. H. J.; LIMA, A. T.; MEIADO, M. V. Efeito da hidratação descontínua no desenvolvimento inicial de plântulas de canafístula. In: SIMPÓSIO DO BIOMA CAATINGA, 2., 2018, Juazeiro. **Resumos...** Petrolina: Embrapa Semiárido, 2019c.

CUNHA, P. H. J.; LIMA, A. T.; MEIADO, M. V. Germinação de sementes de *Pilosocereus catingicola* (Gurke) Byles & G.D. Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi submetidas a ciclos de hidratação descontínua e estresse hídrico. In: REUNIÃO NORDESTINA DE BOTÂNICA, 35., 2017b, Recife. **Resumos...** Recife: Sociedade de Botânica do Brasil, 2017b.

DUBROVSKY, J. G. Seed hydration memory in Sonoran Desert cacti and its ecological implication. **American Journal of Botany**, v. 83, n. 5, p. 624-632, 1996.

DUBROVSKY, J. G. Discontinuous hydration as a facultative requirement for seedgermination in two cactus species of the Sonoran Desert. **Journal of the Torrey Botanical Society**, v. 125, n. 1, p. 33-39, 1998.

FERNANDES, M. F.; CARDOSO, D.; QUEIROZ, L. P. An updated plant checklist of the Brazilian Caatinga seasonally dry forests and woodlands reveals high species richness and endemism. **Journal of Arid Environments**, v. 174, n. 1, p. 104079, 2020.

FREITAS, R. S.; OLIVEIRA, M. F. C.; SANTANA, S. T. S.; MELO, A. F. R.; SILVA, E. C. Avaliação da ocorrência de memória hídrica em plântulas de pajeú submetidas a déficit hídrico. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFS, 27., 2017, São Cristóvão. **Resumos...** São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, 2017, p. 116.

FREITAS, R. S.; OLIVEIRA, M. F. C.; SANTOS-JUNIOR, J. L.; SILVA, E. C. Crescimento de mudas de *Hymenaea courbaril* submetidas a déficit hídrico obtidas de sementes que sofreram hidratação descontínua. In: SIMPÓSIO DO BIOMA CAATINGA, 2., 2018, Juazeiro. **Resumos...** Petrolina: Embrapa Semiárido, 2019, p. 315.

FREITAS, R. S.; SILVA, E. C. Efeito da hidratação descontínua de sementes na produção de matéria seca de mudas de *Triplaris gardneirana* Wedd. submetidas a déficit hídrico. In: SIMPÓSIO DO BIOMA CAATINGA, 2., 2018, Juazeiro. **Resumos...** Petrolina: Embrapa Semiárido, 2019, p. 327.

HORA, I. S. **Memória de hidratação no escuro de sementes: quando o fotoblastismo altera as respostas das sementes à hidratação descontínua para aumentar sua longevidade.** 2020. 75f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2020.

HORA, I. S.; MEIADO, M. V. A hidratação descontínua em sementes favorece a produção de mudas de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae)? **Agroforestalis News**, São Cristóvão, v. 1, n. 1, p. 20-24, 2016a.

HORA, I. S.; MEIADO, M. V. A hidratação descontínua em sementes favorece a produção de mudas de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae)? In: ENCONTRO SERGIPANO EM PESQUISAS BIOLÓGICAS, 1., 2016b, São Cristóvão. **Resumos...** São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, 2016b, p. 1-5.

HORA, I. S.; MEIADO, M. V. A hidratação descontínua pode promover uma maior tolerância ao estresse salino em sementes de *Myracrodruon urundeuva* Allemão (Anacardiaceae)? In: ENCONTRO REGIONAL DE BOTÂNICOS MG, BA E ES, 38., 2018, Porto Seguro. **Resumos...** Porto Seguro: Sociedade Botânica do Brasil, 2018.

HORA, I. S.; MEIADO, M. V. A luz durante a hidratação descontínua influencia no desenvolvimento inicial de plântulas de *Cereus jamacaru* DC. subsp. *jamacaru* (Cactaceae)? In: ENCONTRO REGIONAL DE BOTÂNICOS, REGIONAL MG, BA, ES, 40., 2020a, Ambiente Virtual. **Resumos...** Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2020a.

HORA, I. S.; MEIADO, M. V. Does light influence seed responses to discontinuous hydration? In: CONGRESO ARGENTINO DE SEMILLAS, 1., 2020b, Ambiente Virtual. **Resumos...** Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba, 2020b.

HORA, I. S.; MEIADO, M. V. Hidratação descontínua em sementes de *Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul.) L.P. Queiroz var. *ferrea* (Fabaceae) promove o melhor desenvolvimento das plântulas? In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 67., 2016c, Vitória. **Resumos...** Vitória: Sociedade Botânica do Brasil, 2016c.

HORA, I. S.; MEIADO, M. V. Hidratação descontínua em sementes de pau-ferro afetando sua tolerância a fatores abióticos. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFS, 27., 2017, Itabaiana. **Resumos...** São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, 2017, p. 122.

HORA, I. S.; MEIADO, M. V. O hidrocondicionamento de sementes de pau-ferro promove benefícios na germinação durante estresse hídrico? In: SIMPÓSIO DO BIOMA CAATINGA, 2., 2018, Juazeiro. **Resumos...** Petrolina: Embrapa Semiárido, 2019.

HORA, I. S.; SANTOS, L. S.; MEIADO, M. V. Emergência de plântulas de *Handroanthus chrysotrichus* (Mart. ex DC.) Mattos (Bignoniaceae) sob a influência da hidratação descontínua das sementes. **Informativo ABRATES**, Londrina, v. 28, n. 1, p. 59-62, 2018.

HORA, I. S.; SANTOS, M. R.; MEIADO, M. V. Hidratação descontínua em sementes de *Melocactus violaceus* Pfeiff. subsp. *margaritaceus* N.P. Taylor (Cactaceae) promovendo maior tolerância ao estresse hídrico durante a germinação. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 66., 2015, Santos. **Resumos...** Santos: Sociedade Botânica do Brasil, 2015.

JESUS, K. W.; ARAGAO, J.R.V.; SILVA, E.C.; MEIADO, M.V. Avaliação da ocorrência de memória hídrica em sementes e plântulas de pau-ferro sob déficit hídrico. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 13., 2017, Viçosa. **Resumos...** Viçosa: Sociedade de Ecologia do Brasil, 2017.

JESUS, K. W.; FREITAS, R. S.; ARAGAO, J. R. V.; MEIADO, M. V.; SILVA, E. C. Avaliação de memória hídrica em plântulas de pau-ferro sob déficit hídrico. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFS, 26., 2016, São Cristóvão. **Resumos...** São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, 2016.

LIMA, A. T. **Hidratação descontínua altera a germinação de sementes sob estresse de duas populações de cacto que ocorrem em diferentes ecossistemas no Nordeste do Brasil.** 2016. 75f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de Sergipe, Itabaiana, 2016.

LIMA, A. T. **Memória hídrica de sementes: implicações ecofisiológicas durante a germinação e o desenvolvimento inicial de espécies da Caatinga.** 2019. 98f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2019.

LIMA, A. T.; CUNHA, P. H. J.; DANTAS, B. F.; MEIADO, M. V. Does discontinuous hydration of *Senna spectabilis* (DC.) H.S. Irwin & Barneby var. *excelsa* (Schrad.) H.S. Irwin & Barneby (Fabaceae) seeds confer tolerance to water stress during seed germination? **Journal of Seed Sciences**, Londrina, v. 40, n. 1, p. 36-43, 2018a.

LIMA, A. T.; CUNHA, P. H. J.; MEIADO, M. V. Efeitos da hidratação descontínua na germinação de sementes de *Senna spectabilis* (DC.) H.S. Irwin & Barneby var. *excelsa* (Schrad.) H.S. Irwin & Barneby submetidas a condições de estresse hídrico. In: REUNIÃO NORDESTINA DE BOTÂNICA, 35., 2017, Recife. **Resumos...** Recife: Sociedade Botânica do Brasil, 2017.

LIMA, A. T.; DANTAS, B. F.; MEIADO, M. V. Efeitos da hidratação descontínua na germinação e longevidade de sementes de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae) em banco no solo da Caatinga. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 69., 2018b, Cuiabá. **Resumos...** Cuiabá: Sociedade Botânica do Brasil, 2018b.

LIMA, A. T.; MEIADO, M. V. Discontinuous hydration alters seed germination under stress of two populations of cactus that occur in different ecosystems in Northeast Brazil. **Seed Science Research**, Cambridge, v. 27, n. 4, p. 292-302, 2017a.

LIMA, A. T.; MEIADO, M. V. Effect of hydration and dehydration cycles on *Mimosa tenuiflora* seeds during germination and initial development. **South African Journal of Botany**, v. 116, n. 1, p. 164-167, 2018a.

LIMA, A. T.; MEIADO, M. V. Effects of seed hydration memory on initial grow thunder water deficit of cactus from two populations that occur in different ecosystems in Northeast Brazil. **Plant Species Biology**, Kyoto, v. 33, n. 4, p. 268-275, 2018b.

LIMA, A. T.; MEIADO, M. V. Expressão da memória hídrica de sementes durante o desenvolvimento de plântulas de *Senna spectabilis* var. *excelsa* (Schrad.) H.S. Irwin & Barneby (Fabaceae) em condições de déficit hídrico. CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 70., 2019, Maceió. **Resumos...** Maceió: Sociedade Botânica do Brasil, 2019, p. 398-399.

LIMA, A. T.; MEIADO, M. V. Hidratação descontínua altera a germinação de sementes sob estresse de duas populações de cacto que ocorrem em diferentes ecossistemas no Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 67., 2016a, Vitória. **Resumos...** Vitória: Sociedade Botânica do Brasil, 2016a.

LIMA, A. T.; MEIADO, M. V. Influência dos ciclos de hidratação descontínua no comportamento germinativo de sementes de *Handroanthus impetiginosus* (Mart. ex DC.) Mattos (Bignoniaceae) submetidas a estresse hídrico. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 67., 2016b, Vitória. **Resumos...** Vitória: Sociedade Botânica do Brasil, 2016b.



LIMA, A. T.; MEIADO, M. V. Memória hídrica em plântulas de cactos provenientes de diferentes ecossistemas do Nordeste do Brasil. In: ENCONTRO DA BIOLOGIA VEGETAL, 2., 2017b, Recife. **Resumos...** Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2017b.

LIMA, A. T.; OLIVEIRA, D. M.; MEIADO, M. V. Como a hidratação descontínua afeta a germinação de sementes de *Macroptilium atropurpureum* (Sessé & Moc. ex DC.) Urb. (Fabaceae) em condições de déficit hídrico? In: ENCONTRO REGIONAL DE BOTÂNICOS MG, BA E ES, 38., 2018c, Porto Seguro. **Resumos...** Porto Seguro: Sociedade Botânica do Brasil, 2018c, p. 118.

LIMA, A. T.; OLIVEIRA, D. M.; MEIADO, M. V. Effect of hydration and dehydration cycles on *Macroptilium atropurpureum* seeds germination under water deficit conditions. **Communications in Plant Sciences**, Jaboticabal, v. 8, n.1, p. 55-61, 2018d.

LIMA, A. T.; OLIVEIRA, D. M.; MEIADO, M. V. Influência da precipitação durante a produção de sementes de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi (Cactaceae) submetidas a hidratação descontínua e déficit hídrico. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 69., 2018e, Cuiabá. **Resumos...** Cuiabá: Sociedade Botânica do Brasil, 2018e.

LIMA, A. T.; SANTOS, J. A. S.; SIQUEIRA, C. G.; MEIADO, M. V. Influência da hidratação descontínua de sementes e plântulas na produção de prolina em *Senna spectabilis* var. *excelsa* (Schrad.) H.S. Irwin & Barneby (Fabaceae) submetidas a déficit hídrico. CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 70., 2019, Maceió. **Resumos...** Maceió: Sociedade Botânica do Brasil, 2019, p. 618-619.

LUTTS, S.; BENINCASA, P.; WOJTYLA, L.; KUBALA, S. S.; PACE, R.; LECHOWSKA, K.; QUINET, M.; GARNCZARSKA, M. Seed Priming: New Comprehensive Approaches for an Old Empirical Technique. In: ARAÚJO, S. (Ed). **New Challenges in Seed Biology Basic and Translational Research Driving Seed Technology**. Rijeka: InTech, p. 1-46, 2016.

MEIADO, M. V. Evidências de memória hídrica em sementes da Caatinga. In: STELMANN, J. R.; ISAIAS, R. M. S.; MODOLO, L. V.; VALE, F. H. A.; SALINO, A. (Orgs). **Anais do 64º Congresso Nacional de Botânica: Botânica sempre viva**. Belo Horizonte: Sociedade Botânica do Brasil, p. 89-94, 2013.

MEIADO, M. V.; LIMA, A. T.; NASCIMENTO, J. P. B.; AONA, L. Y. S. Avanços nos Estudos sobre Sementes e Plântulas de Cactos do Brasil. **Gaia Scientia**, João Pessoa, v. 11, n. 4, p. 88-113, 2017.

MEIADO, M. V.; MACHADO, M. C.; ZAPPI, D. C.; TAYLOR, N. P.; SIQUEIRA-FILHO, J. A. Ecological attributes, geographic distribution and endemismo of cacti from the São Francisco Watershed. **Gaia Scientia**, João Pessoa, v. 9, n. 2, p. 40-53, 2015.

MEIADO, M. V.; RAFAEL, L. M.; CASTRO, R. A.; RODRIGUES, R. G. Challenges and perspectives for recovering socioecological systems in the Caatinga, a Brazilian Tropical Dry Forest. In: PINTO, S. R. R.; SANTOS, F. C.; PRESCOTT, C. (Eds). **Forest Landscape Restoration – Social Opportunities in the Tropical World**. Recife: CEPAN, p. 137-167, 2020.

MEIADO, M. V.; SILVA, F. F. S.; BARBOSA, D. C. A.; SIQUEIRA-FILHO, J. A. Diaspore of the Caatinga: A Review. In: SIQUEIRA-FILHO, J. A. (Org). **Flora of the Caatingas of the São Francisco River: Natural History and Conservation**. Rio de Janeiro: Andrea Jakobsson Estúdio Editorial, p. 306-365, 2012.

MELO, A. F. R. **Tolerância ao déficit hídrico em plântulas de tamboril propagadas através de sementes hidrocondicionadas para projetos de restauração da Caatinga**. 2018. 93f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2018.

MELO, A. F. R.; SILVA, E. C.; FREITAS, R. S.; OLIVEIRA, M. F. C.; MEIADO, M. V. Influência do hidrocondicionamento de sementes no crescimento de plântulas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong submetidas ao déficit hídrico. In: PRANDEL, J. A. (Org). **Desafios Teóricos e Aplicados da Ecologia Contemporânea**. Ponta Grossa: Atena Editora, p. 41-51, 2020.



MELO, A. F. R.; SILVA, E. C.; FREITAS, R. S.; OLIVEIRA, M. F. C.; MEIADO, M. V. Influência do hidrocondicionamento de sementes no crescimento de plântulas de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong submetidas ao déficit hídrico. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 13., 2017, Viçosa. **Resumos...** Viçosa: Sociedade de Ecologia do Brasil, 2017.

MENEZES, I. C.; FREITAS, R. S.; BISPO, I. B.; MEIADO, M. V.; SILVA, E. C. Avaliação de memória hídrica em sementes e plântulas de juazeiro sob déficit hídrico. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 13., 2017, Viçosa. **Resumos...** Viçosa: Sociedade de Ecologia do Brasil, 2017.

NASCIMENTO, J. P. B. **Hidratação descontínua de sementes como nova alternativa para a produção de mudas destinadas à recuperação de ambientes degradados na Caatinga.** 2016. 75f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2016.

NASCIMENTO, J. P. B. **Hidrocondicionamento de sementes da Caatinga.** 2021. Tese (Doutorado em Ecologia e Conservação) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2021.

NASCIMENTO, J. P. B.; CRUZ, A. B. S.; SILVA, L. P. N.; SANTANA, M. F. J.; MEIADO, M. V. Efeitos do hidrocondicionamento na germinação de sementes de *Erythrina velutina* Willd. (Fabaceae) submetidas a estresse hídrico. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA, 2., 2018, Belo Horizonte. **Resumos...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Restauração Ecológica, 2018.

NASCIMENTO, J. P. B.; DANTAS, B. F.; MEIADO, M. V. Hydropriming changes temperature thresholds for seed germination of tree species from the Caatinga, a Brazilian Tropical Dry Forest. **Journal of Seed Sciences**, Londrina, v. 43, n. 1, 2021.

NASCIMENTO, J. P. B.; MEIADO, M. V. Efeito do hidrocondicionamento e temperaturas limites na germinação de sementes de *Enterolobium contortisiliquum* (Vell.) Morong (Fabaceae). In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 70., 2019a, Maceió. **Resumos...** Maceió: Sociedade Botânica do Brasil, 2019a, p. 604-605.

NASCIMENTO, J. P. B.; MEIADO, M. V. Hidratação descontínua e limites térmicos na germinação de sementes de *Pterogyne nitens* Tul. (Fabaceae). In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 70., 2019b, Maceió. **Resumos...** Maceió: Sociedade Botânica do Brasil, 2019b, p. 616-617.

NASCIMENTO, J. P. B.; MEIADO, M. V. Hidratação descontínua e temperaturas limites na germinação de sementes de *Pityrocarpa moniliformis* (Benth.) Luckow & R.W. Jobson (Fabaceae). In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA, 2., 2018, Belo Horizonte. **Resumos...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Restauração Ecológica, 2018.

NASCIMENTO, J. P. B.; SANTOS, K. C.; MEIADO, M. V. Efeito da hidratação descontínua na germinação de sementes de angico submetidas a déficit hídrico. In: SIMPÓSIO DO BIOMA CAATINGA, 2., 2018, Juazeiro. **Resumos...** Petrolina: Embrapa Semiárido, 2019a.

NASCIMENTO, J. P. B.; SANTOS, K. C.; MEIADO, M. V. Efeitos do hidrocondicionamento na germinação de sementes de tamboril submetidas a estresse hídrico. In: SIMPÓSIO DO BIOMA CAATINGA, 2., 2018, Juazeiro. **Resumos...** Petrolina: Embrapa Semiárido, 2019b.

NICOLAU, J. P. B.; SILVA, F. E.; FELIX, F. C.; TORRES, S. B.; PACHECO, M. V.; PEREIRA, M. D. Discontinuous hydration on the germination of *Mimosa caesalpinifolia* and *Pityrocarpa moniliformis* seeds under water stress. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 33, n. 2, p. 555-561, 2020.

OLIVEIRA, D. M.; CASTRO, R. A.; MEIADO, M. V. Influência dos ciclos de hidratação e desidratação na germinação e emergência de *Mimosa caesalpinifolia* Benth (Fabaceae). In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 70., 2019, Maceió. **Resumos...** Maceió: Sociedade Botânica do Brasil, 2019, p. 1043-1044.

OLIVEIRA, D. M.; SANTOS, C. S.; LIMA, A. T.; MEIADO, M. V. Hidratação descontínua em sementes de *Triplaris gardneriana* Wedd. (Polygonaceae) afetando sua tolerância a fatores abióticos. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 69., 2018a, Cuiabá. **Resumos...** Cuiabá: Sociedade Botânica do Brasil, 2018a.

OLIVEIRA, D. M.; SANTOS, C. S.; MEIADO, M. V. Hidratação descontínua em sementes de pajeú afetando sua tolerância a fatores abióticos. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFS, 27., 2017a, Itabaiana. **Resumos...** São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, 2017a.

OLIVEIRA, D. M.; SILVA, J. S.; CASTRO, R. A.; MEIADO, M. V. Avaliação de desempenho de sementes e mudas nativas submetidas à hidratação descontínua para reflorestamento na Caatinga. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFS, 28., 2018b, Itabaiana. **Resumos...** São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, 2018b.

OLIVEIRA, M. F. C.; BISPO, I. B.; FREITAS, R. S.; SILVA, E. C. Avaliação de memória hídrica em plântulas de baráúna sob estresse hídrico. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFS, 26., 2016, São Cristóvão. **Resumos...** São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, 2016.

OLIVEIRA, M. F. C.; MELO, A. F. R.; FREITAS, R. S.; SANTANA, S. T. S.; SILVA, E. C. Avaliação da ocorrência de memória hídrica em plântulas de *Hymenaea courbaril* L sob estresse hídrico. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFS, 27., 2017b, São Cristóvão. **Resumos...** São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, 2017b, p. 110.

OLIVEIRA, M. F. C.; NASCIMENTO, R. B. T.; BISPO, I. B.; MENEZES, I. C.; SILVA, E. C. Avaliação da ocorrência de memória hídrica em plântulas de juazeiro sob estresse hídrico. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFS, 25., 2015, São Cristóvão. **Resumos...** São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, 2015.

RITO, K. F. **As sementes de mandacaru têm memória hídrica?** 2009. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

RITO, K. F.; ROCHA, E. A.; LEAL, I. R.; MEIADO, M. V. As sementes de mandacaru têm memória hídrica? **Boletín de la Sociedad Latinoamericana y del Caribe de Cactáceas y otras Suculentas**, v. 6, n. 1, p. 26-31, 2009a.

RITO, K. F.; SOBRINHO, M. S.; ROCHA, E. A.; LEAL, I. R.; MEIADO, M. V. As sementes de mandacaru têm memória hídrica? In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 9., 2009b, São Lourenço. **Resumos...** São Lourenço: Sociedade de Ecologia do Brasil, 2009b, p. 1-3.

SANTANA, M. F. J.; LIMA, A. T.; MEIADO, M. V. Expressão da memória hídrica mediada pela temperatura e o déficit hídrico durante a germinação. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFS, 30., 2020, Itabaiana. **Resumos...** São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, 2020.

SANTANA, M. F. J.; NASCIMENTO, J. P. B.; MEIADO, M. V. Hidrocondicionamento em sementes e plântulas de *Erythrina velutina* Willd. (Fabaceae) submetidas a déficit hídrico. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 70., 2019a, Maceió. **Resumos...** Maceió: Sociedade Botânica do Brasil, 2019a.

SANTANA, M. F. J.; NASCIMENTO, J. P. B.; MEIADO, M. V. Influência da hidratação descontínua na produção de mudas de *Erythrina velutina* Willd. (Fabaceae). In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 70., 2019b, Maceió. **Resumos...** Maceió: Sociedade Botânica do Brasil, 2019b.

SANTANA, S. T. S.; OLIVEIRA, M. F. C.; SILVA, R. S.; MELO, A. F. R.; SILVA, E. C. Avaliação de memória hídrica no jatobá através da análise de TRA, solutos orgânicos e danos membranares. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFS, 27., 2017, São Cristóvão. **Resumos...** São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, 2017, p. 144.

SANTOS, A. P.; MEIADO, M. V. Influência da hidratação descontínua na germinação de sementes e no crescimento inicial de plântulas de *Amburana cearensis* (Allemão) A.C. Sm. (Fabaceae). **Gaia Scientia**, João Pessoa, v. 11, n. 4, p. 19-25, 2017a.

SANTOS, A. P.; SANTOS, R. F.; MEIADO, M. V. Altas temperaturas na hidratação descontínua conferem maior tolerância ao estresse em coroa-de-frade? In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFS, 27., 2017a, Itabaiana. **Resumos...** São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, 2017a, p. 91.

SANTOS, B. S.; LIMA, A. T.; MEIADO, M. V. Implicações ecofisiológicas da memória hídrica de sementes durante o desenvolvimento inicial de plântulas de xique-xique. In: ENCONTRO REGIONAL DE BOTÂNICOS, REGIONAL MG, BA, ES, 40., 2020a, Vitória. **Resumos...** Vitória: Universidade Federal do Espírito Santo, 2020a.

SANTOS, B. S.; LIMA, C. N.; ANDRADE, L. M.; MACEDO, M. M. S.; MEIADO, M. V. Discontinuous hydration with GA<sub>3</sub> as a regulator of seed germination of *Encholirium spectabile* Mart. ex Schult. & Schut.f. (Bromeliaceae) under water deficit. In: CONGRESO ARGENTINO DE SEMILLAS, 1., 2020b, Córdoba. **Resumos...** Córdoba: Universidad Nacional de Córdoba, 2020b.

SANTOS, C. S. **Mecanismos envolvidos na tolerância à dessecação em sementes e plântulas de *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook.f. ex S. Moore (Bignoniaceae).** 2019. 85f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2019a.

SANTOS, C. S.; LIMA, A. T.; MEIADO, M. V. Efeito da hidratação descontínua em sementes de *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir (Fabaceae) submetidas a déficit hídrico durante a germinação. **Informativo ABRATES**, Londrina, v. 28, n. 1, p. 71-75, 2018a.

SANTOS, C. S.; LIMA, A. T.; MEIADO, M. V. Efeito da hidratação descontínua em sementes de *Mimosa tenuiflora* (Willd.) Poir (Fabaceae) submetidas a estresse hídrico. In: SIMPÓSIO DO BIOMA CAATINGA, 2., 2018, Juazeiro. **Resumos...** Petrolina: Embrapa Semiárido, 2019a.

SANTOS, C. S.; MEIADO, M. V. Plântulas de *Sapindus saponaria* L. se desenvolvem melhor após hidratação descontínua das sementes? In: REUNIÃO NORDESTINA DE BOTÂNICA, 35., 2017b, Recife. **Resumos...** Recife: Sociedade Botânica do Brasil, 2017b.

SANTOS, J. A. S. **Efeito da hidratação descontínua na germinação de sementes e no desenvolvimento inicial de plântulas de craibeira submetidas a déficit hídrico.** 2017a. 48f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2017a.

SANTOS, J. A. S. **Mecanismos de tolerância à seca em sementes e plantas de *Tabebuia aurea* após exposição recorrente à hidratação descontínua.** 2020. 70f. Dissertação (Mestrado em Ecologia e Conservação) – Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Conservação, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2020.

SANTOS, J. A. S.; LIMA, A. T.; MEIADO, M. V. Aumento da tolerância ao estresse hídrico em sementes de caraibeira (*Tabebuia aurea*) submetidas à hidratação descontínua. In: REUNIÃO NORDESTINA DE BOTÂNICA, 35., 2017b, Recife. **Resumos...** Recife: Sociedade Botânica do Brasil, 2017b.

SANTOS, J. A. S.; SILVA, E. C.; LIMA, A. T.; MEIADO, M. V. Responses to short-term drought in *Tabebuia aurea* (Silva Manso) Benth. & Hook f. ex S. Moore (Bignoniaceae) seed lings after two hydration and dehydration cycles in seeds. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 69., 2018b, Cuiabá. **Resumos...** Cuiabá: Sociedade Botânica do Brasil, 2018b.

SANTOS, K. C. **Armazenamento de sementes de *Aspidosperma pyrifolium* Mart. & Zucc. (Apocynaceae) e sua relação com a hidratação descontínua na aquisição de tolerância aos estresses abióticos.** 2019b. 85f. Dissertação (Mestrado em Agonomia: Horticultura Irrigada) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia: Horticultura Irrigada, Universidade do Estado da Bahia, 2019b.

SANTOS, K. C.; DANTAS, B. F. Efeito dos ciclos de hidratação e desidratação em sementes de diferentes lotes de *Aspidosperma pyrifolium* Mart. In: SIMPÓSIO DO BIOMA CAATINGA, 2., 2018, Juazeiro. **Resumos...** Petrolina: Embrapa Semiárido, 2019, p. 297.

SANTOS, K. C.; HORA, I. S.; ARAUJO, M. N.; NASCIMENTO, J. P. B.; MEIADO, M. V. Efeito da hidratação descontínua em plântulas de angico de bezerro submetidas a déficit hídrico. In: ENCONTRO REGIONAL DE BOTÂNICOS MG, BA E ES, 38., 2018c, Porto Seguro. **Resumos...** Porto Seguro: Sociedade Botânica do Brasil, 2018c.

SANTOS, K. C.; MEIADO, M. V. Efeito da hidratação descontínua em plântulas de angico submetidas a déficit hídrico. In: REUNIÃO NORDESTINA DE BOTÂNICA, 35., 2017c, Recife. **Resumos...** Recife: Sociedade Botânica do Brasil, 2017c.

SANTOS, L. S.; HORA, I. S.; MEIADO, M. V. Influência da hidratação descontínua no comportamento germinativo de *Handroanthus chrysotrichus* (Mart. ex DC.) Mattos (Bignoniaceae). In: SIMPÓSIO DO BIOMA CAATINGA, 2., 2018, Juazeiro. **Resumos...** Petrolina: Embrapa Semiárido, 2019b.

SANTOS, L. S.; MEIADO, M. V. A hidratação descontínua confere maior tolerância ao estresse em sementes de ipê-amarelo? In: ENCONTRO DA BIOLOGIA VEGETAL, 2., 2017d, Recife. **Resumos...** Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2017d.

SANTOS, L. S.; MEIADO, M. V. A hidratação descontínua favorece a germinação de sementes de ipê-amarelo submetidas a estresses abióticos? In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFS, 27., 2017e, Itabaiana. **Resumos...** São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, 2017e, p. 124.

SANTOS, R. F. **A memória das sementes de mandacaru difere entre populações da Caatinga?** 2017b. 48f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de Sergipe, Itabaiana, 2017b.

SANTOS, R. F.; HORA, I. S.; SANTOS, L. S.; SANTOS, A. P.; MEIADO, M. V. Altas temperaturas na hidratação descontínua conferem maior tolerância ao estresse em mandacaru. In: REUNIÃO NORDESTINA DE BOTÂNICA, 35., 2017c, Recife. **Resumos...** Recife: Sociedade Botânica do Brasil, 2017c.

SANTOS, R. F.; MEIADO, M. V. A hidratação descontínua em sementes de mandacaru confere maior tolerância ao estresse hídrico? In: SIMPÓSIO DO BIOMA CAATINGA, 2., 2018, Juazeiro. **Resumos...** Petrolina: Embrapa Semiárido, 2019a.

SANTOS, R. F.; MEIADO, M. V. As sementes de mandacaru têm memória hídrica? In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFS, 27., 2017f, Itabaiana. **Resumos...** São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, 2017f, p. 155.

SANTOS, R. F.; MEIADO, M. V. Efeitos da hidratação descontínua na germinação de sementes de mandacaru sob estresse salino. In: SIMPÓSIO DO BIOMA CAATINGA, 2., 2018, Juazeiro. **Resumos...** Petrolina: Embrapa Semiárido, 2019b.

SANTOS, R. F.; SANTOS, A. P.; MEIADO, M. V. Envelhecimento acelerado de sementes de *Melocactus zehntneri* (Britton & Rose) Luetzelb. (Cactaceae) hidrocondicionadas. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 66., 2015, Santos. **Resumos...** Santos: Sociedade Botânica do Brasil, 2015.

SANTOS, R. F.; SANTOS, C. S.; MEIADO, M. V. A hidratação descontínua de sementes de *Cereus jamacaru* DC. subsp. *jamacaru* (Cactaceae) confere tolerância ao estresse hídrico? **Informativo ABRATES**, Londrina, v. 28, n. 1, p. 55-58, 2018d.

SILVA, A. M.; MEIADO, M. V.; BASSO, F. A. Técnicas de memória hídrica de sementes aplicadas à recuperação de áreas degradadas da Caatinga. In: WORKSHOP DO CENTRO DE REFERÊNCIA PARA RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS DA CAATINGA, 2., 2010, Petrolina. **Resumos...** Petrolina: Centro de Referência para Recuperação de Áreas Degradadas, 2010.

SILVA, E. C.; FREITAS, R. S.; SANTOS-JUNIOR, J. L.; JESUS, K. W. Seeds discontinuous hydration and its influence to germination of three species occurring in Brazilian Tropical Dry Forest. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 17., 2019a, Cuiabá. **Resumos...** Cuiabá: Sociedade Brasileira de Fisiologia Vegetal, 2019a.

SILVA, J. S.; CASTRO, R. A.; MEIADO, M. V. A influência da hidratação descontínua no desenvolvimento inicial de espécies arbóreas da Caatinga. **Informativo ABRATES**, Londrina, v. 28, n. 1, p. 67-70, 2018a.

SILVA, J. S.; CASTRO, R. A.; MEIADO, M. V. Ciclos de hidratação e desidratação nas sementes influencia na sobrevivência das mudas em campo? In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 70., 2019b, Maceió. **Resumos...** Maceió: Sociedade Botânica do Brasil, 2019b, p. 590-591.

SILVA, J. S.; CASTRO, R. A.; MEIADO, M. V. Efeito da hidratação descontínua na emergência de espécies arbóreas da Caatinga. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 69., 2018b, Cuiabá. **Resumos...** Cuiabá: Sociedade Botânica do Brasil, 2018b.

SILVA, J. S.; CASTRO, R. A.; MEIADO, M. V. Hidrocondicionamento e protetores físicos na semeadura direta de *Libidibia ferrea* (Mart. ex Tul.) (Fabaceae) em áreas degradadas da Caatinga. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA DE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA, 2., 2018c, Belo Horizonte. **Resumos...** Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Restauração Ecológica, 2018c.

SILVA, J. S.; CASTRO, R. A.; MEIADO, M. V. Influência da hidratação descontínua no desenvolvimento inicial de espécies arbóreas da Caatinga. In: SIMPÓSIO DO BIOMA CAATINGA, 2., 2018, Juazeiro. **Resumos...** Petrolina: Embrapa Semiárido, 2019c.

SILVA, J. S.; CUNHA, P. H. J.; LIMA, A. T.; MEIADO, M. V. A influência da hidratação descontínua na germinação de sementes de *Senna obtusifolia* (L.) H.S. Irwin & Barneby (Fabaceae). In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 69., 2018d, Cuiabá. **Resumos...** Cuiabá: Sociedade Botânica do Brasil, 2018d.

SILVA, L. P. N.; NASCIMENTO, J. P. B.; MEIADO, M. V. Modelagem da germinação de sementes de *Erythrina velutina* Willd. (Fabaceae) hidrocondicionadas e submetidas a déficit hídrico. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 70., 2019d, Maceió. **Resumos...** Maceió: Sociedade Botânica do Brasil, 2019d, p. 626-627.

SILVA, L. P. N.; SANTOS, B. S.; LIMA, A. T.; MEIADO, M. V. Implicações ecofisiológicas da memória hídrica durante o recrutamento de plântulas de cacto. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFS, 30., 2020, Itabaiana. **Resumos...** São Cristóvão: Universidade Federal de Sergipe, 2020, p. 137.

VARIER, A.; VARI, A. K.; DADLANI, M. The subcellular basis of seed priming. **Current Science**, v. 99, n. 4, p. 450-456, 2010.

Tabela 1. Hábito, temas de estudo (AF: análises fisiológicas; AM: análises morfoanatômicas; AB: análises bioquímicas), fase do ciclo de vida avaliada (S: semente; P: plântula) e referências bibliográficas dos estudos sobre a influência da hidratação descontínua das sementes de espécies nativas e exóticas (\*) que ocorrem em áreas de Caatinga, uma Floresta Tropical Seca brasileira. Categorias de ameaça (NE: espécie não avaliada quanto à ameaça; LC: pouco preocupante; NT: quase ameaçada)

| FAMÍLIA   | Hábito  | Temas |    |    | Fase |   | Referências            |
|---|---------|-------|----|----|------|---|------------------------|
|   |         | AF    | AM | AB | S    | P | Bibliográficas         |
| Espécie (Categoria de Ameaça)                                 |         |       |    |    |      |   |                        |
| ANACARDIACEAE   |         |       |    |    |      |   |                        |
| Astronium urundeuva (M. Allemão) Engl. (NE)                   | Arbóreo | X     | X  | X  | X    | X | 1, 2, 15, 16, 17, 49   |
| Schinopsis brasiliensis Engl. (LC)                            | Arbóreo | X     | X  | X  | X    | X | 49, 62                 |
| Spondias tuberosa Arruda (NE)                                 | Arbóreo | X     | X  |    | X    | X | 43, 98                 |
| APOCYNACEAE   |         |       |    |    |      |   |                        |
| Aspidosperma pyrifolium Mart. & Zucc. (NE)                    | Arbóreo | X     | X  | X  | X    |   | 49, 84, 85             |
| ARECACEAE   |         |       |    |    |      |   |                        |
| Syagrus coronata (Mart.) Becc. (NE)                           | Arbóreo | X     |    |    | X    |   | 43, 98                 |
| BIGNONIACEAE  |         |       |    |    |      |   |                        |
| Handroanthus chrysotrichus (Mart. ex DC.) Mattos (NE)         | Arbóreo | X     | X  |    | X    | X | 23, 49, 88, 89, 90     |
| Handroanthus impetiginosus (Mart. ex DC.) Mattos (NT)         | Arbóreo | X     |    |    | X    |   | 37, 49                 |
| Tabebuia aurea (Silva Manso) Benth. & Hook.f. ex S.Moore (NE) | Arbóreo | X     | X  | X  | X    | X | 49, 76, 80, 81, 82, 83 |

• Referências numeradas na nota de rodapé, no final da tabela.

Tabela 1. Continuação.

| FAMÍLIA  | Hábito    | Temas |    |    | Fase |   | Referências  |
|--|-----------|-------|----|----|------|---|--|
|  |           | AF    | AM | AB | S    | P | Bibliográficas   |
| Espécie (Categoria de Ameaça)  |           |       |    |    |      |   |  |
| BROMELIACEAE   |           |       |    |    |      |   |  |
| Encholirium spectabile Mart. ex Schult. & Schut.f. (NE)                                    | Herbáceo  | X     |    |    | X    |   | 75   |
| CACTACEAE  |           |       |    |    |      |   |  |
| Cereus jamacaru DC. subsp. jamacaru (NE)   | Arbóreo   | X     | X  | X  | X    | X | 14, 18, 19, 43, 49, 65, 66, 67, 91, 92, 93, 94, 95, 97, 98 |
| Melocactus violaceus Pfeiff. subsp. margaritaceus N.P. Taylor (NE)                         | Herbáceo  | X     |    |    | X    |   | 24   |
| Melocactus zehntneri (Britton & Rose) Luetzelb. (NE)                                       | Herbáceo  | X     |    |    | X    |   | 73, 96   |
| Pilosocereus catingicola (Gürke) Byles & Rowley subsp. salvadorensis (Werderm.) Zappi (NE) | Arbóreo   | X     | X  |    | X    | X | 8, 10, 27, 32, 34, 36, 38, 41                              |
| Xiquexique gounellei (F.A.C.Weber) Lavor & Calvente subsp. gounellei (NE)                  | Arbustivo | X     | X  |    | X    | X | 68, 74, 107  |
| EUPHORBIACEAE  |           |       |    |    |      |   |  |
| Cnidoscolus quercifolius Pohl (NE)   | Arbóreo   | X     | X  |    | X    | X | 43, 49, 98   |

Tabela 1. Continuação.

| FAMÍLIA   | Hábito  | Temas |    |    | Fase |   | Referências   |
|---|---------|-------|----|----|------|---|---|
|   |         | AF    | AM | AB | S    | P | Bibliográficas  |
| Espécie (Categoria de Ameaça)   |         |       |    |    |      |   |   |
| FABACEAE  |         |       |    |    |      |   |   |
| Amburana cearensis (Allemão) A.C. Sm. (NT)                                | Arbóreo | X     | X  |    | X    | X | 43, 49, 72, 98  |
| Anadenanthera colubrina (Vell.) Brenan var. cebil (Griseb.) Altschul (NE) | Arbóreo | X     | X  |    | X    | X | 48, 49, 51, 55, 86, 87  |
| Bauhinia cheilantha (Bong.) Steud. (NE)                                   | Arbóreo | X     |    |    | X    |   | 49  |
| Cenostigma pyramidale (Tul.) Gagnon & G.P. Lewis (NE)                     | Arbóreo | X     | X  |    | X    | X | 43, 49, 98, 100, 101, 102, 104                                |
| Enterolobium contortisiliquum (Vell.) Morong (NE)                         | Arbóreo | X     | X  | X  | X    | X | 7, 31, 43, 44, 45, 46, 48, 49, 52, 56, 98, 100, 101, 102, 104 |
| Erythrina velutina Willd. (NE)  | Arbóreo | X     | X  | X  | X    | X | 49, 50, 51, 69, 70, 106                                       |
| Hymenaea courbaril L. (LC)  | Arbóreo | X     | X  | X  | X    | X | 12, 49, 63, 71  |
| Leucaena leucocephala (Lam.) de Wit* (NE)                                 | Arbóreo | X     | X  | X  | X    |   | 3, 4, 5   |
| Libidibia ferrea (Mart. ex Tul.) L.P. Queiroz var. ferrea (NE)            | Arbóreo | X     | X  | X  | X    | X | 6, 20, 21, 22, 25, 26, 49, 99, 100, 101, 102, 103, 104        |



Tabela 1. Continuação.

| FAMÍLIA   | Hábito   | Temas |    |    | Fase |   | Referências               |
|---|----------|-------|----|----|------|---|---------------------------|
|   |          | AF    | AM | AB | S    | P |                           |
| <i>Espécie</i> (Categoria de Ameaça)  |          |       |    |    |      |   | <b>Bibliográficas</b>     |
| <i>Lonchocarpus sericeus</i> (Poir.) Kunth ex DC. (NE)  | Arbóreo  | X     |    |    | X    |   | 49                        |
| <i>Luetzelburgia auriculata</i> (Allemão) Ducke (NE)  | Arbóreo  | X     |    |    | X    |   | 49                        |
| <i>Macropitilium atropurpureum</i> (Sessé & Moc. ex DC.) Urb. (NE)  | Herbáceo | X     |    |    | X    |   | 39, 40                    |
| <i>Mimosa caesalpiniiifolia</i> Benth. (LC)   | Arbóreo  | X     | X  |    | X    | X | 49, 57, 58, 61            |
| <i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poir. (NE)  | Arbóreo  | X     | X  |    | X    | X | 28, 33, 49, 77, 78        |
| <i>Parapiptadenia zehntneri</i> (Harms) M.P. Lima & H.C. Lima (NE)  | Arbóreo  | X     |    |    | X    |   | 49                        |
| <i>Piptadenia retusa</i> P.G. Ribeiro, Seigler & Ebinger (NE)   | Arbóreo  | X     |    |    | X    |   | 49                        |
| <i>Pityrocarpa moniliformis</i> (Benth.) Luckow & R.W. Jobson (NE)  | Arbóreo  | X     |    | X  | X    |   | 48, 49, 51, 54            |
| <i>Pterogyne nitens</i> Tul. (LC)   | Arbóreo  | X     |    |    | X    |   | 48, 49, 51, 53            |
| <i>Senna obtusifolia</i> (L.) H.S. Irwin & Barneby (NE)   | Herbáceo | X     |    |    | X    |   | 105                       |
| <i>Senna spectabilis</i> (DC.) H.S. Irwin & Barneby var. <i>excelsa</i> (Schrad.) H.S. Irwin & Barneby (NE) | Arbóreo  | X     | X  | X  | X    | X | 9, 28, 29, 30, 35, 42, 49 |
| <b>MALVACEAE</b>  |          |       |    |    |      |   |                           |
| <i>Ceiba glaziovii</i> (Kuntze) K. Schum. (NE)  | Arbóreo  | X     |    |    | X    |   | 49                        |
| <i>Pseudobombax marginatum</i> (A.St.-Hil., Juss. & Cambess.) A. Robyns (LC)                                | Arbóreo  | X     |    |    | X    |   | 49                        |

Tabela 1. Continuação.

| FAMÍLIA  | Hábito  | Temas |    |    | Fase |    | Referências            |
|--|---------|-------|----|----|------|----|------------------------|
|  |         | AF    | AM | AB | S    | P  | Bibliográficas         |
| Espécie (Categoria de Ameaça)                  |         |       |    |    |      |    |                        |
| POLYGONACEAE                                   |         |       |    |    |      |    |                        |
| Triplaris gardneriana Wedd. (NE)               | Arbóreo | X     | X  | X  | X    | X  | 11, 13, 49, 59, 60, 99 |
| RHAMNACEAE                                     |         |       |    |    |      |    |                        |
| Sarcomphalus joazeiro (Mart.) Hauenschild (NE) | Arbóreo | X     | X  | X  | X    | X  | 47, 49, 64, 99         |
| SAPINDACEAE                                    |         |       |    |    |      |    |                        |
| Sapindus saponaria L. (NE)                     | Arbóreo | X     |    |    | X    |    | 49, 79                 |
| TOTAL  |         | 40    | 23 | 14 | 40   | 21 |                        |

(1) Alves et al., 2020; (2) Bispo et al., 2016; (3) Castro, 2018; (4) Castro et al., 2019; (5) Castro & Meiado, 2017; (6) Cunha et al., 2019a; (7) Cunha et al., 2019b; (8) Cunha et al., 2017a; (9) Cunha et al., 2019c; (10) Cunha et al., 2017b; (11) Freitas et al., 2017; (12) Freitas et al., 2019; (13) Freitas & Silva, 2019; (14) Hora, 2020; (15) Hora & Meiado, 2016a; (16) Hora & Meiado, 2016b; (17) Hora & Meiado, 2018; (18) Hora & Meiado, 2020a; (19) Hora & Meiado, 2020b; (20) Hora & Meiado, 2016c; (21) Hora & Meiado, 2017; (22) Hora & Meiado, 2019; (23) Hora et al., 2018; (24) Hora et al., 2015; (25) Jesus et al., 2017; (26) Jesus et al., 2016; (27) Lima, 2016; (28) Lima, 2019; (29) Lima et al., 2018a; (30) Lima et al., 2017; (31) Lima et al., 2018b; (32) Lima & Meiado, 2017a; (33) Lima & Meiado, 2018a; (34) Lima & Meiado, 2018b; (35) Lima & Meiado, 2019; (36) Lima & Meiado, 2016a; (37) Lima & Meiado, 2016b; (38) Lima & Meiado, 2017b; (39) Lima et al., 2018c; (40) Lima et al., 2018d; (41) Lima et al., 2018e; (42) Lima et al., 2019; (43) Meiado, 2013; (44) Melo, 2018; (45) Melo et al., 2020; (46) Melo et al., 2017; (47) Menezes et al., 2017; (48) Nascimento, 2016; (49) Nascimento, 2021; (50) Nascimento et al., 2018; (51) Nascimento et al., 2021; (52) Nascimento & Meiado, 2019a; (53) Nascimento & Meiado, 2019b; (54) Nascimento & Meiado, 2018; (55) Nascimento et al., 2019a; (56) Nascimento et al., 2019b; (57) Nicolau et al., 2020; (58) Oliveira et al., 2019; (59) Oliveira et al., 2018a; (60) Oliveira et al., 2017a; (61) Oliveira et al., 2018b; (62) Oliveira et al., 2016; (63) Oliveira et al., 2017b; (64) Oliveira et al., 2015; (65) Rito, 2009; (66) Rito et al., 2009a; (67) Rito et al., 2009b; (68) Santana et al., 2020; (69) Santana et al., 2019a; (70) Santana et al., 2019b; (71) Santana et al., 2017; (72) Santos & Meiado, 2017a; (73) Santos et al., 2017a; (74) Santos et al., 2020a; (75) Santos et al., 2020b; (76) Santos, 2019a; (77) Santos et al., 2018a; (78) Santos et al., 2019a; (79) Santos & Meiado, 2017b; (80) Santos, 2017a; (81) Santos, 2020; (82) Santos et al., 2017b; (83) Santos et al., 2018b; (84) Santos, 2019b; (85) Santos & Dantas, 2019; (86) Santos et al., 2018c; (87) Santos & Meiado, 2017c; (88) Santos et al., 2019b; (89) Santos & Meiado, 2017d; (90) Santos & Meiado, 2017e; (91) Santos, 2017b; (92) Santos et al., 2017c; (93) Santos & Meiado, 2019a; (94) Santos & Meiado, 2017f; (95) Santos & Meiado, 2019b; (96) Santos et al., 2015; (97) Santos et al., 2018d; (98) Silva et al., 2010; (99) Silva et al., 2019a; (100) Silva et al., 2018a; (101) Silva et al., 2019b; (102) Silva et al., 2018b; (103) Silva et al., 2018c; (104) Silva et al., 2019c; (105) Silva et al., 2018d; (106) Silva et al., 2019d; (107) Silva et al., 2020.

# CAPÍTULO 17

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

Data de submissão: 05/02/2021

Data de aceite: 24/02/2021

### **Samuel Álvarez-García**

Grupo Universitario de Investigación en  
Ingeniería y Agricultura Sostenible (GUIIAS),  
Instituto de Medio Ambiente,  
Recursos Naturales y Biodiversidad,  
Universidad de León,  
Avenida Portugal 41, 24071 León, España.  
<https://orcid.org/0000-0002-3423-7562>

### **Santiago Gutiérrez**

Grupo Universitario de Investigación en  
Ingeniería y Agricultura Sostenible (GUIIAS),  
Área de Microbiología,  
Escuela de Ingeniería Agraria y Forestal,  
Universidad de León.  
<https://orcid.org/0000-0001-6659-1390>

### **Pedro Antonio Casquero Luelmo**

Grupo Universitario de Investigación en  
Ingeniería y Agricultura Sostenible (GUIIAS),  
Instituto de Medio Ambiente,  
Recursos Naturales y Biodiversidad,  
Universidad de León,  
Avenida Portugal 41, 24071 León, España.  
<https://orcid.org/0000-0002-4432-9794>

### **Guzmán Carro-Huerga**

Grupo Universitario de Investigación en  
Ingeniería y Agricultura Sostenible (GUIIAS),  
Instituto de Medio Ambiente,  
Recursos Naturales y Biodiversidad,  
Universidad de León,  
Avenida Portugal 41, 24071 León, España.  
<https://orcid.org/0000-0003-4058-9983>

### **Álvaro Rodríguez-González**

Grupo Universitario de Investigación en  
Ingeniería y Agricultura Sostenible (GUIIAS),  
Instituto de Medio Ambiente,  
Recursos Naturales y Biodiversidad,  
Universidad de León,  
Avenida Portugal 41, 24071 León, España.  
<https://orcid.org/0000-0002-2117-593X>

### **Sara Mayo-Prieto**

Grupo Universitario de Investigación en  
Ingeniería y Agricultura Sostenible (GUIIAS),  
Instituto de Medio Ambiente,  
Recursos Naturales y Biodiversidad,  
Universidad de León,  
Avenida Portugal 41, 24071 León, España.  
<https://orcid.org/0000-0002-8291-680X>

**RESUMEN:** Nutragreen <sup>TM</sup> es una sustancia coloidal utilizada en aplicación foliar para mejorar la calidad de los vegetales y lograr mejores rendimientos. Su objetivo es facilitar el transporte de nutrientes dentro de las plantas, aumentando la eficacia de pesticidas y fertilizantes, reduciendo su dosis. El objetivo

de esta investigación fue evaluar este nanotransportador en cultivos leñosos. Este producto se aplicó con fertilizantes y pesticidas en una dilución de 1:10.000. Se utilizó un cultivo de peral (*Pyrus communis* L. cv. Conference) para probar este producto. En este experimento, se aplicaron dos tratamientos, NT (árboles de control) y T (árboles rociados con Nutragreen™). Los productos químicos se aplicaron cuatro veces durante la temporada, dos tratamientos fitosanitarios (un fungicida y un insecticida) y dos tratamientos con fertilizantes foliares. Los árboles de control (NT) se aplicaron los productos a las dosis recomendadas y en los árboles aplicados con Nutragreen™ (T) se redujo el 25% en fitosanitarios y del 50% en fertilizantes considerando las dosis recomendadas. Los resultados obtenidos en este ensayo no mostraron diferencias significativas en ninguno de los parámetros descritos anteriormente, pero mejoraron mediante el uso de Nutragreen™. Por lo tanto, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos, por lo que es posible concluir, basándose en estos resultados preliminares, que la reducción de las dosis de fertilizantes y pesticidas no afectaron a los parámetros del fruto. En conclusión, fue posible tener una buena calidad de fruta y lograr una reducción de los insumos utilizando menos materia activa por aplicación, lo que generó beneficios ambientales.

**PALABRAS-CLAVE:** Ecológico. Nanopartículas. Sustancia Coloidal. Contaminación ambiental. Horticultura.

**ABSTRACT:** Nutragreen™ is a colloidal substance of foliar application for enhancing quality production of vegetables and achieving better yields. Its aim is to facilitate nutrients transportation inside plants, increasing their efficacy and, having a reduction of pesticides and fertilizer doses. This could lead to obtain sweeter fruits, bigger roots or plants more resistant against pests and adverse climatic factors. The aim of this research was to evaluate this carrier in perennial crops. This product is sprayed with fertilizers and pesticides in a dilution 1:10.000, due to its high potential as a nanocarrier. A pear orchard (*Pyrus communis* L. cv. Conference), was used for testing this product. Control trees (NT) were sprayed with products at recommended doses and trees sprayed with Nutragreen™ (T) were used a 25 % less in pesticides and 50% less in fertilizers at recommended doses. Ten fruits were collected per tree and they were evaluated: weight, size, firmness and °Brix. Results obtained in this assay did not show any significance differences in any of parameters described before, but they were improved by using Nutragreen™. Thus, no significance differences were observed between treatments so it can conclude in these preliminary results that reducing fertilizers and pesticides doses did not affect fruit parameters (weight, size, firmness and °Brix), even in one case could improve some parameters. Therefore, it is possible to harvest good quality fruit and achieve a reduction of inputs using less active matter per application, thus environmental benefits. As a preliminary study has proved that inputs were reduced. Further, some studies are needed by ensuring that quality and better yields are reached.

**KEYWORDS:** Organic. Nanoparticles. Colloidal Substance. Environmental pollution. Horticulture.

## 1 INTRODUCCIÓN

El uso de productos químicos en la agricultura ha disminuido ligeramente en los países desarrollados. Sin embargo, en los países en vías de desarrollo no hay una clara disminución de este consumo. Además, existe una subestimación del riesgo a la exposición de los productos fitosanitarios en la agricultura, siendo importante concienciar a los agricultores sobre el riesgo que ello conlleva (Espluga Trenc, 2004). Esto nos lleva a la persistencia de los residuos de estos fitosanitarios en los alimentos y en el medio ambiente que sigue siendo un problema que requiere una acción coordinada y responsable (Carvalho, 2006).

Por ello, Nutragreen™ es un producto natural que surge motivado por la gran dependencia de productos químicos y fertilizantes sintéticos en los cultivos, lo que ha favorecido el deterioro del suelo, la escasez de nutrientes e infecciones que se ha manifestado mediante bajos rendimientos y menor calidad. Se ha llegado a un ciclo degenerativo que compromete la sostenibilidad y la estabilidad de alimentos a una población creciente.

Los agricultores buscan remedios naturales sin renunciar a la productividad, calidad y rendimientos (Lamichhane et al., 2016). Una solución sostenible y ecológica es Nutragreen™, una herramienta para ayudar al agricultor, cuyo fundamento se basa en “la nanotecnología y la química coloidal al servicio del agricultor y del medio ambiente”. Nutragreen™ es una sustancia coloidal única que posee un tamaño de 0,6 nanómetros y que permite una mejor absorción de los productos a utilizar, favoreciendo una asimilación y mejor distribución de los productos aplicados reduciendo el número de aplicaciones.

Este producto es totalmente compatible con la agricultura ecológica por lo que, junto con las proyecciones de futuro del sector ecológico tanto en España como en Portugal, (Ferreira et al., 2016) lo convierten en un compuesto ideal para su uso en este tipo de producción.

La fruticultura en España es un sector competitivo y en expansión que representa más del 17% de la producción de la rama agraria. Ocupa más de cuatro millones de hectáreas destacando el amplio y diverso tejido industrial que existe a su alrededor (Hueso Martín & Cuevas González, 2014). En particular, el cultivo de la pera de variedad “Conference” es la más importante en España debido a su excelente calidad y adaptación al clima convirtiéndola en la variedad más extendida (Iglesias Castellarnau et al., 2016). La pera “Conference” se caracteriza por ser una fruta muy jugosa, dulce, fresca y muy agradable al paladar. Posee un bajo olor, alto valor en dulce y bajo en ácido con muy baja astringencia y propiedades de textura muy equilibradas. Una de las propiedades más

características de la Pera Conferencia es su “russeting” natural, que hace que su piel tenga un aspecto oxidado y con tonalidades verdosas (Alonso Gaité, 2011).

## 2 METODOLOGÍA

### 2.1 DISEÑO DEL EXPERIMENTO

Se utilizó un cultivo de peral (*P. communis* cv. Conference) para probar este producto. Se utilizaron árboles de guarda entre tratamientos para evitar posibles problemas de contaminación cruzada. El experimento consistió en un diseño aleatorizado por bloques al azar (tres bloques según las diferentes características de la parcela) con un factor:

- T, árboles tratados con Nutragreen (dosis 0.01 l de producto/100 l de agua).
- NT, árboles control sin tratamiento de Nutragreen.

Se tomaron muestras de 20 árboles (10 árboles tratados con Nutragreen y 10 árboles testigo).

La aplicación de Nutragreen <sup>TM</sup> se siguió las recomendaciones del fabricante (dilución de 1:10.000).

Se realizaron cuatro aplicaciones sobre la plantación durante la campaña 2018.

Primeramente, se aplicó un tratamiento con oxiclورو de cobre y con aceite de parafina a las dosis recomendadas para el tratamiento (NT) y el mismo tratamiento, pero con una reducción en la dosis del 25% y añadiendo el producto Nutragreen<sup>TM</sup> a una dilución 1:10.000 para el tratamiento (T). Se aplicó en el estado fenológico B (según Feckinger), yema comienza a hincharse.

Posteriormente, un tratamiento insecticida con imidacloprid a la dosis recomendada (NT) y el mismo tratamiento para el tratamiento (T) pero con una reducción de la dosis del 25% y la misma dilución de Nutragreen<sup>TM</sup> que en el anterior tratamiento. Se aplicó en el estado fenológico E (según Feckinger), en prefloración.

Finalmente, se aplicaron dos tratamientos con fertilizantes foliares basados en aminoácidos y micronutrientes durante la división celular con el fin de favorecer el tamaño final del fruto. Se utilizó a las dosis recomendadas para el tratamiento (NT) y para el tratamiento (T) se redujo al 50% la dosis del fertilizante foliar y se añadió a una concentración 1:10.000 el producto Nutragreen<sup>TM</sup>. Se aplicó en estado fenológico G y posteriormente en I (según Feckinger), en caída de los primeros pétalos y en cuajado del fruto respectivamente.

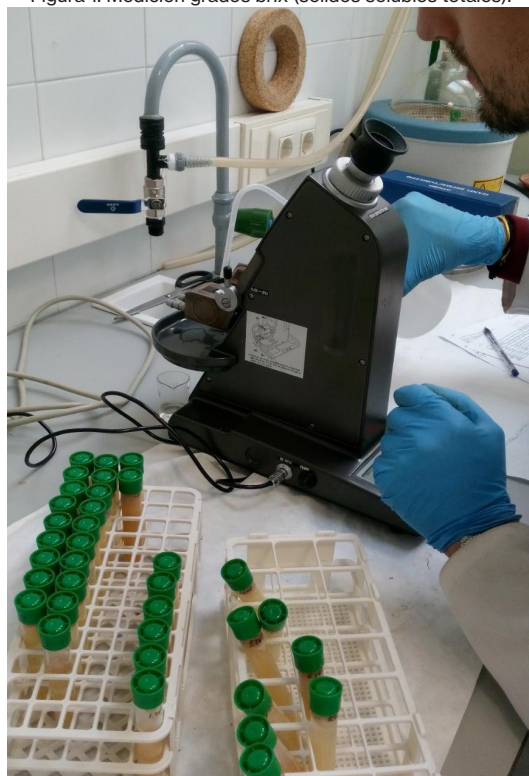
## 2.2 EVALUACIÓN DE LA COSECHA

Para la determinación de la recolección, se utilizó el método de la solución de yoduro potásico con el fin de determinar el momento óptimo de recolección de la cosecha (Brookfield et al., 1997). Se recolectaron diez frutos por árbol analizando sus características físicas, mecánicas y químicas.

Se evaluaron sus características físicas mediante el peso y el tamaño de la fruta. Mediante una báscula de precisión, se realizó el pesado en gramos de 10 frutos por árbol. También se realizaron mediciones mediante un calibre digital de mano para su diámetro, realizando dos mediciones perpendiculares en la parte más ancha del fruto.

Para la evaluación de las propiedades mecánicas, se determinó la dureza por medio de un penetrómetro digital debidamente calibrado. En la zona de máximo diámetro del fruto, se realizaron dos cortes en partes distintas. La capa de epidermis que se retiró tenía una superficie entre 1-2 cm<sup>2</sup>, donde se introdujo el penetrómetro. Se colocó el fruto en la plataforma del penetrómetro y de manera perpendicular se introdujo el pistón en el fruto. Se realizaron dos mediciones por fruto, obteniéndose el valor medio de la dureza de la pulpa en Newtons (N).

Figura 1: Medición grados brix (sólidos solubles totales).



Para la evaluación de las propiedades químicas de las frutas, se determinó el pH y el contenido de sólidos solubles totales. Para el pH se realizó un puré o cremogenado de cada fruto tras haberle retirado la piel y se midió directamente con un pHmetro. Se determinó el contenido de los azúcares (fructosa, sacarosa y glucosa, y en menor concentración sorbitol, xilosa, galactosa, rafinosa y estaquiosa (Colaric et al., 2007) mediante un refractómetro. Sobre el prisma inferior, se echaron unas gotas del zumo obtenido en la licuadora y se cerró el prisma. Seguidamente, se adecuó el ocular hasta que la escala quedó nítida y se ajustó la línea de reflexión en el punto medio de la cruz para realizar la lectura, expresada en grados Brix.

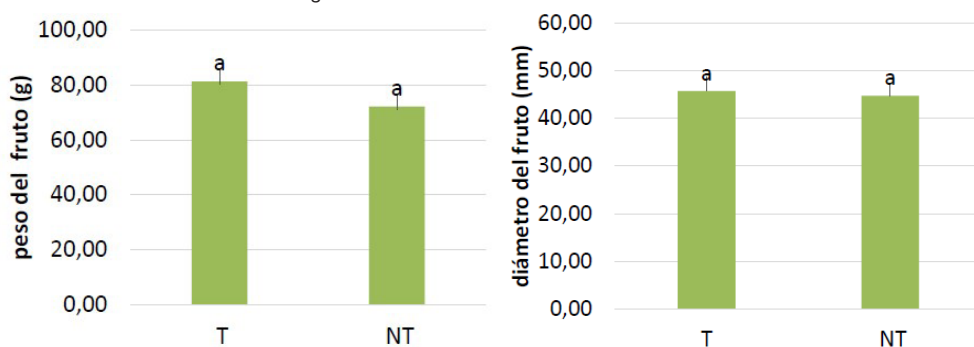
Con el objetivo de comparar los resultados obtenidos, se realizó un tratamiento estadístico de los datos mediante comparación de medias mediante la realización de ANOVA de una vía y su análisis *post-hoc* mediante el test de Tukey para establecer la existencia de diferencias entre los dos tratamientos ( $P < 0.05$ ). Los análisis estadísticos se realizaron con el programa informático SPSS (Statistics for Windows Version 21.0, IBM Corp., Armonk, NY, USA).

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante todo el desarrollo vegetativo del cultivo, así como en recolección no se observó ningún daño causado por plagas o enfermedades en ninguno de los tratamientos. La fruta en ambos casos tuvo un aspecto comercial adecuado.

En lo referido a las propiedades físicas, el peso del fruto para los árboles tratados con Nutragreen (T) obtuvieron un valor medio de 81,34 g mientras que para los árboles sin tratar con Nutragreen (NT) fue de 72,17 g. Para la evaluación del diámetro del fruto, los árboles tratados con Nutragreen (T) fue de 45,44 mm de diámetro mientras que para NT fue de 44,73 mm. Para ambos casos no hubo diferencias significativas ( $P > 0.05$ ) (Figura 2).

Figura 2: Propiedades físicas de la cosecha de pera. Izquierda: Peso medio del fruto (g). Derecha: Diámetro del fruto (mm). Las letras diferentes indican diferencias significativas Tukey ( $P < 0.05$ ). T: árboles tratados con Nutragreen. NT: árboles sin tratamiento de Nutragreen.





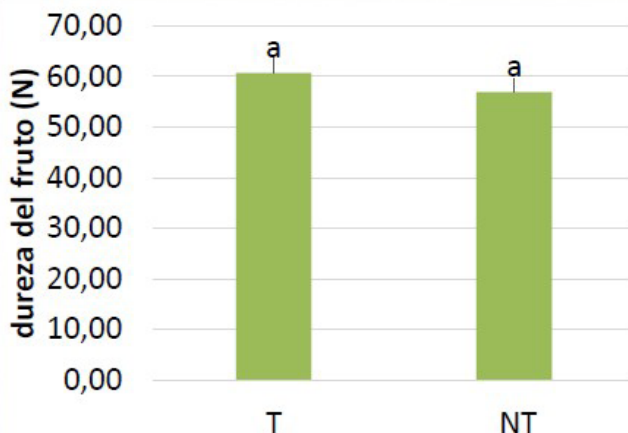
En lo referido a las propiedades químicas, el pH del fruto para los árboles tratados con Nutragreen (T) obtuvieron un valor medio de 4,79 mientras que para los árboles sin tratar con Nutragreen (NT) fue de 4,76, sin diferencias significativas entre los tratamientos. En el caso de los grados brix (contenido de sólidos solubles totales), los árboles tratados con Nutragreen (T) obtuvieron un valor de 20,83°Brix mientras que para NT fue 19,06°Brix. En aquellos árboles tratados con Nutragreen (T), se obtuvieron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ), siendo significativamente mayor en aquellos árboles tratados con Nutragreen (Figura 3).

Figura 3: Propiedades químicas de la cosecha. Izquierda: Valor del pH del fruto. Derecha: Sólidos solubles totales (°Brix). Las letras diferentes indican diferencias significativas Tukey ( $P < 0.05$ ). T: árboles tratados con Nutragreen. NT: árboles sin tratamiento de Nutragreen.



Finalmente, se evaluó la dureza del fruto. Los árboles tratados con Nutragreen (T) obtuvieron un valor medio de 60,70 N mientras que para los árboles sin tratar con Nutragreen (NT) fue de 56,95 N, sin diferencias significativas entre los tratamientos  $P > 0.005$  (Figura 4).

Figura 4: Propiedades mecánicas de la cosecha. Dureza del fruto (N). Las letras diferentes indican diferencias significativas, Tukey ( $P < 0.05$ ). T: árboles tratados con Nutragreen. NT: árboles sin tratamiento de Nutragreen.



Los resultados obtenidos en este ensayo solo mostraron diferencias significativas en los sólidos solubles, pero todos los parámetros descritos mejoraron mediante el uso de Nutragreen <sup>TM</sup>. Por lo tanto, es posible concluir, basándose en estos resultados preliminares, que la reducción de las dosis de fertilizantes y pesticidas mejoran o no afectan los parámetros del fruto, con lo que se redujo los residuos y la posible contaminación ambiental.

## 4 CONCLUSIONES

La adición de Nutragreen permite obtener cosechas con una buena calidad de fruta y lograr una reducción en los insumos reduciendo la dosis de materia activa por aplicación. Así como un mayor contenido de sólidos solubles totales en fruto. Esto genera beneficios ambientales y una reducción en los costes. Por lo que mediante este estudio se demostró que el consumo de insumos podría reducirse.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alonso Gaité, A. (2011). *Caracterización sensorial y físico-química de manzanas reineta y pera conferencia, figuras de calidad en Castilla y León*. Universidad de León.

Brookfield, P., Murphy, P., Harker, R., & MacRae, E. (1997). Starch degradation and starch pattern indices; interpretation and relationship to maturity. *Postharvest Biology and Technology*, 11(1), 23-30. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(97\)01416-6](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(97)01416-6)

Carvalho, F. P. (2006). Agriculture, pesticides, food security and food safety. *Environmental Science and Policy*, 9(7-8), 685-692. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2006.08.002>

Colaric, M., Stampar, F., & Hudina, M. (2007). Content levels of various fruit metabolites in the «Conference» pear response to branch bending. *Scientia Horticulturae*, 113(3), 261-266. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.03.016>

Espluga Trenc, J. (2004). La exposición laboral a pesticidas en la agricultura. Un caso de aparente subestimación del riesgo. *Sociología del Trabajo*, 33, 33-60.

Ferreira, J., Técnica, A. A., Lda, B., & Vento, C. M. De. (2016). Perspetivas da agricultura biológica em Portugal e na União Europeia. *Iv Coloquio Nacional de agricultura biológica, Actas Portuguesas de Horticultura*, 25, 3-7.

Hueso Martín, J., & Cuevas González, J. (2014). La fruticultura del siglo XXI en España. En *Serie Agricultura (10): La Fruticultura del siglo XXI en España* (Número 10).

Iglesias Castellarnau, I., Vilardel, P., & Bonany, J. (2016). Innovación varietal en el Características y comportamiento de nuevas variedades. *Vida Rural*, 44-50.

Lamichhane, J. R., Dachbrodt-Saaydeh, S., Kudsk, P., & Messéan, A. (2016). Toward a reduced reliance on conventional pesticides in European agriculture. *The American Phytopathological Society*, 100(1), 10-24.

# CAPÍTULO 18

## CARACTERIZACIÓN AGROECOLÓGICA DE SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIOS SIPAS

*Data de submissão: 05/02/2021*

*Data de aceite: 24/02/2021*

**Gustavo Adolfo Alegría Fernández**

Docente Universidad del Cauca.

Popayán. Colombia.

[gustavoalegria@unicauca.edu.co](mailto:gustavoalegria@unicauca.edu.co).

CvLAC

<https://orcid.org/0000-0002-7211-108X>

**RESUMEN:** La investigación se centró en la implementación de una metodología de trabajo de campo que permite la caracterización y evaluación de la sustentabilidad agroecológica de fincas a partir de indicadores, mediante la utilización de herramientas de Investigación Acción Participativa IAP (Colmenares E., 2012). Ello permite un proceso recíproco entre el investigador y el productor, horizontal, de intercambio de saberes, en el cual prevalece el relacionamiento sujeto-sujeto (Borda, 1999). El trabajo se llevó a cabo en el municipio de Sotará, vereda Sachacoco, junto a varios miembros del resguardo indígena Yanacona. Se trabajó en 13 fincas, con 52 beneficiarios, a quienes se les hizo un acompañamiento

técnico, con el fin de fortalecer procesos productivos e identificar las posibles rutas de transición a sistemas integrados de producción agropecuaria SIPAS. La metodología consta de tres partes en la primera es la aplicación de guías de campo, luego una evaluación con una batería de indicadores de sustentabilidad agroecológica y la tercera parte es la generación de una ruta de transición participativamente (Spers, 2020). La caracterización de fincas permite identificar el nivel y estrategias de sustentabilidad que realizan los campesinos en las fincas, los modelos impulsados por la agricultura industrial en procura de aumentar los índices de producción y hacerla eficiente en el corto plazo, bajo la premisa de una alta productivista, llevo a que los pequeños productores campesinos asumieran una alta dependencia de agro insumos externos de sus sistemas productivos. Colocando en riesgo la soberanía alimentaria de las familias; contrario a esta incidencia, se debe fortalecer el diseño y modelos de producción diversificados, integrados y autosuficientes, donde predomine el cuidado de la naturaleza (Alegría, 2019). Los resultados ratifican que después de la caracterización de los sistemas productivos, las fincas diversificadas, integradas y con un grado mayor de autosuficiencia, son resilientes a los trastorno y cambios bruscos ambientales.

**PALABRAS CLAVES:** Investigación acción participativa. Apropiación social. Cambio climático. Agricultura industrial. Indicadores de sustentabilidad.

## AGROECOLOGICAL CHARACTERIZATION OF INTEGRATED SYSTEMS OF AGRICULTURAL PRODUCTION SIPAS

**ABSTRACT:** The research focused on the implementation of a fieldwork methodology that allows the characterization and evaluation of the agroecological sustainability of farms based on indicators, through the use of PAR Participatory Action Research tools. This allows a reciprocal process between the researcher and the producer, horizontal, of knowledge exchange, in which the subject-subject relationship prevails. The work was carried out in the municipality of Sotará, Sachacoco village, together with several members of the Yanacona indigenous reservation. Work was done on 13 farms, with 52 beneficiaries, who received technical support in order to strengthen production processes and identify possible transition routes to integrated SIPAS agricultural production systems. The methodology consists of three parts: the first is the application of field guides, then an evaluation with a battery of indicators of agroecological sustainability and the third part is the generation of a participatory transition route. The characterization of farms allows to identify the level and sustainability strategies that peasants carry out in the farms, the models promoted by industrial agriculture in an attempt to increase production rates and make it efficient in the short term, under the premise of high productivity, led small peasant producers to assume a high dependence on external agricultural inputs from their production systems. Putting the food sovereignty of families at risk; Contrary to this incidence, the design and diversified, integrated and self-sufficient production models must be strengthened, where the care of nature prevails. The results confirm that after the characterization of the productive systems, the diversified, integrated farms and with a greater degree of self-sufficiency, are resilient to upheavals and sudden environmental changes.

**KEYWORDS:** Participatory action research. Social appropriation. Climate change. Industrial agriculture. Sustainability indicators.

### 1 INTRODUCCIÓN

Los sistemas productivos campesinos, hoy requieren ser diversificados, integrados y autosuficientes, por ello cobra gran importancia hablar de los sistemas integrados de producción agropecuarios – SIPAS (Marasas et al., 2015). Desde una perspectiva regional en el departamento de Cauca-Colombia, se han convertido los SIPAS en una de las principales alternativas de la economía campesina, indígena y afro, en este sentido es necesario el apoyo a procesos productivos y sociales que existen en torno a los SIPAS con un cultivo principal que puede ser agrícola o pecuario (Acevedo O & J., 2018). Las organizaciones sociales como el Comité de Integración del Macizo Colombiano – CIMA, impulsa y se sustenta su producción bajo esta propuesta, la cual les permite una

producción, basada en procesos agroecológicos y territoriales apoyados en lo cultural, lo político y en la economía propia.

La prolongada lucha de las comunidades campesinas en el sector rural para el reconocimiento de las necesidades básicas, que hasta la fecha se mantienen insatisfechas y, sobre todo, en el tema productivo agropecuario, que el Estado hace caso omiso a las protestas e inconformidades, que debilitan cada vez más el ser campesino (Forero, 2016). Dicho sector productivo no representa grandes entradas de ingreso para el Estado, como si otros sectores como la industrial, la minería o los servicios. Esta situación de abandono y vulnerabilidad es aprovechada por el mercado capitalista donde la agricultura industrial y sus casas comerciales impulsan la masiva venta de agro insumos químicos, logran generar una solución rápida pero a corto plazo, toda vez que deteriora el ambiente debido por su constante uso (Naredo, 2007), al igual contaminan el agua, disminuye la biodiversidad macro y microbiológica del entorno y por ende, la disminución del potencial productivo de los suelos, acompañado del aumento de la dependencia externa de insumos, que disminuye el ingreso percibido por parte del productor (Lef, 1993). A la vuelta de algunos años, genera en las fincas un desbalance mineral, aumenta la salinidad o acidez del suelo, una marcada reducción de microorganismos edáficos, la erosión del suelo, disminuye su capacidad de almacenamiento de agua y nutrientes, entre innumerables daños (Gliessman et al., 2007). Los campesinos se ven cada vez más afectados por la presión de un mundo más globalizado donde prima el producir más rápido, más volumen y más barato, obligando a los cultivadores a la adopción de paquetes tecnológicos más dependientes pero que implican un desbalance negativo de los costos de producción y de la biodiversidad (González, 2012). Donde cada vez más se erosionan los conocimientos y prácticas, de sistemas productivos integrales, es urgente entonces promover el diseño y modelos de producción diversificados, integrados y autosuficientes, donde predomine el cuidado de la naturaleza, las semillas criollas, los circuitos cortos abastecimiento alimentario, la diversidad étnico-cultural de los pueblos y la diversidad biológica de los territorios (Toledo et al., 2008).

Para ello, es necesario avanzar en la consolidación de metodologías y herramientas, que permitan una caracterización holística, de las unidades productivas, mediante una evaluación de indicadores sustentable, para consolidar la planificación y rutas de transición agroecológica, no obstante, es muy poco lo que se encuentra en la literatura sobre los sistemas integrados de producción agropecuarios SIPAS (Acevedo O & J., 2018).

El sustento de esta investigación se realizó en el corregimiento de Sachacoco esta ubica al noroccidente del Municipio de Sotará, departamento del Cauca-Colombia, se encuentra a una altura de 1.800 m.s.n.m., tiene una temperatura de 19°C, para llegar

a este corregimiento existen tres vías de acceso, sin embargo, la más usada y que se encuentra en mejor estado es, saliendo de Popayán y tomando la carretera Panamericana al sur hasta el puente de los Robles Km 8, aquí se desvía 2 Km hasta encontrar la vereda de Sachococo, la vía de acceso, se encuentra en regular estado debido a que no es pavimentada y en época de invierno se hacen encharcamientos, sumado a esto, presenta un relieve con lomas alargadas y pendientes moderadas a fuertes entre 50 y 75 %. Sus actividades fundamentales son la agricultura y la ganadería vacuna doble propósito (producción de carne y leche), los principales productos agrícolas son: papa, ulluco, café, hortalizas y frutales, tomate de árbol, fresa, lulo, mora, entre otros.

Esta propuesta epistémica y práctica reivindica que existen otras formas de relacionarnos con la naturaleza y en ese camino validar modelos sustentables en los sistemas integrados de producción (Alegría, 2019). La metodología se divide en tres momentos: primero, el levantamiento topográfico y la caracterización de los sistemas y subsistemas productivos, el segundo determina participativamente con el productor el estado de la sustentabilidad de la finca por medio de indicadores, el tercero, propone el diseño y el plan de implementación de una ruta consensuada de transición agroecológica con enfoque territorial con el productor a su unidad productiva, con el fin de avanzar hacia un sistema integrado de producción agropecuario SIPA (GUTIÉRREZ V et al., 2013).

Las fincas que están trabajando con fundamentos de los SIPAS, garantiza la permanencia de la producción sustentable y como tal dan un soporte a los procesos territoriales locales (Alexandre et al., 2017). Así como también es necesario que las fincas que aún no poseen ese enfoque sustentable realicen la transición hacia los SIPAS, sistemas sustentables (Gliessman et al., 2007) y que esos lugares se conviertan también en espacios de fincas escuelas demostrativas agroecológicas para el territorio.

## 2 MÉTODO

Se implementó una metodología que incluye, la caracterización de finca, la evaluación mediante indicadores de sustentabilidad, la generación de una ruta de transición agroecológica y la pospuesta de un sistema integrado de producción agropecuaria. Para llevar a cabo este trabajo se realizan 4 salidas de campo.

En la primera salida, se realiza el trabajo de caracterización, lo que se hace es llenar unas guías junto con el productor haciendo un recorrido alrededor de la finca para ir conociendo cada uno de los subsistemas que la integraban. Se elabora un mapa de uso actual, y luego un mapa soñado; también se evalúan las principales actividades productivas de la zona y la finca, las características del suelo, los bosques y las fuentes de agua, los roles de los miembros de la familia y la participación de mujeres y jóvenes, el

destino de la producción, la participación en procesos comunitarios, organizativos y las instituciones que apoyan los procesos productivos.

La evaluación de indicadores de sustentabilidad, se realiza en la segunda salida, donde se evalúan todos los aspectos tanto positivos como negativos, para así poder identificar los problemas o fallos que presenta cada finca en los componentes, ambientales, económicos, socio culturales, técnico agrícola y técnico pecuario, aquí junto al productor se evalúa la finca calificando de 1 a 5.

La ruta de transición se realiza en la tercera salida, donde cada productor, realizan la propuesta de la ruta de transición, el cual se concretan metas comunes con el investigador, con el fin de que se defina la proyección y el diseño de un sistema integrado de producción agraria sostenible, introduciendo compromisos y beneficios al futuro, contribuyendo así a dar un mejor uso a los recursos naturales disponibles y mejorando la sustentabilidad de la finca. En la cuarta y última salida, se socializa a los productores los resultados del trabajo.

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El trabajo se llevó a cabo en el municipio de Sotará, vereda Sachacoco, con las familias pertenecientes al resguardo indígena Yanacona, se trabajó con 13 fincas, es decir, con 52 beneficiarios directos y 208 indirectos, el fin es fortalecer procesos productivos.

Tabla1. Promedio de indicadores de cada finca y de las 13 fincas de Sotará.

| FINCA    | INDICADORES ECONÓMICOS | INDICADORES AMBIENTALES | INDICADORES SOCIO CULTURALES | INDICADORES TÉCNICO PECUARIO | INDICADOR RES TÉCNICO AGRÍCOLA | SUSTENTABILIDAD POR UNIDAD PRODUCTIVA |
|----------|------------------------|-------------------------|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------|
| 1        | 3,0                    | 3,1                     | 2,7                          | 3,2                          | 3,8                            | 3,2                                   |
| 2        | 3,4                    | 3,5                     | 3,4                          | 2,1                          | 2,6                            | 3,0                                   |
| 3        | 1,5                    | 4,0                     | 3,7                          | No aplica                    | 3,8                            | 3,2                                   |
| 4        | 2,3                    | 3,6                     | 3,7                          | 2,1                          | 3,8                            | 3,1                                   |
| 5        | 2,3                    | 4,0                     | 4,2                          | 2,1                          | 2,6                            | 3,0                                   |
| 6        | 3,6                    | 3,4                     | 4,2                          | 3,0                          | 2,9                            | 3,4                                   |
| 7        | 3,0                    | 3,6                     | 4,5                          | 3,6                          | 3,9                            | 3,7                                   |
| 8        | 3,4                    | 3,9                     | 3,5                          | 2,0                          | 3,7                            | 3,1                                   |
| 9        | 3,9                    | 3,8                     | 2,7                          | 4,6                          | 4,4                            | 3,9                                   |
| 10       | 3,4                    | 3,9                     | 4,1                          | 2,1                          | 3,7                            | 3,4                                   |
| 11       | 2,5                    | 3,6                     | 2,8                          | 2,3                          | 3,6                            | 3,0                                   |
| 12       | 3,6                    | 3,4                     | 3,8                          | 3,2                          | 3,0                            | 3,4                                   |
| 13       | 2,9                    | 3,4                     | 3,6                          | 3,1                          | 2,9                            | 3,2                                   |
| PROMEDIO | 3                      | 3,6                     | 3,6                          | 2,8                          | 3,4                            |                                       |

Fuente: propio autor del trabajo

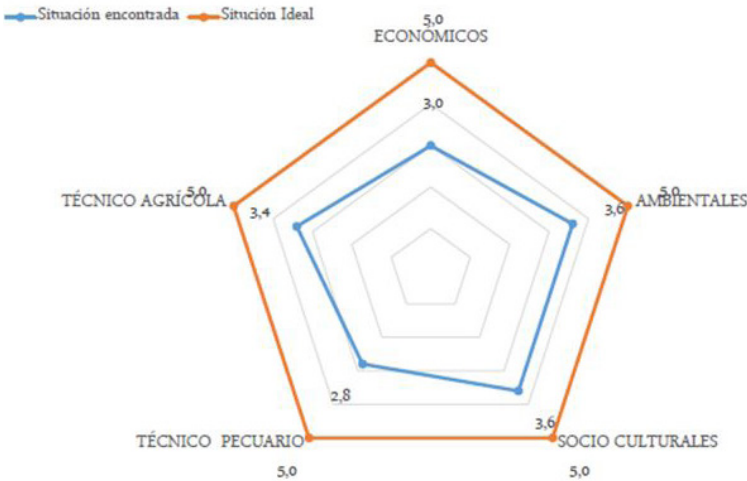
La evaluación de las trece fincas mediante indicadores de sustentabilidad permite medir el estado actual de las fincas, e identificar las alertas de deterioro ambiental, económico y social en las unidades productivas. La matriz representa la evaluación por indicadores de las trece fincas caracterizadas donde se evaluó:

La dimensión economía: el indicador menor fue 1,5 y el mayor indicador es 3,6 el promedio de las diez fincas es de 3,0. En la dimensión ambiental: el promedio de las fincas es de 3,6 siendo uno de los mayores promedios de las dimensiones evaluadas. En la dimensión socio cultural: el indicador más alto es de 4,2 debido al grado de participación de la finca en procesos organizativos, asistencia a reuniones, liderazgo en la zona, conformación del resguardo indígena y gestión en procesos de soberanía alimentaria que generan en la finca.

La dimensión técnica pecuaria: es una de las menores debido a que el componente animal en los sistemas integrados de las fincas no está desarrollado en su totalidad, teniendo calificaciones de 2,8 esto dificulta el principio de integración de las unidades productivas y aumenta la dependencia de insumos externos. En la última dimensión técnica agrícola: las fincas vienen desarrollados procesos de recuperación de semillas propias con una calificación de 3,2 que es aceptable, pero se deben generar estrategias de mejoramiento.

La evaluación por indicadores de sustentabilidad permite medir el estado actual de las fincas e identificar las prácticas sustentables y las alertas de deterioro ambiental, económico y social en las unidades productivas(Nicholls & Altieri, 2018), para este caso de estudio la finca 9 tiene los mejores indicadores de sustentabilidad.

Figura 1. Consolidado de las 13 fincas de Sotará.  
Evaluación de Indicadores de Sustentabilidad



Fuente: propio autor del trabajo

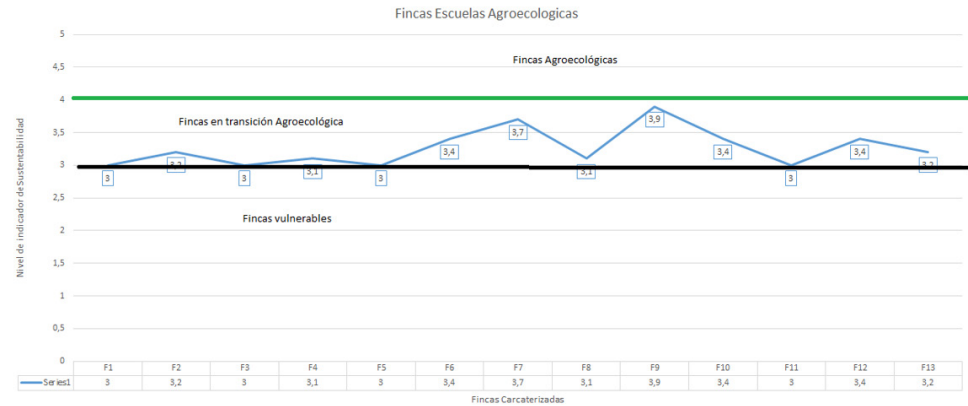


En la evaluación de indicadores de sustentabilidad, la gráfica anterior muestra la calificación de los indicadores de sustentabilidad a nivel de paisaje, como se puede observar los indicadores ambientales y sociales tienen una calificación de 3.6, debido a que son unidos, participan en mingas, se reúnen constantemente en el salón de junta de acción comunal y gestionan asesorías técnicas, en lo ambiental también la mayoría cuida los recursos naturales, se ven variedad de árboles y gran cantidad de biodiversidad, hacen uso adecuado de los recursos naturales, la mayoría tienen fuentes hídricas en la parte de debajo de las fincas, hay guadua y árboles para que no se sequen las fuentes hídricas, sin embargo, la quebrada está siendo contaminada por las aguas mieles del café, la mayoría no cuentan con soluciones ambientales como atrapa grasas o biofiltros.

En cuanto a los indicadores técnico pecuarios, son los más bajos con una calificación de 2.8, esto debido a que casi todas las fincas tienen el componente pecuario, pero lo tienen muy descuidado y en la mayoría no se les brinda bienestar animal, ni llevan registros de sanidad y alimentación; el componente técnico agrícola también muestra una calificación regular de 3.4, esto se debe a que a pesar de que los cultivos de café están intercalados con plátanos, árboles y otros cultivos, no tienen un arreglo espacial, cabe resaltar que la mayoría han renovado los cafetales y los han organizado con distancias de siembra, de modo que se ve ordenado; respecto a los indicadores económicos, en la mayoría de fincas no hay un flujo de caja constante, porque no escriben en un calendario las fechas de siembra, por eso solamente hay cosecha por épocas.

Con el análisis de la información de campo se construye y se promueve participativamente una ruta de transición agroecológica para el diseño de las fincas como sistemas integrados de producción SIPAS (Sarandón & Flores, 2014).

Figura 2. Nivel de sustentabilidad de las fincas caracterizadas de Sotará.



Fuente: propio autor del trabajo

En la gráfica se determina con el color verde las fincas que están sobre esta línea la calificación es superior a 4, se convierten en las fincas escuelas demostrativas agroecológicas en la región, por los altos índices de sustentabilidad en cada una de las dimensiones evaluadas; en color negro con puntaje superior a 3 las fincas que están en transición en las cual se debe mejorar algunas prácticas agroecológicas para alcanzar mayores niveles de sustentabilidad y las fincas que están por debajo de la línea negra son las fincas con una puntuación menor a 3 las cuales se identifican muchas limitantes productivas y vulnerables a los cambios climáticos; con estos insumos se desarrolla para cada una de la fincas junto al propietario un diseño de ruta de transición agroecológica que permite llegar a la situación deseada un nivel de sustentabilidad en cada finca de rango o nivel 5 situación ideal que se busca en todas las dimensiones, Ambiental. Económica. Socio cultural y técnico productiva (Sarandón & Flores, 2014).

#### 4 CONCLUSIONES

La caracterización y evaluación de la sustentabilidad de las fincas, a partir de indicadores, permite tener estrategias en la construcción de rutas de transición agroecológica como una herramienta potente en proceso de gobernanza de los territorios, planificando desde la finca, vereda y micro cuenca.

Las fuentes hídricas están generalmente en la parte de abajo de las fincas, las cuales son contaminadas por las aguas mieles del café, para ello se dio una solución a corto plazo con un atrapa grasa para disminuir la contaminación, se recomienda utilizar las aguas mieles tratadas como un recurso para implementar un sistema de riego a los lotes de café y mejorar las instalaciones en donde se hace el tratamiento de aguas. En las unidades productivas de la región deben sembrar más árboles cerca a la quebrada de agua y recolección de aguas lluvias para las necesidades pecuarias y agrícolas. Para mejorar la fertilidad del suelo se concretó la aplicación de abono orgánico en los cultivos y sembrar más limoncillo para mayor cobertura y amarrar el suelo, esto con el fin de evitar erosión, además hacer reforestación para proteger fuentes hídricas y mejorar la conservación de fauna y flora silvestre.

Otro aspecto general que se veía en las fincas es que no se realizan labores culturales a los árboles del bosque, ni se reponen rápidamente los árboles o guaduas, lo cual afecta la biodiversidad, por ello se debe hacer un buen manejo a los árboles.

Trabajar la parte de agroindustria rural, para darles un valor agregado, también disminuir la dependencia de agroinsumos, fabricando biopreparados y abonos orgánicos, para disminuir los costos en fertilizantes químicos y para que las plantas tengan una mejor

producción y ayudando a la estructura y propiedades del suelo. Gestionar proyectos como comunidad, para que la alcaldía los apoye en la parte financiera para trabajar tanto en compostera y como en el tratamiento de aguas mieles, también gestionar proyectos con las universidades para asesoría del manejo, organización y administración de la finca; otra propuesta es generar diversas fuentes de ingreso, para no depender de un solo cultivo.

Llevar registros de las actividades que se hacen y anotar las fechas de siembra cosecha y todas las demás labores culturales, unirse como comunidad para realizar mingas y trabajar en equipo, así mismo organizarse para producir diversidad de alimentos y hacer trueques con los vecinos para que no vean entre ellos como competencia, sino que haya diversidad y todos se benefician. También tener en cuenta las épocas de siembra y cosecha, basándose en las fases de la luna, enseñar todos los conocimientos adquiridos a las futuras generaciones.

Conservar especies nativas, diversificar las fincas con diferentes cultivos y árboles, realizar plan de fertilización de cada cultivo, aplicar abonos orgánicos y un hacer un manejo integrado de plagas y enfermedades. Llevar registros en un calendario con las labores anuales y costos de cada actividad agrícola realizada, con el fin de llevar un registro de todo el dinero que invierta, como también el registro de las ventas para poder hacer una evaluación de rentabilidad.

Disminuir la compra de alimentos comerciales con el fin de minimizar costos, a cambio realizar concentrados artesanales o suplementos elaborados con materiales propios de la zona, se les debe proporcionar agua limpia y potable, y proporcionarles un lugar agradable para que tengan bienestar animal; así mismo tener un plan de nutrición animal, según sus requerimientos en cada etapa productiva, realizar control sanitario y un plan de vacunación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acevedo O, Á., & J., N. (2018). Agroecología. Experiencias comunitarias para la agricultura familiar en Colombia. In *Agroecología. Experiencias comunitarias para la agricultura familiar en Colombia*. Universidad del Rosario. <https://doi.org/10.12804/tp9789587842326>

Alegria, G. (2019). La agroecología una estrategia de educación ambiental. In *Journal of Chemical Information and Modeling* (Vol. 53, Issue 9).

Alexandre, J., Da Costa, A., Jesús Pérez Luna, E., Giovanni, S., Villafuerte, E., Kichel, A. N., & Reis, F. A. (2017). *SISTEMAS INTEGRADOS DE PRODUCCIÓN AGROPECUARIA-SIPA, TODOS LOS MOTIVOS PARA INICIARLOS*.

Borda, O. F. (1999). Orígenes universales y retos actuales de la IAP. In *Análisis Político* (Issue 38). <https://revistas.unal.edu.co/index.php/anpol/article/view/79283>

Colmenares E., A. M. (2012). Investigación-acción participativa: una metodología integradora del conocimiento y la acción. *Voces y Silencios. Revista Latinoamericana de Educación*, 3(1), 102–115. <https://doi.org/10.18175/vys3.1.2012.07>

Forero, A. (2016). *Contribución al entendimiento de la adaptabilidad y la resiliencia de la economía campesina colombiana*.

Gliessman, S. R., Rosado-May, F. J., Guadarrama-Zugasti, C., Jedlicka, J., Cohn, A., Gliessman, S. R., Rosado-May, F. J., Guadarrama-Zugasti, C., Jedlicka, J., Cohn, A., Mendez, V. E., Cohen, R., Trujillo, L., Bacon, C., & Jaffe, R. (2007). *Agroecología: promoviendo una transición hacia la sostenibilidad Part of the Environmental Studies Commons Recommended Citation*. <http://scholarcommons.scu.edu/ess>

GUTIÉRREZ V, L. A., RUIZ M, L. R., VIVAS-QUILA, N. J., & LONDOÑO-VELEZ, L. A. (2013). Diseño De Un Sistema Integrado De Producción Agropecuaria En El Municipio De Popayán (Cauca) Tt - Design of an Integrated System for Agricultural Production in the Popayán (Cauca) Municipality Tt - Desenho De Um Sistema Integrado De Produção Agropecuári. *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 11(2), 164–172. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1692-35612013000200019&lang=pt%0Ahttp://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11n2/v11n2a19.pdf](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-35612013000200019&lang=pt%0Ahttp://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11n2/v11n2a19.pdf)

Lef, E. (1993). *SUSTENTABLE DE LOS RECURSOS NATURALES*.

Marasas, M., Blandi, M. L., Dubrovsky Berensztein, N., & Fernández, V. (2015). MARCO TEÓRICO TRANSICIÓN AGROECOLÓGICA: CARACTERÍSTICAS, CRITERIOS Y ESTRATEGIAS. DOS CASOS EMBLEMÁTICOS DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES, ARGENTINA. In *Agroecología* (Vol. 10, Issue 1). <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/300731>

Naredo, M. (2007). *Las raíces económicas del deterioro ecológico y social*. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2512713>

Nicholls, C. I., & Altieri, M. A. (2018). Pathways for the amplification of agroecology. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, 42(10), 1170–1193. <https://doi.org/10.1080/21683565.2018.1499578>

Spers, E. E. (2020). Agrárias: Pesquisa e Inovação nas Ciências que Alimentam o Mundo IV. In *Agrárias: Pesquisa e Inovação nas Ciências que Alimentam o Mundo IV*. Editora Artemis. [https://doi.org/10.37572/edart\\_255311220](https://doi.org/10.37572/edart_255311220)

Toledo, / V M, Barrera-Bassols, N., Toledo, V. M., & Barrera-Bassols, N. (2008). *La memoria biocultural : la importancia ecológica de las sabidurías tradicionales* POLITICAL ECOLOGY: STRUGLESS FOR LIFE IN MEXICO View project Ethnopedology View project. <https://www.researchgate.net/publication/31865682>

## CAPÍTULO 19

### 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

Data de submissão: 05/02/2021

Data de aceite: 24/02/2021

#### **Tatiana Aparecida Balem**

Eng. Agrônoma,  
Mestre e Dra. Em Extensão Rural,  
Professora EBTT IFFarroupilha/RS  
Campus Júlio de Castilhos.  
Email: tatiana.balen@iffarroupilha.edu.br  
<http://lattes.cnpq.br/6538418369078880>

#### **Ricardo Lopes Machado**

Médico Veterinário,  
Extensionista Rural  
EMATER/RS E.M. Santa Maria/RS.  
<http://lattes.cnpq.br/1718649717421860>

**RESUMO:** Este ensaio discute o processo de transição de sistemas de produção da família Schimith da Rocha, residente no município de Santa Maria/RS. O objetivo do trabalho é refletir os motivos que levaram a família, com tradição na produção de soja, a abandonar a referida atividade em um cenário atual de “sojificação da sociedade” para se dedicar integralmente a atividade leiteira de base ecológica. O trabalho foi desenvolvido através de observação, entrevista e análise dos dados técnicos, econômicos e produtivos dos sistemas de

produção. Em 2012 a soja ocupava 86% da área produtiva da propriedade e a atividade leiteira apenas 14%. Em 2018, a atividade leiteira ocupava 69% da área produtiva e a soja 31%. A partir de 2019, 100% da área produtiva foi ocupada pela atividade leiteira. De 2016 para 2020 houve um incremento da renda líquida mensal da atividade leiteira de 208%. A família afirma que apesar do leite ser uma atividade com maior demanda de trabalho, o sistema atual possibilita o não uso de agrotóxicos, maior renda e possibilidade da sucessão rural na propriedade, onde os dois filhos jovens visualizam a permanência no meio rural. Os referenciais técnicos de base ecológica utilizados na produção leiteira, ou seja, produção de leite a base de pasto, sob Pastoreio Racional Voisin, foram determinantes para a migração do sistema produtivo soja para o sistema produtivo leite. Os comparativos de renda líquida por unidade de área (ha), na cultura da soja e na atividade leiteira; o maior impacto ambiental causado pela cultura da soja em relação a atividade leiteira, o que reflete também no cotidiano e na qualidade de vida da família agricultora; a real possibilidade da reprodução social no campo possibilitada por sistemas de produção de base ecológica, são questões de fundo do ensaio.

**PALAVRAS-CHAVE:** Atividade Leiteira. Cultura da soja. Produção de base ecológica.

## PASTURE MILK WITH VOISIN RATIONAL GRAZING SYSTEM AS A FORM OF RESISTANCE TO “SOCIETY’S SOJIFICAÇÃO”: THE CASE OF THE SCHIMITH DA ROCHA FAMILY

**ABSTRACT:** This paper discusses the production system transition of Schimith da Rocha family, resident in Santa Maria- RS municipality. The paper aims reflect about reasons family with soybean production tradition, to abandon de soybean culture in actual scenery of “society's sojificação” for to dedicate themselves entirely to ecologically based dairy activity. The paper was development with observation, interview and technical, productive and economics data analyses of the production systems. In 2012 the soybean occupied 86% of productive area and the dairy activity only 14%. In 2018, the dairy activity occupied 69% of area and the soybean, 31%. Since 2019, 100% of the area was occupied with dairy activity. From 2016 to 2020 there was an increase in the monthly net income of dairy activity of 208%. The family says that even though milk is an activity with a higher demand for work, the current system allows the non-use of pesticides, higher income and the possibility of rural succession on the property, where the two sons thinking in their stay in countryside. The technical references about ecological dairy production used, that is, pasture-based milk production, under Voisin Rational Grazing, were decisive for the migration from the soybean production system to the milk production system. Comparisons of net income per unit area, in soybean and dairy activity; the greater environmental impact caused by soybean culture in relation to dairy activity, which also reflects in the daily life and life's quality farming family; the real possibility of social reproduction in the field made possible by ecologically based production systems are fundamental questions of the essay.

**KEY WORDS:** Dairy activity. Soybean culture. Ecology production.

### 1 INTRODUÇÃO

O setor leiteiro mundial pode ser considerado como uma das principais cadeias produtivas, pois são 133 milhões de propriedades, 363 milhões de cabeças com aptidão leiteira, 20% das terras agrícolas do planeta ocupadas e mais de 600 milhões de pessoas que vivem em propriedades leiteiras (FIGUEIREDO, 2019). O leite é o 3º produto agropecuário em produção total e o 1º em valor monetário, fornecendo 5% da energia, 10% da proteína e 9% da gordura consumida em nível global (FIGUEIREDO, 2019). O Brasil é o quarto maior produtor mundial de leite (FAO, 2017) e este produto é o quarto produto nacional com maior valor bruto de produção (CNA, 2020), sendo essencial no suprimento de alimentos e na geração de emprego e renda.

De acordo com Hirakuri e Lazzarotto (2014) a cultura da soja está entre as atividades econômicas que apresentaram os crescimentos mais expressivos nos últimos anos. A consolidação da soja como fonte de proteína vegetal, as características

agronômicas da cultura que possibilitam o seu cultivo em diferentes regiões do mundo, inclusive com diferenças climáticas significativas, o investimento massivo em pesquisa e a geração de tecnologias que viabilizaram a expansão e produção em larga escala da cultura atingido novas fronteiras agrícolas, conferem a essa o *status* de uma das culturas de maior importância econômica do agronegócio brasileiro e mundial (HIRAKURI e LAZZAROTTO, 2014). De acordo com o USDA (2020) a produção mundial de soja gira em torno de 337,298 milhões de toneladas, sendo a estimativa da área plantada de 122,647 milhões de hectares (ha). O Brasil é o maior produtor mundial de soja, seguido dos Estados Unidos e Argentina (USD, 2020). A área plantada com soja no Brasil é de 37 milhões de hectares (USD, 2020), comparativamente com a área cultivada com cereais, leguminosas e oleaginosas, 65,6 milhões de ha, a cultura da soja representa 57,8% da área plantada. Se compararmos com o total de lavouras temporárias e permanentes no Brasil (81,3 milhões de hectares) a cultura da soja ocupa 45,5% da área de lavouras (IBGE/SIDRA, 2020).

De acordo com a Confederação Nacional da Agricultura (CNA, 2020) o *ranking* do Valor Bruto da Produção no Brasil (VBP) em 2020, contabilizado em bilhões de reais (R\$) é o seguinte: soja (R\$ 175,63); carne bovina (R\$ 139,71); milho (R\$ 90,70); leite (R\$ 50,86); cana-de-açúcar (R\$ 47,43); frango (R\$ 43,87), café (R\$ 28,55); algodão (R\$ 20,47). Com esses dados percebemos que o leite e soja são duas importantes cadeias produtivas no entanto, o que observamos no Rio Grande do Sul (RS) é uma diminuição do número de famílias produtoras de leite e as áreas antes ocupadas com leite passam a ser ocupadas por soja (IGL/ EMATER/RS-ASCAR, 2015; EMATER/RS-ASCAR, 2017 e 2019; BALEM ET AL, 2019; MARCON, 2019).

Esse ensaio apresenta uma discussão sobre o processo de sojificação da sociedade e a influência dessa na cadeia produtiva do leite, além disso, mostra um processo de transição de uma família que tinha a cultura da soja como principal atividade e mudou para atividade leiteira, ou seja, o contrário do que tem acontecido com muitas famílias no estado. Dessa forma, apresenta-se as variáveis influenciadoras nessa tomada de decisão da família. Assim o objetivo do trabalho é refletir sobre os motivos que levaram a família, com tradição na produção de soja, a abandonar a referida atividade em um cenário atual de “sojificação da sociedade” para se dedicar integralmente a atividade leiteira de base ecológica.

## 2 METODOLOGIA

A propriedade da família Schimith da Rocha está localizada no município de Santa Maria-RS, BR, em uma região de abrangência do Bioma Pampa. A propriedade possui 84 ha

de área total, sendo 75ha de área útil. O trabalho foi desenvolvido através de observação e análise dos dados técnicos e produtivos dos sistemas de produção, levantados através do acompanhamento técnico da propriedade desde 2012. O registro dos dados econômicos, produtivos e técnicos relativo ao manejo do rebanho e das pastagens se deu a partir de 2016 através da planilha GPL (Gestão da Produção do Leite) da Emater/RS-ASCAR. Da mesma forma, nesse período através de uma planilha contábil, se estabeleceu o fluxo de caixa da cultura da soja, contabilizando-se também a depreciação de máquinas e equipamentos envolvidos no cultivo. O trabalho de extensão rural com a família, desenvolvido pela EMATER/RS, iniciou em 2011. Esse trabalho de extensão rural visa a mudança dos sistemas produtivos de leite convencionais para sistemas de base ecológica, com Pastoreio Racional Voisin (PRV) como tecnologia de fundo.

Além disso, outros instrumentos de coleta de dados foram: a observação, pois um dos autores desse artigo é o extensionista que acompanha a propriedade; e aplicação de uma entrevista. Para Minayo (1997), numa pesquisa científica os tratamentos quantitativos e qualitativos podem se complementar, engrandecendo a análise e as discussões finais. A análise dos dados foi realizada pela análise interpretativa e comparativa, avaliando dados técnicos, econômicos e sociais da atividade leiteira.

### **3 PRODUZIR SOJA OU LEITE NA AGRICULTURA FAMILIAR? UMA DECISÃO INFLUENCIADA PELA “SOJIFICAÇÃO” DA SOCIEDADE**

O avanço e expansão do cultivo da soja, no estado do Rio Grande do Sul (RS), vêm causando uma grande pressão nos ecossistemas e comunidades locais. Resulta em concentração de renda e terra, êxodo rural e uma percepção social e produtiva “quase religiosa”, a que chamamos de “sojificação da sociedade”. O termo “sojificação da sociedade” explica o domínio técnico, econômico, de infraestrutura de apoio à produção (insumos, assistência técnica, serviços, máquinas, crédito agrícola) e de mercados estabelecidos, voltados basicamente para a soja, em regiões inteiras (BALEM e ALVES, 2020). No Brasil, a cultura da soja passou de 949 mil hectares (ha) na safra 1976/1977, para 36,950 milhões de hectares na safra 2019/2020, e o Rio Grande do Sul (RS) é o terceiro maior estado brasileiro produtor do grão, com 5,902 milhões de hectares plantados (CONAB, 2020). De acordo com Feix e Leusin Jr. (2019), no RS há 365.052 estabelecimentos agropecuários ocupando uma área de 21,7 milhões de hectares. Essa área ocupada pelos estabelecimentos está distribuída: 42,2% ocupadas por pastagens, 36,2% por lavouras e 21,5% distribuídos nas categorias matas e florestas e outros usos. Feix e Leusin Jr. (2019) ainda apresentam que os dados dos últimos censos revelam um



crescimento da área ocupada por lavouras em dois pontos percentuais, enquanto houve uma queda da área ocupada por pastagens em 3,3 pontos percentuais. Como a área dos estabelecimentos ocupada por matas e florestas aumentou, a lavoura está ocupando progressivamente áreas antes ocupadas por pastagens (FEIX e LEUSIN Jr., 2019).

Comparando a área total ocupada por lavouras, ou seja, 7,855 milhões de ha, e a área ocupada pela cultura da soja, 5,902 milhões de ha, percebe-se que essa cultura ocupa 75,14% da produção vegetal do estado. As lavouras temporárias e permanentes ocupam em torno de 9 milhões de hectares, sendo que de 95% dessa área são voltados à produção de grãos. Além disso, a cultura da soja responde a 52% das exportações referentes ao agronegócio do estado do RS. Outros produtos de significativa importância na exportação do agronegócio do estado são fumo e subprodutos (13%), carnes e produtos (10%), produtos florestais (9%), cereias e farinhas (4%), couro e peleteria (3%), máquinas e equipamentos agrícolas (2,5%) e demais produtos (6,5%) (FEIX e LEUSIN Jr., 2019).

Nesse cenário onde o ideário do agronegócio impera, agravado pela hegemonia de uma única cultura, a soja passa ser a cultura sinônimo de “sucesso” para a sociedade e, principalmente para os agricultores. Claramente ocorre um processo de reificação da cultura agrícola. Para Berger e Luckmann (2004) a reificação “é a apresentação dos fenômenos humanos como se fossem coisas, isto é, em termos não humanos ou possivelmente super-humanos”. No caso da cultura da soja, estamos transpondo o conceito de Berger e Luckman para a compreensão social da agricultura, ou seja, as famílias agricultoras acabam sendo bombardeadas com as informações referente à cultura da soja, hoje a maior cultura cultivada em todo o Brasil, dessa forma o assunto cotidiano relativo a culturas agrícolas permeia à soja. Aliado a isso, toda a organização de apoio produtivo à jusante da produção está relacionado a esse ideário, constrói-se assim uma cultura coletiva reificada de que a agricultura que “dá certo” e é lucrativa é a a monocultura da soja.

Outro elemento fundamental desse processo é a tendência geral da sociedade de desvalorizar qualquer iniciativa de agricultura fora do modelo do monocultivo da soja. Para Berger e Luckmann (2004) o mundo da vida cotidiana é estruturado através de rotinas e ideias reproduzidas regularmente e repetidamente à lógica de vida que as pessoas estão vivendo, assim, as pessoas constroem as ideias e acostuma-se a elas, logo em um cenário “sojificado”, “sojifica-se” a sociedade. Nessa última afirmação reside a explicação da percepção “quase religiosa”, pois parâmetros técnicos, produtivos e de mercados são completamente ignorados, quando se trata de outras culturas agrícolas ou outras formas

produtivas. O conhecimento científico e técnico acaba tomando ares de conhecimento religioso. Percebe-se um “endeusamento” da cultura da soja, há uma defesa irrestrita desta como única cultura agrícola viável, que ignora os feitos ambientais e econômicos na agricultura familiar, por exemplo. E a ênfase de instituições na esfera da administração pública, de ensino, de extensão e de pesquisa, direcionando o conhecimento técnico para a cultura da soja, leva os *experts* da soja a exercer uma “certa autoridade” sobre os outros profissionais. Nesse cenário, constrói-se uma realidade tipificada. Para Berger e Luckmann (2004) se um ator social não tem conhecimento suficiente para interpretar a realidade, lança mão de uma tipificação para poder descrevê-la e compreendê-la, a partir do seu mundo, das informações que recebe e seu conhecimento. Sair dessa visão de senso comum para uma visão mais filosófica ou científica da realidade exige um esforço deliberado e difícil, pois tudo o que se refere ao não rotineiro, que me é conhecível e não problemático, tende a ser rejeitado (BERGER e LUCKMANN, 2004).

Essa postura dialoga com o apontado por Khun (2011), ou seja, a defesa irrestrita do paradigma dominante da ciência, o que aproxima a discussão científica com o saber tradicional e religioso, que se pauta pela autoridade. De acordo com Kuhn (2011), depois que um paradigma científico está totalmente estabelecido, há uma tentativa de forçar a natureza a encaixar-se dentro dos limites preestabelecidos e relativamente inflexíveis do paradigma. Segundo o autor, a comunidade científica, ao adquirir um paradigma, adquire igualmente um critério para a escolha de problemas que, enquanto o paradigma for aceito, podem ser considerados como dotados de uma solução possível. Em larga medida, esses são os únicos problemas que a comunidade admitirá ou encorajará seus membros a resolver, os outros passam a ser rejeitados como sendo metafísicos, ou como sendo de outra disciplina. Isso gera um efeito cascata e leva a “eleição” da cultura da soja como única viável, inclusive em pequenas áreas de produção. Balem e Silveira (2015) e Balem et al (2019) observam ao estudar assentamentos de reforma agrária de Júlio de Castilhos-RS um progressivo abandono das culturas diversificadas e uma expansão da lavoura de soja nessas áreas, produzindo uma erosão da cultura alimentar e modificando drasticamente os agroecossistemas.

O Bioma Pampa, presente unicamente no estado do RS, no Brasil, é um bioma único e com um potencial extraordinário para produção de carne e leite de forma sustentável, pois a condição ambiental é o potencial para a produção agrícola, diferentemente dos outros biomas onde a atividade agrícola faz supressão das características ecossistêmicas. Este bioma está sendo desfigurado pelo cultivo da soja. Por outro lado, os sistemas de produção animal convencionais, por estarem atrelados à modernização da agricultura,

tem apresentado elevado custo de produção por hectare (ha), o que leva a muitos pecuaristas familiares a arrendarem suas terras para o cultivo de soja.

No Rio Grande do Sul, segundo a EMATER/RS-ASCAR (2019), a produção de leite está presente 152.489 propriedades rurais presentes em 494 dos 497 municípios do estado, sendo estas distribuídas em três categorias: Produtores com atividade econômica formal, produtores com atividade econômica informal e produtores sem atividade econômica. Os produtores com atividade econômica formal são aqueles que comercializam leite cru para indústrias, cooperativas ou queijarias e os que processam leite em agroindústria própria legalizada. Esses totalizam 50.664 produtores em um percentual de 33,22%. Dos agricultores que comercializam o leite no RS, 97,5% são agricultores familiares, de acordo com a Lei 11.326, de 24 de julho de 2006, sendo que a área média das propriedades produtoras de leite no RS foi estimada em 18,3 hectares (EMATER/RS-ASCAR, 2019).

Se observarmos os dados do “Levantamento Socioeconômico da Cadeia Produtiva do Leite no Rio Grande do Sul” ocorridos nos anos de 2015, 2017 e 2019, é possível observar profundas mudanças nessa atividade e exclusão de milhares de famílias (IGL e EMATER/RS-ASCAR, 2015; EMATER/RS-ASCAR, 2017; EMATER/RS-ASCAR, 2019). Houve uma diminuição no número total de famílias produtores de leite comercial formal de 33.535, ou seja, 39,8% abandonaram a atividade. Se somarmos as famílias com produção formal às com produção informal que abandonaram a atividade perceberemos são 34.647 famílias que deixaram de produzir leite para comercialização de um total de 96.334 famílias. O que representou um abandono da atividade comercial de 35,96% dos produtores de leite. Por outro lado, observa-se no período de 2015 a 2019 um aumento no número de animais por produtores, na produção média por animal e na produção média por propriedades produtoras, o que indica um aumento da especialização na atividade. No entanto, essa especialização que aumentou a produção das propriedades que permaneceram na atividade não foi suficiente para manter a produção do ano de 2015, houve uma diminuição na produção anual do estado em 271 milhões de litros.

Dentro da visão da agricultura convencional, os sistemas agrícolas são subsidiados por energia fóssil, nutrientes de síntese industrial e agroquímicos, o que não implica em sua sustentabilidade ecológica e econômica (CANAVER et al, 2006; ALTIERI, 2012). Prova disso é a realidade dos agricultores que enfrentam um quadro geral, nas últimas décadas, de aumento progressivo dos custos dos insumos e equipamentos, com tendência à estabilização e até à redução dos preços dos produtos primários pagos ao produtor (CANAVER et al, 2006). No caso da cadeia produtiva do leite, de acordo com Breitenbach e Souza (2010), as transformações pelas quais passa o setor brasileiro tem passado, do

ponto de vista estrutural e institucional, ocorrem em mercado de concorrência imperfeita, o que ocasiona margens de lucro cada vez menores, principalmente para os agricultores.

No RS, 94,5% das famílias que vendem leite para a indústria ou industrializam, possuem sistemas de produção de leite à base de pasto (EMATER/RS-ASCAR, 2019). Os sistemas à base de pasto são hegemonicamente desenvolvidos com culturas anuais de verão e de inverno, com expressivos vazios forrageiros na transição dessas culturas, o que demanda a suplementação com silagem, normalmente de milho, de alto custo de produção e consequentemente um fator de exclusão das famílias da atividade.

Um dos contextos discutidos pela literatura sobre a exclusão dos agricultores familiares de pequena escala da atividade leiteira são os sistemas de produção praticados, ou seja, aqueles de alto custo demonstram mais incerteza e maior risco. Além disso esses autores discutem que é possível propor níveis tecnológicos para a produção de leite mais adaptados à realidade das pequenas áreas, com menor custo e melhoras nas condições de trabalho (CANAVAR et al, 2006; BERTON e RICHTER, 2011; MACHADO, 2013; LIMA, 2017; MACHADO, BALEM, SANTINI, 2018; BALEM e MACHADO, 2019; BALEM et al, 2019; BIASI e ALESSIO, 2020).

Um fator a ser considerado, nesse processo de exclusão das famílias de pequena escala, é a mudança da relação comercial das empresas e cooperativas industrializadoras de leite com as famílias produtoras, pois essas foram gradativamente aumentando a escala mínima de coleta diária. Balem et al (2019) demonstram em estudo realizado em um assentamento de reforma agrária de Júlio de Castilhos-RS que de 2011 a 2019, houve a exclusão de 56% das famílias. E foram as famílias de menor escala e menos capitalizadas que abandonaram a atividade devido as exigências de volume, qualidade, alto custo de produção e oscilações de preço. Outra questão importante apontada nesse estudo é que as famílias que abandonaram a atividade leiteira migraram para a produção de soja, o que tem mudado drasticamente a paisagem do assentamento (BALEM et al., 2019).

Nesse contexto de aumento do custo de produção, exigências legais e técnicas da atividade leiteira, e de sojificação da sociedade, a atividade leiteira antes vista como uma alternativa geradora de renda para a agricultura familiar passa a sofrer a concorrência com o cultivo da soja. No entanto o que procuramos ressaltar nesse artigo, que além do processo de sojificação da sociedade que exerce uma forte pressão na atividade leiteira, os sistemas de produção praticados, com alta demanda de trabalho e baixa rentabilidade líquida, favorecem a mudança dos sistemas produtivos de leite para soja.

### 3.1 O CÂMBIO DO SISTEMA DE PRODUÇÃO DA SOJA PARA O LEITE: NA CONTRAMÃO DA SOJIFICAÇÃO

A família Schimith da Rocha começou com a atividade leiteira em 1997, logo após ser constituída, em função da necessidade de diversificação de renda. Hoje fazem parte da família o casal e dois filhos de 21 anos. A atividade leiteira ocupava uma pequena parte dos 75 ha de área útil da propriedade, onde predominava a cultura da soja. Por muito tempo adotaram um sistema convencional de produção de leite, baseado em pastagens anuais e complementação com silagem de milho. Esse sistema, além de apresentar alto custo de produção, incidia em acentuada penosidade do trabalho, principalmente o trabalho de retirada da silagem dos silos.

Na primeira visita do extensionista à família, esta estava desanimada com a atividade leiteira, havia vendido os melhores animais do rebanho e tinha intenção de abandonar a atividade. A família afirmava que o leite deixava pouca renda e demandava bastante trabalho, entendiam que se dedicar integralmente à cultura da soja seria o mais adequado. Ao se defrontar com a proposta de extensão rural diferenciada, que tinha por objetivo a implantação do PRV e a construção e apropriação de conhecimentos por parte dos agricultores, a família ficou desconfiada, pois estava acostumada à presença de técnicos na propriedade buscando unicamente vender insumos. Mesmo assim, passou a participar dos encontros do grupo de produtores de leite do município, para trocar experiências e refletir sobre a possibilidade de desenvolver outro sistema de produção. Tomar conhecimento dos resultados em outras propriedades foi determinante para a família acreditar na proposta extensionista.

A execução do projeto de PRV começou em 2012, inicialmente em 12,9 ha, onde foram implantadas pastagens perenes (Tifton e Aruana) e manejada uma área já existente de campo nativo. Em 2013, a família, através do programa RS Biodiversidade (uma política pública a fundo perdido do governo do estado do RS), implantou espécies arbóreas na linha da cerca elétrica para proporcionar sombra aos animais e água encanada nos piquetes, estratégias que visam o bem estar animal e otimização produtiva. Nesse mesmo ano, a família investiu em uma sala de ordenha nova com ordenha canalizada, o que melhorou muito a condição de trabalho. Nesse ano também foi abolida a silagem e a alimentação passou a se basear somente no pastejo rotacionado, com suplementação de alimento concentrado no cocho, simplificando o sistema. Essa mudança impactou positivamente em um dos principais problemas apontados pela família, a alta demanda de trabalho.

A proposta de extensão rural também engloba o acompanhamento da gestão da propriedade como um todo, pois é necessário para a família visualizar os custos e rendimentos da produção, e a interação entre as diferentes atividades produtivas. Em 2016,

observando os dados econômicos das duas atividades, leite e soja, a família percebeu que a atividade leiteira, com a implantação do sistema de base ecológica baseado em PRV era mais rentável que a atividade de grãos. Assim, decidiram continuar a diminuir a área destinada ao cultivo da soja e dedicar-se prioritariamente ao leite, perenizando mais 20 ha com pastagens e restando apenas 23 ha de soja. Em 2017 foi o último em que a família plantou soja. Em 2018, venderam a máquina colheitadeira que em outros tempos foi objeto de desejo e arrendaram os 23 ha restantes para cultivo de soja por terceiros. O ano de 2018 foi o último com plantio de soja na propriedade, pois a família decidiu não arrendar mais a área de 23 ha destinada para esse plantio e transformar toda a área produtiva em pastagens para os animais.

As mudanças dos índices produtivos observadas de 2012 para 2020 são as seguintes: a- de 10 para 18,2 litros/animal/dia; b- de 20 para 66 vacas em lactação; c- de 200 para 1.160 litros diários. Porém, mais importante que os índices produtivos são os índices econômicos, ou seja, custos de produção e melhoria de renda líquida por área trabalhada. Consideramos que um indicador de referência deve ser a aferição de quanto de renda real líquida deixa a atividade por cada ha trabalhado. No custo de produção estão computados os custos variáveis e custos de investimentos em estrutura, máquinas e implementos. A renda gerada por ha na atividade leiteira serve de parâmetro para as famílias agricultoras comparar com outras atividades praticadas na região, principalmente a cultura da soja, pelo o que já foi exposto aqui. Como a base do sistema é o PRV e a alimentação basicamente é a pastagem, trabalhamos com o índice norteador de renda líquida por ha e não meramente produtividade por animal ou área, como é utilizado nos sistemas convencionais de produção de leite. O quadro 01 demonstra a evolução de alguns dos índices produtivos e econômicos da propriedade.

Quadro 1 – Evolução dos índices produtivos e econômicos da atividade leiteira, e econômicos da produção de soja, de 2016 a 2018.

| Ano  | Produção total leite litros vendidos/ano | Produção total leite litros/mês | Renda mensal líquida (R\$) <sup>1</sup> (Soja e leite) | Valor Médio recebido/Litro de leite <sup>1</sup> | Custo de produção Total (%) Leite | Renda líquida/ha/ano Leite (R\$) <sup>1</sup> | Renda líquida/ha/ano/ Soja (R\$) <sup>1</sup> |
|------|--|---------------------------------|--|--|-----------------------------------|---|---|
| 2016 | 168.222                                  | 14.018                          | 17.072,00  | 1,67   | 27%                               | 3.880,00                                      | 865,00  |
| 2017 | 266.897                                  | 22.241                          | 21.898,00  | 1,64   | 40%                               | 4.975,00                                      | 1.767,00                                      |
| 2018 | 359.214                                  | 29.935                          | 11.859,00  | 1,72   | 77%                               | 2.145,00 <sup>2</sup>                         | 1.031,00                                      |
| 2019 | 382.730                                  | 31.894                          | 12.724,00  | 1,70   | 78%                               | 2.036,00 <sup>2</sup>                         | -   |
| 2020 | 417.706                                  | 34.809                          | 35.576,00  | 1,82   | 50%                               | 4.796,00                                      | -   |

<sup>1</sup>Correção dos preços realizada pelo IGP-DI até fevereiro de 2021.

<sup>2</sup>Alto investimento em estrutura e equipamentos nos anos de 2018 e 2019 = R\$136 mil e R\$150 mil respectivamente.

Avaliando o quadro acima, fica claro, a melhor rentabilidade por área da atividade leiteira frente ao cultivo da soja, seja plantando ou arrendando a área para terceiros. Além disso é possível observar o aumento da renda líquida por ha da atividade leiteira. Em 2016 o custo de produção foi o mais baixo porque tinha tinha uma área de 51 ha de pastaem implanta e piqueteada e somente 32 animais em lactação, ou seja, alimento em abundância. Além disso os maiores investimentos na melhoria da infra-estrutura produtiva foram realizadas em 2017 e 2018. Essa informação é importante pois hegemonicamente a atividade leiteira é desenvolvida pela agricultura familiar em pequenas propriedades e por isso a rentabilidade por área deve ser alta para permitir a reprodução social das famílias e ter capacidade de competir com a cultura a soja. Pois, além da rentabilidade, devemos considerar que a atividade leiteira é altamente demandante de mão de obra, se a rentabilidade da mesma for similar a soja, o que acontece em sistemas convencionais de leite, é vantajoso o arrendamento da área para essa cultura. Outro dado importante a ser analisado no quadro 01 é a renda líquida mensal obtida pela família em 2020, no contexto da agricultura familiar é muito significativa.

A gestão econômica da família em questão, bem como de outras famílias do município que participam do mesmo processo de assistência técnica e extensão rural, tem indicado que valores entre R\$ 4.000,00 e R\$5.000,00 de renda líquida por cada ha trabalhado ao ano nos dias atuais, são plenamente possíveis com atividade leiteira de base ecológica. Considerando que Santa Maria/RS tem limitação de fertilidade natural dos solos, regiões com uma melhor condição nesse aspecto podem ampliar esse indicador. A família não alcançou esse índice nos anos 2018 e 2019, pois com recursos próprios fez uma série de investimentos em estrutura e aquisição de máquinas para a propriedade como os que seguem: Ampliação da sala de ordenha, calçamento de concreto na área de espera das vacas, canalização com canos de pvc de água para todos os piquetes do projeto de PRV, ampliação do piqueteamento para toda a área, compra de quadriciclo para manejo dos animais, compra de trator novo, compra de roçadeira dupla, entre outros. Também por iniciativa dos filhos quitaram as dívidas de PRONAF pendentes. Assim a partir de 2020, apesar da estiagem no início do ano, a rentabilidade voltou ao patamar pretendido, a família arrendou no inverno áreas vizinhas de restevas de soja, perfazendo na média do ano, uma ocupação de 89ha, e chegando à significativa média de renda mensal líquida de R\$ 35.576,00, que permite com tranquilidade a reprodução social da família. O planejamento e a perspectiva é de ampliação desses valores para 2021 e próximos anos, pois restam poucos investimentos para serem feitos, o custo de produção está estável em função do sistema produtivo adotado, e a meta é a ampliação para 80 vacas em lactação. Esse trabalho também deixa claro, que uma pecuária sustentável pode ser desenvolvida em

uma significativa escala, gerando em grande volume de alimento de alto valor biológico. Para Primavesi (2003) um alimento produzido com deficiência mineral, o que geralmente acontece nos cultivos convencionais são lamentos e baixo valor biológico, ou seja, vão resultar deficientes também. Ao contrário, um alimento produzido em sistema orgânico e com adubação equilibrada terá menor probabilidade de ser deficiente nutricionalmente, logo será um alimento de alto valor biológico.

O problema sentido pelo grande uso de agrotóxicos na lavoura de soja somado à excelente renda líquida do atual sistema de produção de leite estimulou a família a fazer a transição da lavoura de grãos para a pecuária de base ecológica. Em 2012 a soja ocupava 86% da área produtiva e a atividade leiteira apenas 14%. Na safra 2017/2018, a atividade leiteira ocupou 69% da área produtiva e a soja 31%, no entanto, a partir de maio de 2018 a área foi destinada exclusivamente à atividade leiteira. Os referenciais técnicos de base ecológica utilizados na produção leiteira, ou seja, produção de leite a base de pasto, sob Pastoreio Racional Voisin, foram determinantes para a mudança nos sistemas produtivos.

Os comparativos de renda líquida por ha, na cultura da soja e na atividade leiteira; o maior impacto ambiental causado pela cultura da soja em relação a atividade leiteira, refletidos no cotidiano e na qualidade de vida da família; e a reprodução social, viabilizada por sistemas produtivos de base ecológica, são questões de fundo desse processo de transição produtiva da família, o que vai na contramão do processo observado na região, ou seja, abandono da atividade leiteira e produção de soja nas áreas antes ocupadas com pastagens.

A família afirma que apesar da atividade leiteira ser uma atividade com maior demanda de trabalho, quando comparada a cultura da soja, com o sistema de produção de base ecológica implantado, a atividade pode ser desenvolvida sem o uso de agrotóxicos. Para os pais esse foi um fator importante, pois afirmaram que não se sentiam bem em ter que envolver os filhos no manejo e uso intensivo de agrotóxicos que são demandados pela lavoura. Também relatam que a atividade leiteira traz mais segurança, e agora “dormem tranquilos”. A lavoura é profundamente impactada em situações de riscos climáticos. No entanto a pecuária ecológica é mais resiliente a esses transtornos. A resiliência ecológica foi alcançada: com a mudança no microclima, proporcionado pela arborização do sistema e melhoria significativa da estrutura do solo. Essa última oportunizada pela adubação orgânica, pela adubação verde, pois são feitas roçadas após a saída dos animais piquetes, e a distribuição do esterco e da urina das vacas de forma uniforme na área. Para Primavesi (2016), a vida no solo garante a estrutura do mesmo, a aeração e o armazenamento de água, assim como o fornecimento adequado e equilibrado de nutrientes às plantas (Primavesi, 2016). Assim o retorno da matéria orgânica ao solo é necessário para manter a vida no



solo e não ter um solo decadente, pois assim teremos pastagem decadente e animais mal nutridos (Primavesi, 2016). O retorno da matéria orgânica ao solo se dá pelas roçadas e distribuição do esterco dos animais nos piquetes.

Outro fator positivo é que a alta rentabilidade do sistema possibilitou a sucessão familiar rural na propriedade, já que os dois filhos jovens visualizam a permanência no meio rural, trabalhando na propriedade. Hoje a rotina diária e trabalho na propriedade é dividida equitativamente e a renda gerada é administrada de forma conjunta pela família. A família tem feito investimentos visando o bem estar e a qualidade de vida dos integrantes, dessa forma infraestruturas relacionadas ao lazer foram construídas e/ou melhoradas, houve investimento em carros utilitários e também em infra-estrutura produtiva, visando facilitar o manejo dos animais e diminuir a mão de obra, em termos de horas trabalhadas e penosidade do trabalho.

Quando questionados sobre as principais dificuldades encontradas a família relata que o assédio dos técnicos da empresa compradora do produto (leite), que tinha como principal objetivo a venda de insumos, tais como sementes de forrageiras anuais, agrotóxicos e fertilizantes químicos é algo que incomoda muito. A família afirma que os técnicos afirmam não acreditar nos resultados econômicos e na viabilidade da produção somente com pastagens. Como principal argumento esses técnicos buscavam desconstruir a proposta tecnológica do PRV, baseado em pastagens perenes, argumentando que as pastagens anuais e a suplementação com silagem seria mais viável e mais rentável para a família.

Essa tentativa dos técnicos que visam vender insumos para as famílias demonstra o paradigma científico dominante atual da agricultura, ou seja, o paradigma da modernização da agricultura e o acordo institucional estabelecido entre a empresa compradora e os (as) agricultores (as). Nesse acordo, a empresa compra o leite e comercializa para as famílias insumos “necessários” para a atividade leiteira. No entanto, na produção de leite de base ecológica esses insumos não são necessários, o que rompe com o paradigma científico dominante e põe a prova o discurso legitimador dos técnicos, o que explica a nomeação da tentativa de intervenção técnica como “assédio” por parte da família. A legitimação, de acordo com Berger Luckmann (2004, p. 127), tem como função “tornar objetivamente acessível e subjetivamente plausível as objetivações de “primeira ordem”, que foram institucionalizadas”. Logo, se a empresa compradora de leite tem como norma institucional comercializar insumos para as famílias e os técnicos tem como paradigma de formação uma agricultura com base em significativas entradas de insumos químicos, esse modelo de agricultura praticado pela família é contraditório a ordem institucional estabelecida.

## 3.2 O SISTEMA DE PRODUÇÃO DE BASE ECOLÓGICA.

Segundo Balem e Machado (2019) o sistema de produção agroecológico de leite é composto pelas ferramentas presentes nas categorias: Pastoreio Racional Voisin; manejo de agroecossistemas; manejo ecológico de solos; bem-estar animal, homeopatia e fitoterapia; relação ser humanonatureza; e reprodução social. Do ponto de vista tecnológico do processo em questão o PRV compõe o pano de fundo desse sistema, sendo complementado com o manejo do agroecossistema e do solo, assim como as ferramentas e princípios que garantem o bem-estar animal. No entanto, os agricultores são o centro da proposta, assim a relação ser-humano-natureza e a reprodução social discutem a importância da apropriação e construção do conhecimento pelos agricultores e a viabilização econômica e social das famílias. Esse conhecimento apropriado garante a independência e empoderamento dos agricultores, inclusive para rejeitar o “assédio” dos técnicos-vendedores de insumos que tendam por em dúvida a todo momento o sistema.

Com o sistema de base ecológica o custo de produção tende a diminuir, isso se deve a quatro aspectos principais: 1- com o PRV a pastagem deixa na área uma quantidade significativa de matéria seca, pois quando sobra pastagem utiliza-se a roçada para favorecer um rebrote homogêneo e uma pastagem de maior valor forrageiro, o resíduo das roçadas funciona como adubação orgânica, de menor custo e mais sustentável; 2- os animais ficam em média um dia nos piquetes, o esterco e a urina voltam distribuídos para a pastagem na forma de adubação, além disso, os agricultores diminuem a suplementação externa de adubação química e em alguns casos substituem completamente ao longo dos anos por adubação orgânica; 3- a rotação dos animais nos piquetes diminui sensivelmente os problemas de enfermidades e infestações parasitárias no rebanho, mas havendo incidência os agricultores utilizam como terapêutica a homeopatia, mais eficiente e também de menor custo que a terapêutica alopática; 4- o sistema proporciona um aumento significativo de produtividade por ha e o custo de produção tende a ficar estável. Os principais insumos deste sistema são o esterco, a urina do rebanho e a energia solar, que viabiliza a fotossíntese e produz biomassa. Quando atingir um equilíbrio do sistema, não será mais necessário o aporte externo de adubação (MACHADO, 2013; BALEM e MACHADO, 2019; PRIMAVESI, 2019).

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo de sojificação da sociedade induz a troca de sistemas produtivos antes praticados pela cultura da soja. Esse processo de câmbio de sistemas produtivos não é baseado apenas em critérios técnicos e econômicos, mas também em processos sociais de reificação da cultura da soja, como a única via possível.

O paradigma tecnológico da modernização da agricultura e a importância econômica da soja, como um dos principais produtos brasileiros de exportação, produz um discurso tipificado entre as estruturas técnicas e científicas, que reforçam o processo de reificação.

A família Schimith da Rocha fez uma troca de sistemas de produção na contramão do processo de sojificação da sociedade e trocou a cultura da soja pela produção e leite de base ecológica. Em 2012 a soja ocupava 86% da área produtiva da propriedade e a atividade leiteira apenas 14%. Em 2018, a atividade leiteira ocupava 69% da área produtiva e a soja 31%. A partir de 2019, 100% da área produtiva foi ocupada pela atividade leiteira. A família afirma que, apesar do leite ser uma atividade com maior demanda de trabalho, o sistema atual possibilita o não uso de agrotóxicos, maior renda e possibilidade da sucessão rural na propriedade, onde os dois filhos jovens visualizam a permanência no meio rural. Os referenciais técnicos de base ecológica utilizados na produção leiteira, ou seja, produção de leite a base de pasto, sob Pastoreio Racional Voisin, foram determinantes para a migração do sistema produtivo soja para o sistema produtivo leite. Os comparativos de renda líquida por unidade de área (ha), na cultura da soja e na atividade leiteira; o maior impacto ambiental causado pela cultura da soja em relação a atividade leiteira, o que reflete também no cotidiano e na qualidade de vida da família agricultora; a real possibilidade da reprodução social no campo possibilitada por sistemas de produção de base ecológica, são questões de fundo do ensaio.

## BIBLIOGRAFIA CITADA

ALTIERI, M.. **Agroecologia: Bases científicas para uma agricultura sustentável**. 3.ed.rev.ampl. São Paulo: Expressão Popular; Rio de Janeiro: AS-PTA, 2012.

BALEM, T. A.; ALVES, E. de O. A persistência das feiras de agricultores familiares em um cenário de “sojificação da sociedade”: elementos da realidade de Júlio de Castilhos e Tupanciretã/RS. **Economia e Desenvolvimento**, Santa Maria, v.32, ed. esp., e2, p. 01 - 12, 2020.

BALEM, T. A.; MANFIO, T. S.; AMARANTE, R. T.; AMARANTE, R. T.. Os desafios e os problemas enfrentados na produção leiteira no assentamento Santa Júlia, Júlio de Castilhos, RS. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 57, 2019, Ilhéus- BA. **Anais...** Brasília: SOBER, 2019.

BALEM, T. A.; SILVEIRA, P. R. C. da. Erosão da cultura alimentar e os desafios para a segurança alimentar. In: GUIMARÃES, G. M. et al. **O rural contemporâneo em debate: temas emergentes e novas institucionalidades**. Ijuí: Ed. Unijuí, 2015. p. 187- 210 - (Coleção ciências agrárias).

BERGER, P. ; LUCKMANN, T. **A construção social da realidade: tratado de sociedade do conhecimento**. FERNANDES, F. de. S. (Trad.). – 24. Ed.- Petrópolis: Editora Vozes, 2004.

BERTON, C.T; RICHTER, E.M. **Referências Agroecológicas:** Pastoreio Racional Voisin (PRV): Curitiba: Governo do Estado do Paraná; Centro Paranaense de Referência em Agroecologia – CPRA: 2011. Disponível em: <<http://www.cpra.pr.gov.br/arquivos/File/CartilhaPRV.pdf>>. Acesso em: 04 de abril de 2020.

BIASI, C.; ALESSIO, F, J. **Produção de leite a base de pasto utilizando manejo rotativo de pastagens.** Plataforma de boas práticas para o desenvolvimento sustentável, 2020. Disponível em: <<http://www.boaspraticas.org.br/index.php/pt/areas-tematicas/agricultura/730-leiteepagri>>. Acessado em: 24 de março de 2020.

BREITENBACH, R.; SOUZA, R. S. Estruturas de mercado de fatores e governança na cadeia produtiva do leite: um estudo de caso do município de Ajuricaba-RS. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL (SOBER), 46, 2008, Rio Branco - AC. **Anais...**Brasília: SOBER, 2008.

CANAVER, B, S. et al. Produção agroecológica de leite em Pastoreio Racional Voisin em municípios do oeste catarinense. **Revista eletrônica de extensão.** v. 3, n. 4. p.1-8, 2006. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/extensio/article/view/5588/5075>. Acessado em: 24 de março de 2020.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (CONAB). Acompanhamento safra brasileira de grãos, v. 7 - Safra 2019/20 – Brasília: CONAB: 2020. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>> Acesso em: 01 de fev. 2021.

CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL (CNA). Panorama do Agro. CNA, 2020. Disponível em: <<https://www.cnabrazil.org.br/cna/panorama-do-agro>>. Disponível em: 03 de fev. 2021.

EMATER/RS-ASCAR. **Relatório socioeconômico da cadeia produtiva do leite no Rio Grande do Sul:** 2019. -Elaboração: Jaime Eduardo Ries – Porto Alegre RS: Emater/RS-Ascar, 2019.

EMATER/RS-ASCAR. **Relatório socioeconômico da cadeia produtiva do leite no Rio Grande do Sul.** -Elaboração: Jaime Eduardo Ries – Porto Alegre RS: Emater/RS-Ascar, 2017.

FEIX, R. D.; LEUSIN JÚNIOR, S. Painel do agronegócio no Rio Grande do Sul – 2019. Porto Alegre: SEPLAG, DEPARTAMENTO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA, 2019. Disponível em: <<https://estado.rs.gov.br/upload/arquivos/painel-do-agronegocio-no-rs-2019.pdf>>. Acesso em: 01 de fev. 2021.

FIGUEIREDO, A. Desafios da Cadeia Produtiva do Leite. Animal business, 2019. Disponível em: <https://animalbusiness.com.br/negocios-e-mercado/cenario-agro/resumo-de-duas-importantes-publicacoes-sobre-a-cadeia-produtiva-do-leite/>. Acesso em: 03 de abril de 2020

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Food and agriculture data. FAO, 2017. Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/>. Acesso em: 05 de outubro, 2018.

HIRAKURI, M. H.; LAZZAROTTO, J. J. O agronegócio da soja nos contextos mundial e brasileiro. Londrina: Embrapa Soja, 2014. 70p.: il. – (Documentos / Embrapa Soja, ISSN 2176-2937; n. 349)

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE)/SISTEMA IBGE DE RECUPERAÇÃO AUTOMÁTICA (SIDRA). Levantamento Sistemático da Produção Agrícola. Tabela 1618 - Área plantada, área colhida e produção, por ano da safra e produto das lavouras. Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1618>>. Acesso em: : 02 de fev. 2021.

INSTITUTO GAÚCHO DO LEITE (IGL), EMATER/RS-ASCAR. **Relatório socioeconômico da cadeia produtiva do leite no Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: Emater-RS, 2015.

KUHN, T. S. **A Estrutura das Revoluções Científicas.** São Paulo: Perspectiva, 2011.

LIMA, J. A. de. **Análise comparativa da sustentabilidade das tecnologias de produção leiteira na agricultura familiar - manejo do Pastoreio Racional Voisin e Balde Cheio:** um estudo no território da Cantuquiriguaçu/PR. 2017.129 f. Dissertação (Mestrado em Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável) Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS, Laranjeiras do Sul, 2017.

MAPA (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO). Valor bruto da produção agropecuária. 2018. Disponível: <<http://www.agricultura.gov.br/noticias/valor-bruto-da-producao-estimado-para-2018-e-de-r-515-9-bilhoes>>. Acesso em 05 de out. 2018.

MARCON, G. **Transformações socioprodutivas na cadeia do leite: a produção de base ecológica e a informalidade como estratégias da agricultura familiar em Santa Maria/RS.** 2013. 146 p. Dissertação (Mestrado em Extensão Rural) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2019.

MINAYO, M. C. de S. **Pesquisa social: teoria, método e criatividade.** 7. ed. Petrópolis: Vozes, 1997.

MACHADO, Luiz Carlos Pinheiro. **Pastoreio Racional Voisin:** Tecnologia agroecológica para o terceiro milênio. - 3.ed.- São Paulo: Expressão Popular, 2013. 376p.

MACHADO, R. L.; BALEM, T. A.; SANTINI, B.. Pastoreio Racional Voisin como pano de fundo para a produção agroecológica de leite e a viabilização da sucessão familiar: O caso da família Santini. In: Encontro Pan-Americano sobre Manejo Agroecológico de Pastagens, 2., 2018, RUFINO/SANTA FÉ / ARGENTINA. **Anais...** FLORIANÓPOLIS: ABA, 2018. v. 14.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico de pragas e doenças.** São Paulo: Expressão Popular, 2016.

PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico de pastagens em regiões tropicais e subtropicais.** São Paulo: Expressão Popular, 2019.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). World Agricultural Production. Disponível em: <<https://usda.library.cornell.edu/concern/publications/5q47rn72z?locale=en>>. Acesso em: 02 de fev. 2021.

## CAPÍTULO 20

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

Data de submissão: 02/02/2021

Data de aceite: 24/02/2021

**Luís Pedro Alves Gonçalves**

Camponês, Engenheiro Agrônomo,  
Mestrando em Educação do Campo,  
lpalvesdm@gmail.com  
<http://lattes.cnpq.br/0685954074159742>

**RESUMO:** O presente trabalho apresenta um relato sobre o plantio de milho crioulo da variedade cunha no assentamento Vale da Esperança, localizado no município de Santa Teresa-ES, em área de responsabilidade da família Melo. A ideia surgiu de um projeto da matéria de Grandes Culturas do curso de Agronomia do Instituto Federal do Espírito Santo, *campus* Santa Teresa. Através de rodas de conversas e reuniões, buscou-se incentivar o plantio de sementes crioulas junto à família, à procura de um modelo de agricultura que se oponha à “agricultura moderna”, que manipula e se apropria das riquezas do campo. Em reunião com a família, foi apresentada a ideia, e proposto o plantio do milho cunha, com o objetivo de resgatar parte da agrobiodiversidade no assentamento, além de testar a adaptação da variedade na região, e de fomentar o conhecimento agroecológico local. As

sementes apresentaram boa germinação, a variedade se mostrou resistente a pragas, doenças e ao estresse hídrico e mostrou alto rendimento devido ao formato das espigas e dos grãos. Quanto ao porte das plantas, este foi alto. Além de apresentar alta incidência de caruncho, a variedade necessita ainda de uma seleção para melhor uniformidade genética das sementes. Foram produzidas sementes que irão ser plantadas novamente, além de boa quantidade de grãos que está sendo utilizada na alimentação humana e de animais de pequeno porte.

**PALAVRAS-CHAVE:** Agrobiodiversidade. Plantio. Conhecimento agroecológico. Sementes.

#### 1 INTRODUÇÃO

A história contemporânea tem sido marcada por profundas crises em nossa economia. Atualmente passamos por uma das maiores, cujos reflexos podem ser evidenciados pela perda de diversos direitos, mostrando a incapacidade do sistema atual de gerir o país.

Marx, em seus estudos sobre o capitalismo, afirmou que a base sólida da agricultura capitalista se encontra na indústria moderna e na introdução de máquinas no

campo. O resultado dessa modernização leva a expropriação radical de uma imensa maioria dos habitantes no campo (MARX, 1975: p. 866).

A modernização no campo teve como carro-chefe as exportações agrícolas e chegou ao Brasil com o nome de Revolução Verde, que se constituiu num processo desigual de expansão do capital (MATOS; PESSOA, 2011). Para a exploração capitalista colocada por Marx (que se deu através da “modernização do campo”) obter êxito, o capital apropriou-se da terra e transformou as (os) agricultoras (es) em mercadoria, através da imposição de um modelo de produção.

Viveu-se, de 1970 para cá, uma erosão dos conhecimentos dos agricultores, uma perda da agricultura, definida como o conhecimento de quem trabalha na terra e realiza as práticas agrícolas com base em um saber intergeracional.

Os dados sobre a situação mundial da conservação dos recursos filogenéticos das espécies alimentares indicam um processo acelerado e contínuo de erosão. Trata-se de uma redução da agrobiodiversidade, que, no Brasil, se acentua em decorrência do monocultivo, prejudicando a segurança alimentar do país (FAO, 2018). Os conhecimentos que as comunidades tradicionais construíram em torno da agrobiodiversidade foram subjugados pela racionalidade econômica capitalista imposta.

A manipulação das sementes ligada ao crescimento capitalista gera domínio sobre o camponês, que tem seu alimento dominado por grandes empresas que criam sementes com alta produtividade, que, no entanto, só germinam e produzem se estiverem associadas a insumos produzidos por tais empresas, pois são sensíveis aos fatores bióticos e abióticos.

A relação do camponês com a agricultura é resultado de experiências a partir do contato com o meio natural e de conhecimentos acumulados, repassado para os demais, que se mantêm presentes em todo o processo de produção, fortalecendo a aproximação entre estes e outros membros da comunidade local (ALMEIDA 2003). Dentre essas experiências, podemos citar a seleção e estocagem de sementes crioulas.

As variedades crioulas de milho são materiais de base genética ampla, capazes de suportar os estresses (água, nutrientes, Al+++ , temperatura, pragas, doenças e plantas espontâneas), além de permitir que o agricultor produza sua própria semente (SILVA, 2011).

Segundo Barbosa et al. (2010), por intermédio das sementes crioulas é possível preservar a agrobiodiversidade e o equilíbrio. Em um plantio de sementes crioulas, as plantas não são uniformes, podendo apresentar maior resistência às variações climáticas.

A estrutura fundiária de Santa Teresa retrata o predomínio das pequenas propriedades, de base familiar. Segundo o INCAPER, no ano de 2013, em Santa Teresa, mais de 90% das propriedades agrícolas eram de pequeno porte. Apesar do predomínio

da pequena propriedade, o município não deixa de reproduzir o modelo capitalista. Com o predomínio da monocultura do café, as variedades crioulas foram perdidas e substituídas por híbridos.

O Movimento dos Trabalhadores Rurais Sem Terra (MST) representa um marco na luta pela terra, defende em seu programa agrário a luta por políticas de crédito, financiamentos subsidiados, pesquisas e aprendizados tecnológicos voltados para a produção agrícola de matriz agroecológica e com incentivo à adoção de técnicas que aumentem a produtividade do trabalho e das áreas, em equilíbrio com a natureza (MST, 2015).

O assentamento Vale da Esperança, com área de 390 ha, foi constituído em dezembro de 1997, com 39 famílias oriundas de varias regiões do ES, vindas de um processo de mais de dois anos de luta pela terra, e organizadas pelo MST (PEREIRA, 2015).

Na agricultura, o processo de resistência e luta pela terra segue um caminho inverso às discussões. Propõe-se que sejam construídas novas estratégias de desenvolvimento rural com foco na sustentabilidade. As estratégias são essenciais, capazes de fundir os saberes empíricos e científicos a fim de garantir processos apropriados às reais necessidades dos agricultores.

A atividade aqui relatada objetivou resgatar parte da agrobiodiversidade no assentamento Vale da Esperança, e no município de Santa Teresa-ES, através do plantio e multiplicação de sementes de milho crioulo da variedade Cunha, além de testar a adaptação do milho cunha na região, e de fomentar o conhecimento agroecológico na comunidade.

## 2 METODOLOGIA

A ideia surgiu a partir de um projeto de extensão da disciplina de Grandes Culturas I do curso de Agronomia do Instituto Federal do Espírito Santo, *Campus Santa Teresa*, e foi realizado no Assentamento da reforma agrária Vale da Esperança, localizado no município de Santa Teresa-ES, em uma área utilizada pela família Pereira Melo (Joselma, Dimas, Daniele e Diego), propriedade que se encontra em transição agroecológica e defende a produção de alimentos saudáveis e a busca por um novo modelo de produção agrícola. As sementes foram doadas pelo projeto de sementes crioulas, coordenado pelo professor Francisco Delaprane, que mantém um banco de sementes na busca de resgatar a agrobiodiversidade regional.

No início, tivemos uma conversa com a família, falamos sobre o projeto e a variedade cunha, a opinião sobre as sementes crioulas, e a disponibilidade de área para implantação do milho.



O local escolhido foi uma baixada, próximo a um córrego, que vinha sendo mantida em pousio há quatro anos. Foi realizada capina e preparação do terreno além da abertura de sulcos. A semeadura foi realizada no dia 03/06/2017, com espaçamento de 20cm entre plantas, e 1m entre filas de 23m, com total de 15 filas. Foi instalado um sistema de irrigação, porem não foi utilizado, sendo aproveitado um período de chuvas, e realizadas 4 regas, apenas no início do período vegetativo, sendo que a última foi realizada aos 47 dias após o plantio, apesar de no ano de 2017 ter sido registrado um índice de chuvas abaixo do normal na região. Foi realizada uma capina manual e amontoa, 20 dias após a semeadura.

Através de conversas com a família, visitas na área de plantio e anotações, procurou-se observar e descrever algumas características da variedade como resistência ao estresse hídrico, resistência ao ataque de pragas e doenças, uniformidade, e poder produtivo.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O trabalho foi realizado nos meses de abril a dezembro de 2017, o plantio foi realizado no dia 03/06/2017, a condução do cultivo não gerou muito trabalho, pois a incidência de plantas oportunistas foi baixa, sendo feita apenas uma capina, as sementes germinaram bem, não ocorrendo falhas no plantio.

Foto 1: Milho 27 dias após o plantio (30/06/2017).



Fonte: própria.

Algumas plantas sofreram pouco ataque de formigas, porem resistiram, e foram perdidas poucas plantas, apesar de não ter sido usado nenhum método de controle. Santos

(2010) afirma que o controle de formigas cortadeiras é constante nos agroecossistemas, tendo empregado métodos como controle mecânico, cultural, biológico e químico.

Foi observado um baixo ataque de Lagarta do Cartucho (*Spodoptera frugiperda*) que é de comum ocorrência em plantios de milho, inclusive variedades transgênicas ditas resistentes têm sido atacadas pela lagarta. Segundo o Globo Rural (2014), agricultores que apostaram no milho transgênico estão frustrados, pois variedades transgênicas, que deveriam resistir ao ataque de lagarta do cartucho, não funcionaram. Não se observou incidência de doenças nas plantas de milho.

As plantas tinham altura acima de 2m. Valores elevados de altura de planta têm sido encontrados por outros autores. De acordo com Miranda et al. (2003), a altura de planta extrema, a alta proporção entre altura de plantas e altura de espigas podem fazer com que a cultivar apresente maior suscetibilidade ao acamamento. Porém, Campos et al. (2010) estudando a relação da altura de planta e inserção de espiga com acamamento e quebra de plantas de 49 variedades comerciais em cinco regiões, não observou nenhuma relação entre altura de planta e inserção de espiga com as taxas de acamamento.

Algumas espigas não eram finas como a maioria, sendo que essas se mostraram mais susceptíveis ao caruncho (*Sitophilus zeamais*), mostrando que a variedade ainda precisa ser selecionada e melhorada pelas comunidades. No geral, o cunha apresentou pouca resistência, sendo observado que o ataque do caruncho começou cedo.

Apesar de apresentar espigas pequenas, o cunha teve alto rendimento de grãos, e se desprende da espiga com facilidade. Agrama (1996) afirma que o número de grãos por espiga, a prolificidade e o tamanho de grãos são características potências para elevação do rendimento na criação de linhas superiores de milho.

O milho está sendo utilizado na alimentação de animais de pequeno porte, foi selecionada uma quantidade de sementes, uma parte foi distribuída para duas famílias do Assentamento, e outra será plantada novamente pela família Melo com objetivo de continuar o melhoramento e seleção da variedade.

#### 4 CONCLUSÃO

O milho da variedade cunha é resistente a doenças, à lagarta do Cartucho, e ao estresse hídrico, mostrando-se adaptada à região, porém se mostrou susceptível ao ataque de caruncho. As sementes do cunha requerem uma seleção e melhoramento genético participativo para melhor uniformidade da variedade. As sementes crioulas são de fundamental importância para a soberania das famílias, para o resgate da agrobiodiversidade e do conhecimento agroecológico, e para o fim do uso de produtos químicos na produção agrícola, livrando os povos da dependência gerada pelo sistema de produção que favorece as grandes empresas.

## REFERÊNCIAS

- AGRAMA, H.A.S. **Sequential path analysis of grain yield and its components in maize. Plant Breeding**, v.115, p.343, 1996.
- ALMEIDA, Paula e CORDEIRO, Ângela. **Sistema de seguridade da semente da paixão: estratégia comunitária de conservação de variedades locais no semiárido**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 2001.
- BELLÓ, Joel Agostinho. **A cultura do milho crioulo em relação ao milho convencional desenvolvida de maneira sustentável**. 2006. Disponível em: <<http://www.uniedu.sed.sc.gov.br/wp-content/uploads/2016/03/Artigo-Joel-Agostinho-Belló.pdf>>. Acesso em: 05 jun. 2018.
- CAMPOS, M. C. C.; SILVA, V; CAVALCANTE, I. H. L.; BECKMANN, M. Z. **Produtividade e características agrônômicas de cultivares de milho safrinha sob plantio direto no Estado de Goiás**. Revista Acadêmica de Ciências Agrárias e Ambiental, Curitiba, v.8, n.1, p.77- 84, jan./mar. 2010.
- FAO. **Biodiversidade para a segurança alimentar da América Latina**. 2018. Disponível em: <<http://www.fao.org/americas/noticias/ver/pt/c/387960/>>. Acesso em: 14 jun. 2018.
- GLOBO RURAL. **Milho transgênico não resiste ao ataque de lagartas**. G1. Campo Verde, p. 0-1. ago. 2014. Disponível em: <<http://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2014/08/milho-transgenico-nao-resiste-ao-ataque-de-lagartas-no-mato-grosso.html>>. Acesso em: 10 jun. 2018.
- INCAPER. **Programa de assistência técnica e extensão rural**. 2013. Disponível em: <[https://incaper.es.gov.br/media/incaper/proater/municipios/Noroeste/Santa\\_Teresa.pdf](https://incaper.es.gov.br/media/incaper/proater/municipios/Noroeste/Santa_Teresa.pdf)>. Acesso em: 14 maio 2018.
- MATOS, Patrícia Francisca; PESSOA, Vera Lúcia. **A modernização da agricultura no brasil e os novos usos do território**. Geo Uerj, Rio de Janeiro, v. 2, n. 22, p.290-322, 2011.
- MARX, Karl. **O capital: crítica da economia política**. Rio de Janeiro: editora Civilização Brasileira, 1975.
- MIRANDA, G. V.; COIMBRA, R. R.; GODOY, C. L.; SOUZA, L. V.; GUIMARÃES, L. J. M.; & MELO, A. D. **Potencial de melhoramento e divergência genética de cultivares de milho-pipoca**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.38, n.6, p. 681-688, jun. 2003.
- MOVIMENTO DOS TRABALHADORES RURAIS SEM TERRA. **Programa Agrário do MST**. 4. ed. São Paulo: Mst, 2015. 52 p.
- PEREIRA, Joselma Maria. **O papel da organicidade para o MST: Uma análise a partir do assentamento Vale da Esperança** - Santa Teresa-ES. 2015. 91 f. TCC (Graduação) - Curso de Serviço Social, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.
- SANTOS, Mariana Peres Almeida. **Avaliação do formicida citromax à base de fipronil no combate às saúvas**. 2010. Disponível em: <[https://www2.ib.unicamp.br/profs/eco\\_aplicada/revistas/be300\\_vol2\\_6.pdf](https://www2.ib.unicamp.br/profs/eco_aplicada/revistas/be300_vol2_6.pdf)>. Acesso em: 10 maio 2018.
- SAUER, S. **Terra e modernidade: a reinvenção do campo brasileiro**. São Paulo: Expressão Popular, 2010.
- SILVEIRA, Diógenes Cecchin et al. **Caracterização de variedades de milho crioulo na região noroeste do rio grande do sul**. 2015. Disponível em: <<http://revistaelectronica.unicruz.edu.br/index.php/CIENCIAETECNOLOGIA/article/view/592>>. Acesso em: 05 jun. 2018.
- SILVA, E. D. et al. **Pesquisa participativa para avaliação e seleção das sementes da paixão junto às famílias agricultoras na paraíba**. Trabalho apresentado no VII Congresso Brasileiro de Agroecologia. Fortaleza, CE – 12 a 16/12/2011.

# CAPÍTULO 21

## A PNATER E OS DESAFIOS IMPOSTOS ÀS ENTIDADES PÚBLICAS DE ATER: O CASO DA EMPAER EM MATO GROSSO<sup>1</sup>

Data de submissão: 05/02/2021

Data de aceite: 26/02/2021

**Murilo Didonet de Moraes**

Universidade do Estado de Minas Gerais,  
Unidade Acadêmica de Ituiutaba  
Ituiutaba – Minas Gerais  
<http://lattes.cnpq.br/383149405784511>

**Antonio Lázaro Sant'Ana**

Universidade Estadual Paulista  
“Júlio de Mesquita Filho”,  
Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira  
Ilha Solteira – SP  
<http://lattes.cnpq.br/2578970442440019>

**RESUMO:** Se por um lado, a Política Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural (PNATER) surge sob os auspícios de política inovadora, por outro, os desafios colocados às entidades públicas de extensão rural requerem uma transformação em suas práticas convencionais. O objetivo deste trabalho foi analisar em que medida os trabalhos desenvolvidos pela Empresa

Mato-grossense de Pesquisa, Assistência e Extensão Rural (EMPAER) atendem os principais pressupostos da PNATER. Os métodos utilizados para coletar as informações de interesse e alcançar os objetivos da investigação foram a pesquisa bibliográfica e a entrevista semiestruturada junto aos componentes da diretoria da EMPAER, no intuito de verificar se os mesmos conheciam os objetivos da PNATER e se as ações desenvolvidas pela empresa atendiam os pressupostos da referida política. Todos os diretores afirmaram conhecer as diretrizes e objetivos da PNATER, além de confirmarem a existência de uma compatibilidade entre as atividades desenvolvidas pela EMPAER e os princípios da política. Contudo, os recursos humanos e financeiros escassos dificultam a adoção dos princípios da PNATER pela EMPAER. Diante disso, não há como prever se os resultados aqui encontrados terão potencial para uma mudança mais profunda dentro da empresa, porém os avanços já alcançados representam a esperança de concretização de um conjunto significativo de ações benéficas junto aos agricultores familiares.

**PALAVRAS-CHAVE:** Extensão rural. Agricultura familiar. Desenvolvimento rural sustentável. Agricultura de base ecológica.

<sup>1</sup> A primeira versão deste trabalho foi publicada na revista Cadernos de Agroecologia, v. 11, n. 2, 2016.

## THE NATIONAL POLICY ON TECHNICAL ASSISTANCE AND RURAL EXTENSION (PNATER) AND THE CHALLENGES POSED TO PUBLIC ENTITIES OF TECHNICAL ASSISTANCE AND RURAL EXTENSION (ATER): THE CASE OF CORPORATION FOR AGRICULTURAL RESEARCH, ASSISTANCE AND RURAL EXTENSION OF THE STATE OF MATO GROSSO (EMPAER-MT)

**ABSTRACT:** If on the one hand, the National Policy on Technical Assistance and Rural Extension (PNATER) comes under the auspices of innovative politics, on the other, the challenges posed to public entities of rural extension require a transformation in their conventional practices. The objective of this work was to analyze the extent to which the projects developed by the Corporation for Agricultural Research, Assistance and Rural Extension of the State of Mato Grosso (EMPAER-MT) meet the main assumptions of PNATER. The methods used to collect the information of interest and achieve the objectives of the investigation were the bibliographical research and semi-structured interview with the components of the board of directors of EMPAER-MT, in order to verify whether they knew the goals of PNATER and if the actions taken by the company met the conditions of this policy. All directors have claimed to know the guidelines and objectives of PNATER, in addition to confirming the existence of a compatibility between the activities developed by the EMPAER-MT and the principles of the policy. However, the human and financial resources scarce make it difficult the adoption of principles of PNATER by EMPAER-MT. Given this, there is no way to predict the results found here have the potential to a deeper change within the company. However, the advances already achieved represent the hope of achieving a significant number of beneficial actions with the family farmers.

**KEYWORDS:** Rural extension. Family farm. Sustainable rural development. Ecologically-based agriculture.

### 1 INTRODUÇÃO

Na última década intensificou-se o debate entre os diferentes discursos sobre a sustentabilidade, sendo que cada abordagem apresenta sua perspectiva sobre o desenvolvimento sustentável e o papel que a agricultura deve desempenhar com vistas à construção de um modelo agrícola sustentável (ALTIERI, 1992).

Há duas vertentes principais, sendo a primeira defendida pela corrente ecotecnocrática, a qual tem como pressuposto a necessidade de um crescimento econômico continuado, buscando equacionar a relação sociedade-ambiente e os limites do crescimento, mediante um otimismo tecnológico, artifícios econômicos e mecanismos de mercado. A segunda é pautada na perspectiva etnoecossistêmica, a qual propõe uma mudança no sistema dominante, em favor de estratégias descentralizadas, compatíveis com as condições ecológicas locais e capazes de incorporar as identidades étnicas e valores culturais de cada local (CAPORAL E COSTABEBER, 2000; MOREIRA E CARMO, 2004).

O governo federal demonstrou qual perspectiva pretende adotar no que concerne à extensão rural pública, ao promulgar a Lei nº 12.188, de 11 de janeiro de 2010 que institui a Política Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural - PNATER. Nesta, observa-se a presença dos princípios de base ecológica com enfoque para o desenvolvimento de sistemas de produção sustentáveis, incluindo a diversidade de categorias e atividades da agricultura familiar e considerando os conhecimentos científico, empírico e tradicional (BRASIL, 2010a). Assim, parece ficar clara a opção por uma ação extensionista mais voltada à perspectiva etnoecossistêmica, ao menos enquanto proposta política.

Além disso, é importante ressaltar que, historicamente, a extensão rural brasileira sempre esteve orientada para o desenvolvimento capitalista no campo, sendo sua fonte de inspiração os conceitos de adoção e difusão de inovações baseados em Rogers (1995), o qual propunha uma “metodologia educativa”, no sentido de persuadir o público a aceitar o “novo”. Por esta e outras razões, que a PNATER surge sob os auspícios de política inovadora, pois a sua implantação culminou com mudanças significativas nas bases filosóficas, objetivos e diretrizes da prática extensionista, a partir da incorporação da pedagogia emancipadora/libertadora de Freire (1983).

Com base nessas diretrizes estabelecidas, torna-se relevante avaliar se as agências de extensão rural estão atuando dentro dos preceitos que a Lei rege. Assim, o presente trabalho tem como objetivo analisar em que medida os trabalhos desenvolvidos pela Empresa Mato-grossense de Pesquisa, Assistência e Extensão Rural (EMPAER) atendem os principais pressupostos da PNATER.

## 2 METODOLOGIA

Atualmente, existem no estado de Mato Grosso 578 assentamentos, onde vivem 103.338 famílias em uma área de 6.276.385 hectares (DATALUTA, 2014), sendo que o órgão de extensão rural estadual responsável por dar assistência a todas essas famílias é a EMPAER.

A EMPAER está presente em 123 municípios do estado, disponibilizando os serviços de assistência técnica e extensão rural (ATER), pesquisa e fomento aos agricultores familiares por meio de 124 escritórios locais, nove regionais, três centros de pesquisa, seis campos experimentais, quatro viveiros de produção e um núcleo com sete laboratórios (EMPAER, 2021).

Esta pesquisa enfatiza a investigação do tipo qualitativa, a qual se baseia na obtenção de dados descritivos, colhidos no contato direto do investigador com a situação estudada. De acordo com Martins e Campos (2003), este método de pesquisa deve



ser pautado na observação e análise dos significados e características do fenômeno estudado, não se limitando apenas à quantificação.

Os métodos utilizados para coletar as informações de interesse e alcançar os objetivos da investigação foram a pesquisa bibliográfica e a entrevista semiestruturada.

O levantamento bibliográfico se baseou, principalmente, em temas relacionados à PNATER e extensão rural, que formam o eixo central deste artigo. Para Gil (2002), a pesquisa bibliográfica é aquela desenvolvida a partir de um material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos.

Para não permanecer apenas no nível teórico, optou-se pela complementação das informações a partir da realização de entrevistas semiestruturadas com os componentes da diretoria da EMPAER, nomeadamente: o diretor presidente, o diretor de ATER e o diretor de pesquisa e fomento. Segundo Marconi e Lakatos (2005), a entrevista semiestruturada é aquela que o entrevistador segue um roteiro, porém tem liberdade de explorar mais amplamente determinadas questões de seu interesse.

As entrevistas foram realizadas em março de 2016 no escritório central da EMPAER, situado em Cuiabá-MT, e tinham dois objetivos principais: verificar se os diretores conheciam as diretrizes e objetivos da PNATER; e observar em que medida os mesmos consideram que o trabalho de extensão rural da EMPAER atende os principais pressupostos da PNATER.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Ao serem questionados sobre as diretrizes e objetivos da PNATER, todos os diretores afirmaram conhecer a referida Lei e que a mesma está sempre presente nas reuniões de planejamento das atividades da Empresa.

A resposta obtida é animadora, pois ao menos do ponto de vista da conscientização, os diretores da EMPAER demonstraram estar atentos às novas proposições. Tal nível de conscientização também pode estar associado à possibilidade do Estado em exercer seu poder de enquadramento, regulação e controle. Segundo Dias (2007), as empresas públicas que não se adequem aos pressupostos da PNATER poderão ser punidas com a limitação de recursos. Tal cenário é possível, desde que o Estado desenvolva mecanismos de avaliação e monitoramento eficazes da ATER. Por enquanto, os mecanismos são frágeis e pouco eficientes. Prevalecerá a trajetória histórica de cada instituição, a força dos *habitus* e o modo como cada um lidará com a inovação proposta (DIAS, 2007).

A discussão levantada acima lança o foco para outra questão importante: será que a trajetória histórica das instituições e a força dos seus *habitus* as credenciam

para assumir os pressupostos da PNATER? Infelizmente, as dificuldades são muitas para que estas ajam de acordo com o que a lei rege. Dificuldades essas que começam com o pensamento difusionista que ainda impera em grande parte das agências e a intolerância em mudar este *status quo*, e vão até a falta de condições financeiras, estruturais e humanas.

Neste sentido, a missão das agências de ATER em seguir os pilares presentes na PNATER requer a quebra de um paradigma vigente desde meados da década de 1960. Da Ros (2012) reafirma essa postura ao apontar que a PNATER se singularizou por apresentar objetivos, diretrizes e orientações teórico-metodológicas extremamente distintas daquelas que vigoraram durante o processo de modernização técnica da agropecuária brasileira.

Dessa forma, o conhecimento sobre as diretrizes da PNATER por parte do seu corpo diretivo, por si só, não fornece as bases necessárias para a mudança que se deseja. Para isso, a EMPAER deve transformar sua prática convencional e introduzir mudanças concretas para que, e a partir disso, possa atender as novas exigências da PNATER.

Quanto ao trabalho desenvolvido pela EMPAER atender os principais pressupostos da PNATER, obtivemos diferentes respostas. Para o diretor de ATER, principal responsável pelas ações da área, o trabalho desenvolvido pela EMPAER atende a PNATER e deve ser visto como uma educação não formal, merecendo assim ser mais valorizado pelo Estado, conforme se observa no trecho destacado abaixo:

[...] Agora tem que internalizar que a EMPAER, ela tem o mesmo papel que uma educação, que uma saúde, que uma segurança... Hoje a EMPAER, assistência técnica e extensão rural, é uma educação não formal e o Estado tem que internalizar isso... O estado que eu falo não é só o de Mato Grosso, mas o Estado de modo geral, o Estado do Brasil... Vê que a extensão é importante nesse processo (Entrevistado 1).

Realmente, as ações realizadas pelas empresas públicas de extensão rural possuem uma conotação educativa e isso fica claro nas diretrizes da PNATER, a qual define ATER como um

"serviço de educação não formal, de caráter continuado, no meio rural, que promove processos de gestão, produção, beneficiamento e comercialização das atividades e dos serviços agropecuários e não agropecuários, inclusive das atividades agroextrativistas, florestais e artesanais" (BRASIL, 2010a, p.1).

Se essa nova perspectiva da extensão rural parte do pressuposto que a ação extensionista é, essencialmente, uma ação pedagógica/educativa, a primeira pergunta que surge é: de que educação se trata?.

Com base nas concepções de educação apresentadas no texto de Brasil (2010b), parece-nos que a corrente dialética é a que mais se assemelha a ação extensionista



preconizada pela Lei, pois esta desafia os profissionais de ATER a imergirem no seio das famílias rurais, a fim de estabelecer práticas compatíveis com a realidade local e tornar o produtor rural protagonista neste processo.

Ainda com base nas respostas do diretor de ATER, destacam-se as dificuldades de ordem financeira e de pessoal (recursos humanos) para atender as demandas da PNATER. Os entraves de cunho financeiro, segundo o entrevistado, referem-se aos incipientes e instáveis recursos encaminhados pelo governo federal aos estados.

Contudo, Mattei (2014) apresenta-nos uma visão um pouco diferente da citada acima. Para o autor, a mudança de percepção advinda da PNATER, se materializou com o aumento de investimentos para a estruturação das agências estaduais de ATER (contratação de novos servidores, investimentos em infraestrutura e capacitação dos extensionistas), as quais passaram a ter maior responsabilidade em relação ao suporte técnico que deverá ser destinado oficialmente ao setor da agricultura familiar.

O quadro apontado por Mattei (2014) deve ser analisado de forma cuidadosa. Realmente, houve um aumento nos investimentos direcionados à reestruturação das instituições estaduais de ATER, porém estes ainda estão muito aquém das reais demandas deste setor. É importante ressaltar também que esses investimentos ocorreram, em sua maioria, de forma desigual entre os estados da federação, sendo que muitos ainda operam em situação de sucateamento. Adicionalmente, o histórico desmonte da ATER e a necessidade de maiores incentivos do governo estadual realçam a realidade delicada do setor.

A outra dificuldade citada pelo diretor de ATER está relacionada com a quantidade e qualidade dos técnicos que lidam diretamente com os agricultores familiares. Quantidade pela insuficiência de extensionistas para atender toda a demanda, chegando ao caso de um único técnico ser responsável pelo atendimento de mais de 500 famílias. Qualidade no que diz respeito ao técnico ser capaz de lidar com o público previsto na PNATER, pois a sua formação acadêmica é tão focada no viés produtivista que lhe falta tato para trabalhar de forma participativa e identificar os reais interesses e necessidades das pessoas. Para contornar as dificuldades de cunho quantitativo, o diretor afirmou que já foi requerido ao governo do estado que convoque o restante dos aprovados no último concurso da EMPAER. Já as de cunho qualitativas, os investimentos estão voltados aos cursos de aperfeiçoamento e formação continuada dentro dos princípios da PNATER.

O segundo diretor a dar o seu ponto de vista sobre o alinhamento das ações da EMPAER com as diretrizes da PNATER foi o de fomento e pesquisa. Para o entrevistado, a EMPAER busca se adaptar a este novo paradigma a partir do atendimento de três eixos: renda, família e sustentabilidade ambiental.

[...] Nós temos três eixos, três pilares: a sustentabilidade ambiental; a renda; e a família como um todo. Nós não trabalhamos apenas o agricultor, nós trabalhamos a família do agricultor... Com estes três pilares, nós acreditamos que nós estamos focando realmente na questão da sustentabilidade como um todo... Na renda, como no meio ambiente, como na família... Essas três figuras, elas têm que estejam juntas, para a gente realmente dá uma condição melhor para aquela família, com sustentabilidade (Entrevistado 2).

A opinião do diretor mostra estar bem alinhada aos princípios da PNATER, pois ao trabalhar com estes três eixos, a EMPAER estará mais próxima de atender os princípios de uma agricultura de base ecológica, dentro de uma perspectiva etnoecossistêmica.

Outro ponto destacado pelo diretor de pesquisa e fomento foi, em alguns casos, a incipiente participação dos agricultores familiares com relação às ações desenvolvidas pela EMPAER, principalmente àquelas de caráter mais participativo. Diante dessa afirmação, surge-nos outra questão: será que os princípios e objetivos da PNATER são os ideais para a extensão rural dirigida à agricultura familiar ou precisam ser ajustados/mudados?.

Na realidade, os pressupostos presentes na PNATER se adequam tanto às necessidades da agricultura familiar, quanto às agências estaduais de ATER, guardadas as peculiaridades de cada caso. O problema não está no arcabouço teórico da política, mas sim nas instituições e pessoas responsáveis pelo seu funcionamento, conforme afirma Arretche (1996).

Ambos os atores (agricultores familiares e extensionistas) apresentam os vieses do modelo tradicional de extensão rural tão arraigados que acabam dificultando, mesmo que inconscientemente, a adoção dessa nova política. Estamos falando de agricultores acostumados com uma ação extensionista convencional e que, ao entrarem em contato com novos processos em que eles se tornam o centro da ação, acabam estranhando e não participando de maneira adequada. Da mesma forma, têm-se os extensionistas acomodados com um modelo vertical de assistência técnica que rejeitam qualquer modo de ação que se distancia do tradicional.

Um dos principais méritos da PNATER foi ter estabelecido novos parâmetros teóricos e metodológicos para o debate da extensão rural no país e isso não pode ser perdido, pois foi fruto das lutas travadas historicamente pelos direitos dos agricultores familiares. Portanto, nota-se a necessidade de um maior investimento na capacitação dos profissionais de ATER, bem como um novo olhar sobre a formação de novos profissionais, para que estes se tornem multiplicadores do novo modo de se fazer extensão rural no país. Com isso, os agricultores também irão se adaptar as novas bases da ATER, participando de forma mais efetiva das ações promovidas pelos extensionistas e percebendo seu protagonismo dentro do processo.

Por fim, buscou-se apreender a opinião do diretor presidente da EMPAER. Para ele, o relacionamento com a delegacia do Ministério do Desenvolvimento Agrário no estado de Mato Grosso facilita o balizamento das ações da EMPAER, no que diz respeito às diretrizes da PNATER. Além disso, o entrevistado afirmou que: “[...] além do que está na Lei e o que beneficiar o produtor, nós estamos prontos para atender” (Entrevistado 3).

Esta disponibilidade do diretor presidente em trabalhar de acordo com os pressupostos da PNATER é motivante. Porém, sabe-se que os desafios práticos são muitos e, em alguns casos, difíceis de resolver.

Desde o primeiro documento divulgado em 2003 até os anos posteriores à sua promulgação (2010), a PNATER tem sido alvo de alguns estudos que têm como objetivo avaliar o alinhamento das ações extensionistas frente às concepções propostas na Política. Entre estes, destacam-se os trabalhos de Caporal (2006) e Pettan (2010). De maneira geral, as conclusões dos autores apontam para as dificuldades dos extensionistas e das entidades de ATER em se adaptarem às proposições da lei, tendo em vista que os desafios colocados a esta inovação na extensão rural não são poucos e demandam a quebra de paradigmas intensamente e historicamente arraigados no âmago dessas entidades.

No caso do estado de Mato Grosso, trabalhos como os de Laforga e Vieira (2008) e Vieira e Costa Neto (2012) apontam para as dificuldades que a EMPAER têm em atuar sob os auspícios da PNATER.

## 4 CONCLUSÕES

O fato de todos os diretores da EMPAER afirmarem que conhecem as diretrizes e objetivos da PNATER demonstra que os mesmos estão atentos às novas proposições.

DO mesmo modo, todos os diretores confirmaram que existe uma compatibilidade entre as atividades desenvolvidas pela EMPAER e os princípios e objetivos da PNATER.

Por outro lado, dificuldades relacionadas aos recursos humanos e financeiros escassos foram apontadas como entraves a adoção dos princípios da PNATER pela EMPAER.

De um modo geral, não há como prever se os resultados aqui encontrados terão potencial para uma mudança mais profunda dentro da empresa. Porém, os avanços já alcançados representam a esperança de concretização de um conjunto significativo de ações benéficas junto aos agricultores familiares.

## REFERÊNCIAS

- ALTIERI, M. A. El Rol Ecológico de la Biodiversidad en Agroecosistemas. **Agroecología y Desarrollo**, n. 4, p. 2-11, 1992.
- ARRETCHE, M. Mitos da descentralização: mais democracia e eficiência nas políticas públicas? **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, n. 31, ano 11, p. 01-27, junho de 1996.
- BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Agrário. **Lei nº 12.188, de 11 de janeiro de 2010**. Brasília, 2010a. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_Ato2007-2010/2010/Lei/L12188.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2007-2010/2010/Lei/L12188.htm)>. Acesso em: 20 ago. 2016.
- \_\_\_\_\_. **Fundamentos teóricos, orientações e procedimentos metodológicos para a construção de uma pedagogia de ATER**. Brasília: MDA/SAF, 2010b. 45p.
- CAPORAL, F. R. Bases para uma nova Ater pública. **Revista Extensão Rural**, DEAER/PPGExR- CCR - UFSM, ano X, p. 85-117, jan/dez, 2003.
- \_\_\_\_\_. Lei de Ater: exclusão da Agroecologia e outras armadilhas. **Cadernos de Agroecologia**, v. 6, n. 2, p.1-7, dez, 2011.
- \_\_\_\_\_. Política Nacional de Ater: primeiros passos de sua implementação e alguns obstáculos e desafios a serem enfrentados. In: TAVARES, J.; RAMOS, L. (Orgs.). **Assistência técnica e extensão rural: construindo o conhecimento agroecológico**. Manus: IDAM, 2006. cap. 1, p. 9-34.
- CAPORAL, F. R.; COSTABEBER, J. A. Agroecologia e desenvolvimento rural sustentável: perspectivas para uma nova extensão rural. **Agroecologia e Desenvolvimento Rural Sustentável**, Porto Alegre, v. 1, n. 1, p. 16-37, 2000.
- DA ROS, C. A. **O processo de construção da Política Nacional de Assistência Técnica de Assistência Técnica e Extensão Rural do governo Lula (2004-2010)**. 2012. 43p. Disponível em: <http://www.relaser.org/index.php/>. Acesso em: 20 ago. 2016.
- DATALUTA. **Banco de dados da luta pela terra - Mato Grosso**: Relatório 2013. 2014. Disponível em <[http://www2.fct.unesp.br/nera/projetos/dataluta\\_mt\\_2013.pdf](http://www2.fct.unesp.br/nera/projetos/dataluta_mt_2013.pdf)>. Acesso em: 01 fev. 2021.
- DIAS, M. M. As mudanças de direcionamento da Política Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural (PNATER) face ao difusionismo. **Revista Oikos**, Viçosa, v. 18, n. 2, p. 11-21, 2007.
- DINIZ, P. C.; TAVARES, J. L.; ALMEIDA, A. **Chamadas públicas de ATER**: primeiras reflexões. Recife: UFRPE. 2011. 16p.
- EMPAER. Empresa Mato-grossense de Pesquisa Assistência e Extensão Rural. **Dados institucionais**. 2021. Disponível em <<http://www.empaer.mt.gov.br/>>. Acesso em: 01 fev. 2021.
- FREIRE, P. **Extensão ou comunicação?** 8. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1983. 93p.
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002. 176p.
- LAFORGA, G.; VIEIRA, A. O. Ação extensionista da EMPAER frente à nova PNATER: uma análise a partir do Assentamento Guapirama, Campo Novo do Parecis - MT. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 46., 2008, Rio Branco. **Anais Eletrônicos...** Rio Branco: SOBER, 2008. Disponível em: <<http://ageconsearch.umn.edu/handle/108965>>. Acesso em: 21 ago. 2016.
- MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2005. 315p.

MARTINS, R. M.; CAMPOS, V. C. **Guia prático para pesquisa científica**. Rondonópolis: Unir, 2003. 90p.

MATTEI, L. O papel e a importância da agricultura familiar no desenvolvimento rural brasileiro. **Rev. Econ. NE**, Fortaleza, v. 45, p. 71-79, 2014.

MOREIRA, R. M.; CARMO, M. S. Agroecologia na construção do desenvolvimento rural sustentável. **Agric. São Paulo**, São Paulo, v. 51, n. 2, p. 37-56, jul/dez, 2004.

PETTAN, K. B. **A Política Nacional de Assistência Técnica e Extensão Rural (PNATER): percepções e tendências**. 2010. 248 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

ROGERS, E. M. **Diffusion of Innovations**. 4. ed. New York: The Free Press, 1995. 518p.

VIEIRA, A. O.; COSTA NETO, C. R. PNATER e abordagens pedagógicas: pesquisa participativa com produtores rurais, assentados e agentes de ATER da EMPAER. **Revista de Ciência Sociais**, n. 2, ano 6, p.203-223, 2012.

# CAPÍTULO 22

## CULTURA & DESENVOLVIMENTO RURAL - O TEATRO REGIONAL DA SERRA DE MONTEMURO – PORTUGAL<sup>1</sup>

Data de submissão: 02/02/2021

Data de aceite: 24/02/2021

### Maria Lúcia de Jesus Pato

Professora Adjunta,  
Instituto Politécnico de Viseu,  
Escola Superior Agrária,  
Centro de Investigação CERNAS-IPV,  
Portugal,  
<https://orcid.org/0000-0002-2286-4155>

### Vitor Manuel Pinto de Figueiredo

Professor Auxiliar Convidado,  
Faculdade de Ciências Sociais e Humanas,  
DGE,  
Universidade da Beira Interior,  
<https://orcid.org/0000-0003-2965-0050>

**RESUMO:** No início dos anos noventa, mercê de alguma tradição cultural, emergiu na pequena aldeia de Campo Benfeito (concelho

de Castro Daire, Serra do Montemuro) uma iniciativa teatral que viria a tornar-se uma figura ímpar no desenvolvimento da aldeia, do concelho e região de Montemuro: o Teatro Regional da Serra do Montemuro. Depois de um período de aprendizagem, a companhia apresenta em 1995 o primeiro espetáculo a nível internacional. Graças ao interesse entretanto despertado pelas entidades que assistiram ao espetáculo, a companhia decide pedir ajuda ao Estado Português, tendo adquirido a partir desse ano um estatuto também profissional. O teatro continua até hoje a ser a fonte de sustento e rendimento para seis pessoas que nele trabalham a tempo inteiro. Adicionalmente, os benefícios da iniciativa repercutem-se na própria comunidade rural, nomeadamente ao nível da revitalização socioeconómica local e a nível ambiental. Prova disto, é o festival Altitudes, os Serões da Serra e as sinergias criadas com toda a população local e ainda a inserção da aldeia na rede de “Aldeias de Portugal”. Baseados numa análise qualitativa o propósito deste estudo é pois o de explorar o contributo desta iniciativa no próprio desenvolvimento pessoal e profissional dos atores envolvidos e o contributo para o desenvolvimento rural sustentável, em particular da aldeia de Campo Benfeito.

**PALAVRAS-CHAVE:** Teatro. Cultura. Desenvolvimento Rural. Montemuro.

<sup>1</sup> Este artigo constitui uma versão melhorada do paper apresentado no Congresso da APDR, disponível em: Pato, L. & Figueiredo, V. (2017). Cultura, Teatro & Desenvolvimento Regional. In *24th Congress APDR Intellectual Capital and Regional Development: New landscapes and challenges for space planning* (33-36). Covilhã: Universidade da Covilhã.

**ABSTRACT:** In the beginning of the nineties, through a cultural tradition, a theatre initiative emerged in the small village of Campo Benfeito (Castro Daire municipality, mountain of Montemuro) that would become a unique figure in the development of the village, the county and Region of Montemuro: Teatro Regional da Serra do Montemuro. After a period of learning, the company presented the first international show in 1995. Thanks to the interest aroused in the entities that attended the show, the company decided to ask for help to the Portuguese State, having since then acquired a professional status. The theatre continues to be the source of livelihood and income for six full-time employees. In addition, the benefits of the initiative have repercussions in the rural community itself, particularly at the level of local socio-economic revitalization. Proof of this is the Altitudes festival, Serões da Serra and the synergies created with the entire local population and the integration of the village in the network “Aldeias de Portugal”. Based on a qualitative analysis, the purpose of this study is to explore the contribution of this initiative to the personal and professional development of the actors involved and the contribution to sustainable rural development, in particular the village of Campo Benfeito.

**KEYWORDS:** Theatre. Culture. Rural Development. Montemuro.

### 1 INTRODUÇÃO

Tendo em vista um desenvolvimento económico e social equilibrado, a União Europeia assumiu que o setor cultural e criativo tem um papel fulcral, através de impulsos positivos no crescimento económico, na competitividade, no emprego e na inovação (Balan & Vasile, 2015; Rebelo, Correia, & Cristóvão, 2007).

Este mesmo entendimento é partilhado pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE), que refere que a cultura é vista com uma poderosa alavanca do desenvolvimento local (Grefe, Pflieger, & Noya, 2005). Com efeito, a cultura pode influenciar o desenvolvimento local devido à criação de sinergias entre os atores envolvidos, criando um ambiente que mantém os residentes nos respetivos territórios, atraindo turistas e visitantes e incentivando à criação de produtos que combinam dimensões estéticas com funcionalidades utilitárias (Grefe et al., 2005). Com efeito o património cultural, se bem gerido, pode ser fundamental para melhorar a inclusão social, desenvolver o diálogo intercultural, afirmar a identidade de um determinado território, melhorar a qualidade do meio ambiente, incentivar a coesão social, o desenvolvimento do turismo, a criação de empregos e o aumentando o investimento local (Dümcke & Gnedovsky, 2013) Isto é, através da preservação da cultura e tradições locais estar-

se-á a investir no capital social local e bem assim, nas pessoas de um território e nos legados deixados pelas gerações ancestrais. Ademais, a cultura e o património local de um território representam um potencial de desenvolvimento, que é enfatizado ainda mais pela localização e conteúdos específicos do lugar, o que pode representar uma vantagem competitiva em relação a outros territórios (Bole, Pípan, & Komac, 2013).

No entanto poucos estudos têm investigado o papel da cultura no desenvolvimento económico (Balan & Vasile, 2015), sobretudo nos meios rurais. Daí que neste estudo se pretenda investigar o papel de uma iniciativa cultural – o Teatro Regional da Serra do Montemuro (TRSM) no desenvolvimento da comunidade rural onde está inserida. A pergunta de partida que norteia então a nossa investigação é:

*Qual o impacto do Teatro Regional da Serra do Montemuro no desenvolvimento da comunidade rural/ região onde está localizada a iniciativa?*

A metodologia utilizada baseou-se na recolha de informação documental acerca da iniciativa. Adicionalmente esta informação foi complementada com visitas exploratórias à aldeia, efetuando-se igualmente duas entrevistas exploratórias a diferentes *stakeholders* locais. Uma entrevista foi feita junto do diretor do TRSM e outro junto da Câmara Municipal de Castro Daire.

O artigo está estruturado em três partes para além da introdução. Na sessão 2 apresenta-se a localização da iniciativa e os procedimentos metodológicos. Na sessão 3 apresenta-se a análise e discussão de resultados. Finalmente, à luz desses resultados, na sessão 4 são apresentadas as conclusões, as limitações do estudo, evidenciando-se igualmente pistas para pesquisas futuras.

## 2 LOCALIZAÇÃO DA INICIATIVA E METODOLOGIA

### 2.1 LOCALIZAÇÃO DA INICIATIVA

O TRSM está localizado na aldeia de Campo Benfeito (freguesia de Gosende) no concelho de Castro Daire. O concelho pertence à região (Nut) Viseu Dão-Lafões, no centro de Portugal. É uma aldeia pequena, de características claramente rurais, contando presentemente com cerca de cinquenta residentes.

Desde cedo que, os parcos rendimentos agrícolas levaram a população aldeã a procurar atividades subsidiárias à agricultura, restando atualmente dois lavradores a tempo inteiro (Santana, 2016). No local, as possibilidades de emprego são frágeis, tendo muitos dos seus habitantes sido forçados a procurar alternativas fora da aldeia.

Apesar deste cenário, a aldeia de Campo Benfeito é detentora de um vasto património histórico-cultural, fazendo parte da Rede de Aldeias de Portugal.



## 2.2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia utilizada baseia-se numa abordagem de estudo de caso. Em particular a investigação recaiu na recolha de informação documental acerca da iniciativa, incluindo a informação constante na página web da iniciativa e em outros documentos eletrónicos. Adicionalmente esta informação foi complementada com visitas exploratórias à aldeia, efetuando-se igualmente duas entrevistas. Dados os objetivos do nosso estudo uma das entrevistas foi realizada ao TRSM, sendo a outra realizada junto da Câmara Municipal de Castro Daire. Os guiões das respetivas entrevistas foram baseados na revisão da literatura. A fim de registar e interpretar o discurso dos respondentes as entrevistas foram gravadas, seguindo-se posteriormente a sua transcrição e análise de conteúdo.

## 3 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### 3.1 AS RAÍZES DO TRSM, A CULTURA POPULAR E A “VONTADE DE DAR”

Falar do TRSM é falar numa iniciativa que assenta claramente na cultura e património local/rural. Na verdade, na base da criação do teatro estiverem razões relacionadas com a recuperação e preservação das tradições e cultura popular rural da aldeia e região de Montemuro. A iniciativa nasceu em 1990, fruto de uma iniciativa do Instituto de Assuntos Culturais (ICA), que mercê da observação de fortes dinâmicas culturais e de alguma tradição popular nesta área, estimulou alguns jovens da aldeia de Campo Benfeito (concelho de Castro Daire), a desenvolverem um projeto teatral, como referido durante a entrevista: *“(...) existia a tradição já desde a década de sessenta, com um padre lá da freguesia que dinamizou muito esta componente teatral, fazia muitos espetáculos em termos de teatro e foi a partir daí (...)”*.

Com efeito, entre 1990 e 1995 com base num trabalho muito baseado na recolha de “estórias” junto do povo, na cultura popular, na ruralidade e no património local, os jovens de Campo Benfeito em articulação com o ICA, recebem a primeira formação mais profissional, como nos refere o diretor do TRSM: *“(...) foi um trabalho muito de pesquisa, foi muito experimental, mas assumimos logo ali alguns compromissos, dado que tínhamos outras tarefas, mas durante esses 5 anos foi muito rico, porque fizemos intercâmbios, viagens, recebemos muitas estruturas de fora (...)”*.

Na verdade, a companhia trabalhou o *“(...) momento e a possibilidade de estarem a fazer algo de diferente e a sonharem”*, baseada na própria ruralidade da região. O enraizamento da companhia na história da própria aldeia e região e na sua tradição e cultura, é indubitavelmente um traço que a distingue das demais:

*“(...) nós somos de cá, nós tentamos construir um conjunto de histórias muito baseadas neste universo, neste mundo rural, não é? Isso se calhar marca a diferença em relação a outros projetos, nós conseguimos transportar as nossas tradições... olhar um bocadinho para este lado da ruralidade”.*

Complementarmente a esta oportunidade da companhia estar a fazer algo de diferente daquilo que era habitual na aldeia, a vontade de dar algo à aldeia e à região esteve desde o início presente nas ambições destes jovens atores:

*“Primeiro foi aproveitar uma oportunidade e logo imediatamente a seguir a necessidade de dar. Nós tínhamos também, dado que as pessoas nos apoiaram tanto e acreditaram, nós também temos a necessidade de contribuir e essas é que foram as razões de o Teatro do Montemuro ser o que é, eu acho que foi o alicerce de tudo.”*

Estes primeiros excertos da entrevista confirmam-nos que esta é de facto uma companhia de teatro muito singular, que desde o início assentou a sua atuação na cultura popular de uma região rural considerada por muitos como deprimida e isolada, mas que mercê de fortes dinâmicas culturais, do apoio da população local e de uma vontade inesgotável acabou por sobressair no universo teatral. Aliás Ana Pires, ex-delegada da cultura regional do Centro, escreveu: *“Com que palavras se explica que em Campo Benfeito sedie um dos grupos mais interessantes e de maior qualidade cultural do país? Com que palavras se agradece a esta gente? Com que palavras se respeita este esforço?”*(Ana Pires in TRSM, 2016).

Foi certamente este reconhecimento público que permitiu que a companhia a partir de 1995 tivesse beneficiado do apoio do Estado Português, nomeadamente da Secretaria do Estado da Cultura.

### 3.2 O TRSM & A REVITALIZAÇÃO ECONÓMICA & SOCIAL DA ALDEIA

Passada a primeira fase de formação do teatro, os jovens que entretanto integravam a companhia olharam para a mesma como uma possibilidade “séria” de emprego. E o teatro continua até hoje a ser a fonte de sustento e rendimento para seis pessoas: quatro homens e duas mulheres que nele trabalham a tempo inteiro. Para além disso, as pessoas que regularmente se juntam ao teatro (também cerca de meia dúzia), trazem igualmente alguns benefícios. Ao procurarem fixar-se na aldeia durante o período em que estão a trabalhar com o teatro, têm necessidades de consumos locais.

Isso reflete-se por exemplo nos gastos de bens e serviços no concelho, mas também no aluguer de casas na aldeia:“(…) a aldeia tem sempre duas ou três casas alugadas (...)”, o que cria alguma almofada económica para alguns residentes.

Não admira pois que, como referido acima, a comunidade local desde o início tenha apoiado esta iniciativa. Aliás dadas todas as dinâmicas criadas, incluindo também as dinâmicas criadas pelas Capuchinhas<sup>2</sup> o entrevistado defende que hoje em dia a comunidade não se sente isolada, pelo contrário, foi criada toda uma dinâmica e bem-estar local:

*“(…) hoje em dia em Campo Benfeito vive-se bem (...) com as dificuldades como toda a gente tem, mas há encontros, há um espaço de convívio... o teatro de Montemuro continua a fazer uma programação regular, quer seja através dos serões na serra, quer através do acolhimento de escolas, quer através dos espetáculos que se vão fazendo”. Temos o escritório (Espaço Montemuro)<sup>3</sup> permanentemente aberto onde as pessoas mais velhas podem pedir informação, quer dizer, há aqui toda uma relação muito estreita entre a comunidade e as pessoas ... eu sinto que as pessoas se sentem muito confortáveis em viver aqui, muito sinceramente”.*

Prova das dinâmicas culturais entretanto criadas pela companhia é o festival Altitudes – um festival de teatro promovido pelo TRSM, que desde há mais de 15 anos se realiza durante uma semana do mês de agosto em Campo Benfeito. Durante essa semana traz à aldeia várias companhias nacionais e internacionais e centenas de turistas que permanecem na região e vêm celebrar a música e o teatro (Pato, Breda, & Figueiredo, 2015).

Os serões da Serra são uma outra iniciativa da companhia. Trata-se de uma atividade mais alargada no tempo e que chama à aldeia várias companhias teatrais que apresentam os seus espetáculos. Em 2015 por exemplo, a companhia apresentou ao abrigo deste projeto três produções do Teatro do Montemuro - “Memórias Partilhadas”, “Caidos do Céu” e “Como se Fazem as Estrelas” e acolheu mais sete projetos das seguintes companhias Cendrev, Teatro Art Imagem, Teatro O Bando, Jangada Teatro, Companhia de Teatro de Braga, Acert e A Escola da Noite (TRSM, 2016).

<sup>2</sup> A cooperativa de artesanato Capuchinhas de Montemuro é constituída por mulheres da aldeia que se dedicam à produção de peças de vestuário e artigos de decoração para casa. A produção destas peças é essencialmente baseada nos recursos, tradições e modos de vida local.

<sup>3</sup> O que está em parênteses é nosso.

Acresce ainda que, o TRSM acolhe no Espaço Montemuro outras iniciativas de índole social/cultural. Em julho do ano anterior, por exemplo, em articulação com a população foi lançado o ciclo de documentários/ debates alternadores. O primeiro documentário “O Veneno está na mesa”, procurou refletir sobre a utilização de pesticidas na preservação do ambiente e na saúde humana e promover comportamentos mais sustentáveis na aldeia, contribuindo desta forma para o bem-estar da população.

### 3.3 O TRSM & A REVITALIZAÇÃO DEMOGRÁFICA DA ALDEIA

Mercê da dinâmica criada essencialmente pelo TRSM e pela cooperativa de artesanato Capuchinhas do Montemuro, a aldeia conta hoje com mais jovens do que tinha há duas décadas atrás (informação recolhida numa das visitas feitas à aldeia). As pessoas mais idosas vão morrendo, é certo, mas desde há cerca de 15 anos a esta parte as pessoas da aldeia não tem saído, segundo informação dos moradores. Pelo contrário, a aldeia conta hoje com dois casais com idades jovens que vieram viver para a povoação. Um desses casais, de formação académica superior (doutoramento), deixou Lisboa e instalou-se em Campo Benfeito. Hoje o casal têm três crianças que crescem na aldeia.

Ao todo, Campo Benfeito terá cinquenta habitantes, cerca dos quais dezasseis crianças e jovens com idade inferior a 18 anos.

O contributo do TRSM e das Capuchinhas é visível nas palavras do entrevistado:

*“Eu acho sinceramente que foi fundamental para que esta aldeia resistisse à desertificação. A aldeia parou, há cerca de 15 anos a esta parte as pessoas não têm saído, muito pelo contrário. Claro que estamos a falar a uma escala muito pequenina porque a aldeia tem poucos habitantes, mas até houve dois casais que regressaram e que se não existisse o Teatro e as Capuchinhas era impensável, há quem diga... há muita gente que diz isso, se não existisse o teatro e as capuchinhas a aldeia não existiria neste momento”.*

Para além deste facto, os mais velhos vão incutindo nos mais novos o gosto pelo teatro e pelas tradições locais. Este gosto pela arte e pela cultura popular parece estar a ganhar novos e jovens adeptos da aldeia, o que cria uma perspetiva de futuro e continuidade, como referido pelo diretor do teatro:

*“Isso abre uma perspetiva de futuro, e não foi por acaso, houve ali um interregno muito grande, para aí durante 15 anos não*

*nasceu nenhuma criança em Campo Benfeito (...) Mas agora parece haver perspectiva de futuro, e os mais novos já vão seguindo os passos dos mais velhos e trabalhando peças teatrais”.*

### 3.4 O TRSM & O APOIO DO PODER LOCAL

Para que os projetos cresçam e se afirmem é importante o ambiente sociocultural local, que como se demonstrou acima é rico, mas também o apoio institucional local, em particular das associações locais e do próprio município. Sem desprimir de outras instituições que poderão potenciar a arte e a cultura local, frisamos aqui o apoio concedido pela própria Câmara Municipal de Castro Daire, que na opinião do diretor do teatro, tem apoiado a iniciativa:

*“Temos também com a Câmara Municipal um protocolo, que no fundo junta um conjunto de vontades (...) o Teatro do Montemuro, sendo de cá e por vocação e não só, queremos muito fazer, mostrar os nossos trabalhos aqui (...) É fundamental para nós, é onde a gente se sente bem, sem desprimir para os outros, mas a gente gosta muito de apresentar as nossas produções, e a câmara também nos proporciona isso, há um entendimento de ambas as partes”.*

Este sentimento de apreço pelas tradições e valores da terra é também partilhada por um dos representantes da autarquia municipal, como a seguir se transcreve:

*“Temos também um protocolo com o teatro de Montemuro que foi feito com o município cuja perspectiva é a internacionalização do próprio teatro (...) (...) estivemos presente na bolsa de turismo de Lisboa e também na Feira Internacional Ibérica ali na Guarda e todos os eventos ligados a feiras temos por norma chamá-los no sentido de eles divulgarem aquilo que é nosso”.*

## 4 CONCLUSÕES

Os resultados deste estudo têm implicações tanto de natureza teórica, como prática. Do ponto de vista teórico, os resultados reforçam o que alguns estudos (e.g., Hribar, Bole, & Pipan, 2015) têm referido a propósito do contributo do património cultural

para o desenvolvimento regional e rural de um território. Com efeito, tal como referido por Hribar et al. (2015), no caso do Teatro Regional de Montemuro os benefícios do teatro fazem-se sentir não só no plano económico, mas também incluem benefícios sociais, demográficos e ambientais.

Do ponto de vista social, é inegável o contributo desta iniciativa para a revitalização social da aldeia e toda a criação de uma dinâmica sociocultural genuína e singular. Desde há cerca de meio século que são criados na aldeia diferentes festivais de música e teatro que animam a comunidade e trazem vida, visitantes e turistas à aldeia e à região. Recentemente foram criados encontros/tertúlias com o objetivo de discutir questões de âmbito atual que visam o bem-estar e o desenvolvimento dos habitantes da aldeia.

Na esfera demográfica, a pequena povoação rural tem hoje mais pessoas que há duas décadas atrás. Sem dúvida, numa altura em que os meios rurais, sobretudo os mais interiores estão cada vez mais despovoados, este é um facto que merece, no mínimo a nossa atenção. Como referido acima, se não fosse a dinâmica criada pela companhia em articulação com outros projetos da comunidade, de que é exemplo a cooperativa de artesanato “Capuchinhas”, tal não seria possível.

No plano ambiental, graças ao património material (paisagístico) e imaterial, com particular destaque para o histórico-cultural, Campo Benfeito, desde 2005, faz parte da rede de Aldeias de Portugal, o que permitiu a recuperação das ruas e fachadas das casas da aldeia.

Ainda do ponto de vista teórico, este estudo enfatiza igualmente que as pessoas, isto é o capital humano local, é importante na promoção da cultura de um território, particularmente rural. São as pessoas que identificam e reconhecem os valores culturais e os *stakeholders* chave que os incorporam e lhes dão vida (Hribar et al., 2015)

Numa perspetiva mais prática, advogamos que iniciativas como estas devem ser continuamente apoiadas. Para tal é necessário que os decisores políticos e as autoridades locais tenham cada vez mais consciência da riqueza que representa o património cultural local e as suas gentes. Para além deste facto, convém também ter presente que o TRSM está localizado numa das comunidades mais periféricas e interiores do país e que, como tal, não goza das mesmas oportunidades de crescimento que uma companhia localizada num centro urbano litoral. Para tal, deverá ser ponderada a equiparação desta iniciativa a um “bem público” (Moreira, 2011; Pato, 2016).

Este estudo tem naturalmente as suas limitações. Por escassez de tempo não nos foi possível entrevistar outros *stakeholders*, nomeadamente outras entidades locais que diretamente ou indiretamente tem influência na sustentabilidade da iniciativa teatral e os participantes nos espetáculos da companhia. Em termos de pesquisas futuras, seria

por isso interessante investigar o posicionamento de outros *stakeholders* em relação à companhia teatral e ao mesmo tempo dos participantes (sobretudo não locais) nos eventos culturais da companhia.

## 5 AGRADECIMENTOS

Este trabalho é financiado por Fundos Nacionais através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia, I.P., no âmbito do projeto Refª UIDB/00681/2020. Agradecemos adicionalmente ao Centro de Investigação CERNAS e ao Instituto Politécnico de Viseu pelo apoio concedido.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALAN, M., & VASILE, V. (2015). **Cultural Determinants of Economic Performance in Romania.** *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 188, 290-296.

BOLE, D., PIPAN, P., & KOMAC, B. (2013). **Cultural values and sustainable rural development: A brief introduction.** *Acta geographica Slovenica*, 53(2), 367-370.

DÜMCKE, C., & GNEDOVSKY, M. (2013). **The social and economic value of cultural heritage: literature review.** *EENC paper*, 1-114.

GREFFE, X., PFLIEGER, S., & NOYA, A. (2005). **Culture and local development.** Paris: OECD Publishing.

HRIBAR, M. S., BOLE, D., & PIPAN, P. (2015). **Sustainable Heritage Management: Social, Economic and Other Potentials of Culture in Local Development.** *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 188, 103-110.

MOREIRA, M. B. (2011). **Inovação e empreendedorismo em zonas rurais desfavorecidas.** In E. Figueiredo (Ed.), *Rural Plural* (pp. 385-396). Castro Verde: 100Luz.

PATO, L. (2016). **Rural entrepreneurship and institutional assistance: the case study of Campo Benfeito in Montemuro Region.** In M. F. L. Oliveira and M. L. S. Carvalho (Eds.), *Políticas Públicas para a Agricultura Pós 2020 - Atas do ESADR 2016* (pp. 369-383): Associação Portuguesa de Economia Agrária.

PATO, L., BREDÁ, Z., & FIGUEIREDO, V. (2015). **Women´s entrepreneurship and local sustainability: the case study of a portuguese rural initiative.** *Journal of Tourism & Development*, 23, 119-128.

REBELO, J., CORREIA, L., & CRISTÓVÃO, A. (2007). **Redes culturais e desenvolvimento local: a experiência da comum.** *Revista Portuguesa de Estudos Regionais*(15), 21-40.

SANTANA, M. O. R. (2016). **Campo Benfeito: uma aldeia de Montemuro - enquadramento geográfico e percurso histórico.** Porto: Estratégia.

TRSM. (2016). **Teatro Regional da Serra do Montemuro.** Acedido a partir de <http://www.teatromontemuro.com/>

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

*Data de submissão: 05/02/2021*

*Data de aceite: 24/02/2021*

**Orlando Simões**

CERNAS - Research Center for  
Natural Resources,  
Environment and Society,  
Instituto Politécnico de Coimbra, Portugal  
orlando@esac.pt  
<https://orcid.org/0000-0002-6416-494X>

**Isabel Dinis**

CERNAS - Research Center for  
Natural Resources,  
Environment and Society,  
Instituto Politécnico de Coimbra, Portugal  
<https://orcid.org/0000-0003-3948-3727>

**Rui Gomes**

CERNAS - Research Center for  
Natural Resources,  
Environment and Society,  
Instituto Politécnico de Coimbra, Portugal

**ABSTRACT:** The aims of this study are to identify the profile and motivations of the tourists that visit “Picos de Europa” and to estimate the economic value that society attaches to the recreational use of this park. To achieve these goals, a

survey to visitors was carried out at one of the main gates of the National Park. A set of questions was made regarding socio-demographic characteristics of the visitors, characteristics of the visit to the park, with special relevance to costs and motivations, preferences for different types of services and satisfaction with several aspects of the visit and touristic experiences. Descriptive statistics were used to characterize the visitors, their motivations and satisfaction. To assess the value that people assign to “Picos de Europa” region, a travel cost model was estimated. Despite some limitations related to the number of responses obtained and the period of data collection, we could find a set of relevant results. A main conclusion is that the tourists visit “Picos de Europa” mainly by its natural heritage, in detriment of cultural aspects. Regarding the profile of tourists, we concluded they are mainly Spanish, traveling as a family, looking for small accommodations in hotels or local accommodation and seeking for contact with nature and mountain landscapes, silence and rest. Altogether, these results allow to classify this type of tourists as “soft nature tourism”, in the sense that they prefer experiences and activities not very demanding on hard physical skills. Based on the travel cost assessment we conclude that, as expected, the number of annual visits was negatively related with the



travel costs and that the value assigned by the society to “Picos de Europa” account to 0,08% of the GDP of Spain. These results allow a deeper understanding of the motivations of tourists who travel to the region, which may allow a better structuring of the tourism, and provide valuable management information to support decision making about the protection and conservation policies for the park.

**KEYWORDS:** “Picos de Europa”. Natural environment. Active tourism. Heritage. Travel Cost Method.

## MOTIVAÇÕES DOS TURISTAS QUE VISITAM O PARQUE NACIONAL “PICOS DE EUROPA”

**RESUMO:** Os objetivos deste estudo são identificar o perfil e as motivações dos turistas que visitam os “Picos de Europa” e estimar o valor económico que a sociedade atribui à utilização recreativa deste Parque Nacional. Para atingir estes objetivos foi realizado um inquérito a visitantes, numa das principais entradas do Parque. Foi feito um conjunto de perguntas relativas às características sociodemográficas dos visitantes, características da visita ao Parque, com especial relevo para os custos e motivações, preferências por diferentes tipos de serviços e satisfação com vários aspetos da visita e experiências turísticas. Foram utilizadas variáveis de estatística descritiva para caracterizar os visitantes, suas motivações e satisfação. Para avaliar o valor que as pessoas atribuem à região “Picos de Europa”, foi estimado um modelo de custos de viagem. Apesar de algumas limitações relacionadas com o número de respostas obtidas e o período de recolha de dados, foi possível encontrar um conjunto de resultados relevantes. Uma conclusão principal é que os turistas visitam “Picos de Europa” principalmente pelo seu património natural, em detrimento dos aspetos culturais. Quanto ao perfil dos turistas, concluímos que são principalmente espanhóis, viajando em família, procurando pequenos alojamentos em hotéis ou alojamentos locais e procurando contacto com a natureza e paisagens de montanha, silêncio e descanso. No seu conjunto, estes resultados permitem classificar este tipo de turistas como “turismo de natureza suave”, no sentido em que preferem experiências e atividades pouco exigentes em termos de capacidades físicas. Com base na avaliação dos custos de viagem, concluímos que, como esperado, o número de visitas anuais estava negativamente relacionado com os custos de viagem e que o valor atribuído pela sociedade aos “Picos de Europa” representa 0,08% do PIB de Espanha. Estes resultados permitem uma compreensão mais profunda das motivações dos turistas que viajam para a região, o que pode permitir uma melhor estruturação do turismo, e fornecer informações de gestão valiosas para apoiar a tomada de decisões sobre as políticas de proteção e conservação do Parque.

**PALAVRAS- CHAVE:** “Picos de Europa”. Ambiente natural. Turismo ativo. Patrimônio Natural . Modelos de custos de viagem.

## 1 INTRODUCTION

The concept of national park involves not only the preservation of natural ecosystems, more or less modified by man, but also the cultural aspects resulting from the human occupation of the territory. Many of these protected natural ecosystems are located in mountain areas. In parallel to the conservation purposes, and due to recent changes on the touristic demand towards nature and cultural heritage, these preserved natural ecosystems become also a valued touristic resource. Mountain tourism, in particular, became very popular due to its landscape features and diversity of activities, such as mountaineering, tracking, rock climbing, etc. Understanding tourist's motivations and their evaluation of the touristic resources becomes essential for the sustainable management of these territories.

The National Park “Picos de Europa” (NPPE), in Asturias, Spain, was created in 1918, being the first in Europe and the second in the world, after the park of Yellowstone, USA, created in 1872. Recently, this region has been highly visited by tourists, mainly due to its natural and cultural beauties.

The aims of this study are to identify the profile and motivations of the tourists that visit “Picos de Europa” and to estimate the economic value that society attaches to the recreational use of this park. For this, section 2 presents the methodology applied in the study, in section 3 the results obtained are shown and, in section 4, the main limitations and conclusions achieved by the study are presented.

## 2 METHODOLOGY

To achieve the goals of the study, a survey to visitors was carried out at one of the main gates of the National Park, in the eastern part of Asturias, where the bulk of the most visited places are located, such as Covadonga, Lagos de Covadonga and Cangas de Onís.

A set of questions was made regarding socio-demographic characteristics of the visitors, characteristics of the visit to the park, with special relevance to costs and motivations, preferences for different types of services and satisfaction with several aspects of the visit and touristic experiences.

The questionnaires were carried out during the months of November and December 2016. The questions were directly made to the tourists by the inquirer, at random, and 201 surveys were validated.

Descriptive statistics were used to characterize the visitors, their motivations and satisfaction. To assess the value that people assign to “Picos de Europa” region, a travel cost model was estimated.

The “travel cost” is determined by the time and expenses that people spend to visit a place, deducing the “price” of access to that place (Ortiz, 2000). Thus, people's

willingness to pay to visit the site can be estimated based on the relationship between the number of trips they make to the site and their travel costs (Ward, 2000). This is similar to estimating the willingness of people to pay for a well-marketed good, based on the quantity sought at different prices.

Among the various ways of approaching travel costs (EMA, sd), the Individual Travel Cost Method (ITCM) approach was chosen because it is the most appropriate, since it takes into account the inherent variation in the data set and can be estimated using a smaller number of observations. In addition, ITCM is a flexible method, can be applied in a wide range of places and, at the same time, allows the extraction of valuable information about visitors' characteristics, preferences and behaviors (Chowdbury, 2014).

Based on this methodology, a model was constructed that relates the number of visits (in the last year, before the survey) to the region of the “Picos de Europa” (V), with the cost of travel (CV) and other variables that help explain the demand for “Picos de Europa”, according to expression (1).

$$V = \alpha_0 + \alpha_1 TC + \alpha_2 CA + \alpha_3 FI + \alpha_4 ED + \alpha_5 GEN + \alpha_6 Age + \alpha_7 TT + \alpha_8 TA + \alpha_9 TRA + \alpha_{10} Day \quad (1)$$

Based on this model, and considering the dependent variable (V), we can represent the demand as the individual frequency of annual visits to the “Picos de Europa”. A more detailed description of the explanatory variables used is presented in table 1. The analysis, treatment and interpretation of the data was done by statistical methods, using Stata 13 and Excel 2010 software.

Table 1. Variables and their description

| Variable Name                |                       | Description   | Variable Type |
|------------------------------|-----------------------|---|---------------|
| <b>Dependent variable</b>    |                       |   |               |
| V                            | Visits to NPPE        | Number of visits in last year to “Picos de Europa”                      | Continuous    |
| <b>Explanatory variables</b> |                       |   |               |
| TC                           | Travel cost           | Cost of the accommodation + cost of transport (€)                       | Continuous    |
| CA                           | Cost of alternatives  | Cost of transport for the alternatives: Pyrenees; Sierra Nevada; Alps   | Continuous    |
| FI                           | Family income         | Low (<1000); medium (1000-2000); high (> 2000) (€)                      | Categorical   |
| ED                           | Education             | Primary school; Secondary; Graduation; Master; PhD                      | Categorical   |
| GEN                          | Gender                | 0 = male; 1 = female.   | Dichotomous   |
| Age                          | Age                   | Years of life   | Continuous    |
| TT                           | Type of travel        | Individual; couples; family; in groups                                  | Categorical   |
| TA                           | Type of accommodation | Parador; Hostel; Camping; Village House; Hotel; Private House; Own home | Categorical   |
| TRA                          | Means of transport    | Car; Bus; Train; Airplane; Caravan                                      | Categorical   |
| Day                          | Stay                  | Number of days of stay in the NPPE region                               | Continuous    |

### 3 RESULTS

The tourists surveyed were mostly males (69%), with an average age of 35 and a high educational level, since 73% had higher education qualifications. Spanish tourists predominate, with the main places of origin being the region of Madrid (28%), followed by the Basque Country and Asturias, both with 11%, and León and Castile with 9.5%. The “Picos de Europa” visitors travelled mainly with their pair (53,7%), with some preference for family travel (25,8%), or with friends (18%) and very rarely alone (2,5%). The private car is the most used means of transport (87,4%), with buses being the second option, but only in 6.8% of cases

The tourists stayed on average 4 days in the region, preferably staying at an Hotel (42%), Village House (19%) or Private House (18%). In the choice of accommodation, tourists are mainly influenced by the price (32%) and by the convenience or quality of the service (32%), being also important the tranquillity and the connection of accommodation to nature (15%).

Most tourists have or have had regular contacts with the rural way of life (73%), although most (61%) do not live or have ever lived in the countryside.

With regard to the motivations that lead tourists to the “Picos de Europa”, simple rest can be a good reason (19%), much more than active tourism, such as Pedestrianism (4,9%). But it is especially the connection with Nature and the natural beauties that arouse its interest, namely the opportunity to visit mountains and natural areas (24%), as well as the observation of the landscape (19%). There are few visitors and tourists who seek the “Picos de Europa” to experience cultural traditions (4,9%) or visit historical sites (4,5%).

As with the demand for any good, the price (in this case represented by the cost of travel) is not the only determinant of the quantity sought. Other factors, such as income or consumer preferences, may lead to shifting the demand curve. In order to understand the factors that may have this effect on the NPPE demand curve, the model described in the methodology (1) was estimated. The results are presented in table 2.

Assuming the mean observed values for all the continuous variables and 0 or 1 to dichotomous and categorical variables (according to the more frequent value observed), a function (2) which relates the number of times each tourist annually visits the site ( $v$ ), with its travel cost (TC) was estimated.

$$v = -0,0020925TC + 2,03513 \quad (2)$$

By replacing TC by price (P) we get the individual demand curve to the NPPE. Assuming that the sample is representative, the individual demand can be extrapolated to all visits, which are estimated at 1845 thousand per year (Estefania, 2016). From

expression (2), the number of visits for the region as a whole (V) is given by the following expression (3):

$$V = -1897,0 P + 1845000 \quad (3)$$

Table 2. Estimation results

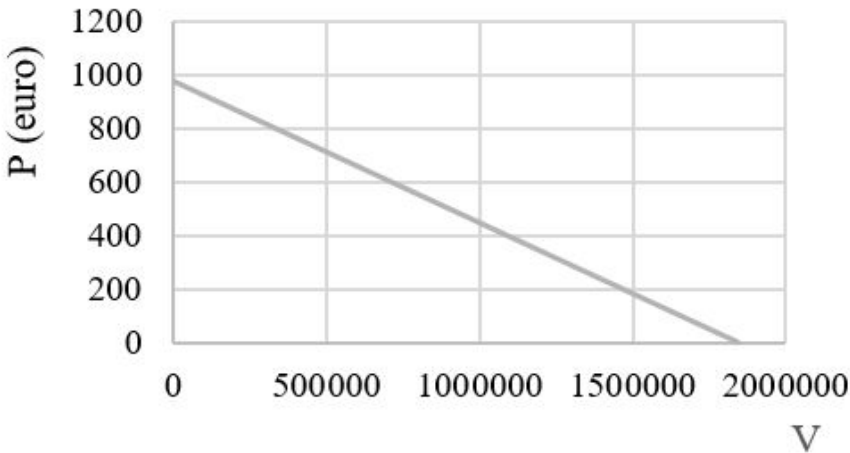
| Variable        | Coeficiente | P>  t | Variable         | Coeficiente | P>  t | Variable        | Coeficiente | P>  t |
|-----------------|-------------|-------|------------------|-------------|-------|-----------------|-------------|-------|
| <b>TC</b>       | -0,0020925  | 0,052 | <b>ED sec</b>    | 0,3429528   | 0,562 | <b>TT group</b> | 0,4763437   | 0,062 |
| <b>CA Pir</b>   | 0,0042907   | 0,507 | <b>ED grad</b>   | 0,312942    | 0,592 | <b>TA Own</b>   | 0,700974    | 0,022 |
| <b>CA Nev</b>   | -0,0013224  | 0,780 | <b>ED master</b> | 0,0914953   | 0,874 | <b>TRA Car</b>  | 0,2578446   | 0,323 |
| <b>CA Alp</b>   | -0,0004438  | 0,919 | <b>ED PhD</b>    | 0,1187458   | 0,875 | <b>Day</b>      | 0,0153468   | 0,632 |
| <b>INC low</b>  | -0,271037   | 0,185 | <b>GEN</b>       | -0,0730554  | 0,677 | <b>Constant</b> | 1,073884    | 0,305 |
| <b>INC high</b> | -0,0817443  | 0,754 | <b>Age</b>       | 0,0098933   | 0,253 |                 |             |       |

By graphing function (3), it is possible to determine the *Consumer Surplus* generated by the use of the park (Graphic 1). Taking into account that the price paid by tourists to visit the NPPE is zero, the value of the *Consumer Surplus* (CS) will be given by the area of the triangle formed by the demand curve (diagonally), the P axis and the V axis, that is (4):

$$CS = 1845000 * 972,6 / 2 = 897720857 \text{ €} \quad (4)$$

This is the total value society attaches to the “Picos de Europa”. As the GDP of Spain in 2016 was 1 113 851 million euros (PORDATA, 2017), “Picos de Europa” represent a value of 0,08% of the GDP of Spain, which is quite significant.

Graphic 1. Demand curve



The results of the model are in line with the theory underlying the travel cost method, showing a negative relation between the cost of travel and the number of visits,

that is, the higher the cost, the lower the number of trips. In addition to travel cost, the variables related to the types of travel and the accommodation used during the stay in “Picos de Europa” revealed statistical significance ( $p\text{-value} < 0.1$ ). The results suggest that, while keeping everything else constant, group travellers (TT group) tend to go more often to the “Picos de Europa” region (positive coefficient). In relation to housing, the positive coefficient (0,701) of the variable “TA Own” shows that the fact that the visitor owns a house in the place also influences the number of visits. Those who own their house go to the “Picos de Europa” region more often, in fact 0,7 times more. All other variables analysed do not present statistical significance.

## 4 CONCLUSIONS

A main conclusion of the study is that the tourists visit “Picos de Europa” mainly by its natural heritage, in detriment of cultural aspects, even though we are in the region where the *Christian Reconquista* of the Iberian Peninsula began, in the 8th century (Covadonga). In fact, only 9,4% of the tourists look for cultural traditions or historical sites (4,5%).

Another conclusion is the low interest of surveyed tourists in pedestrianism and adventure sports. However, knowing the considerable number of companies in the region working in these areas, this evaluation may be a reflection of the time of the surveys (November / December) and because they are very seasonal, with higher incidence in spring / summer. In pedestrianism, in particular, another factor for the relatively low values found may be due to the location of the surveys (Covadonga, western Asturias). In other entries of the “Picos de Europa” (for example in the area of Caín and Poncebos that is the place where the famous Ruta del Cares begins), possibly the results of the pedestrianism as “reason of the trip” could be different.

Regarding the profile of tourists, we concluded they are mainly Spanish, traveling as a family, looking for small accommodations in hotels or local accommodation and seeking for contact with nature and mountain landscapes, silence and rest. Several of these results are compatible with other studies conducted in the region (SITA, 2009; SITA, 2015). Altogether, these results allow the classification of this type of tourists as “soft nature tourism”, in the sense that they prefer experiences and activities not very demanding on hard physical skills.

Based on the travel cost assessment we conclude that, as expected, the number of annual visits was negatively related with the travel costs. In other words, as travel costs increase, the number of annual visits decreases, as in Cañete (2013). In addition to the travel cost, the variables related to the types of travel and accommodation used during the

stay in the “Picos de Europa” have revealed statistical significance. The results suggest that, while keeping everything else constant, those who travel in groups or have their own home in the region tend to go more often each year to the “Picos de Europa” region.

It would also be expected that the remaining explanatory variables would have the effect of shifting the demand curve up or down, affecting Consumer Surplus. However, the lack of statistical significance associated with the remaining variables did not allow us to draw this conclusion.

Finally, assuming the representativeness of the sample, the results allowed to estimate that the value assigned to the “Picos de Europa” account to 0,08% of the GDP of Spain, which is quite significant.

For future investigations, it is suggested to extend the period of analysis to other periods of the year, such as summer, for example, as well as to inquiry into other points of entry to the NPPE. The increase in the number of inquiries would also contribute to a better characterization of the motivations of tourists to visit “Picos de Europa”.

## BIBLIOGRAPHY

Cañete (2013). Valuation of the recreational use of the Calares del Mundo and Sima Natural Park through the travel cost method. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos. Universidad de Castilla-La Mancha.

Chowdbury, M. (2014). Estimating Recreational Benefits of Dhaka Zoo: Na Individual Travel Cost Approach. CreateSpace Publishing.

EMA (s.d). Economia do Meio Ambiente. Retrieved Jan. 20, 2017 from <http://www.economiadomeioambiente.com.br/servi%C3%A7os/valora%C3%A7%C3%A3o-economica-do-meio-ambiente/metodo-do-custo-de-viagem>

Estefania (2016). “Picos de Europa” registra un aumento de visitantes. Retrieved Feb. 7, 2017 from <http://www.lanuevacronica.com/picos-de-europa-registra-un-aumento-de-visitantes-del-1457-entre-2010-y-2015>

Ortiz, R. A., Seroa da Motta, R., Ferraz, C. (2000). A estimação do valor ambiental do Parque Nacional do Iguaçu através do método de custo de viagem. Pesquisa e Planejamento Econômico. Retrieved Feb. 18, 2017 from [http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/5947/1/PPE\\_v30\\_n03\\_Estimacao.pdf](http://repositorio.ipea.gov.br/bitstream/11058/5947/1/PPE_v30_n03_Estimacao.pdf)

PORDATA (2017). Produto Interno Bruto (Euro) – Retrieved Jun. 7, 2017 from [http://www.pordata.pt/Europa/Produto+Interno+Bruto+\(Euro\)-1786](http://www.pordata.pt/Europa/Produto+Interno+Bruto+(Euro)-1786)

SITA, Sistema de Información Turística de Asturias (2009). Análisis del turismo de alojamiento colectivo según el medio de transporte para venir a Asturias. Retrieved May 1, 2017 from [http://www.sita.org/documentos\\_pdf/I-M\(Trans\)-09\\_web.pdf](http://www.sita.org/documentos_pdf/I-M(Trans)-09_web.pdf)

SITA, Sistema de Información Turística de Asturias (2015). El turismo en Asturias. Retrieved Jan. 20, 2017 from [https://www.asturias.es/Asturias/descargas/PDF\\_TEMAS/Turismo/coyuntura/memoria\\_2015.pdf](https://www.asturias.es/Asturias/descargas/PDF_TEMAS/Turismo/coyuntura/memoria_2015.pdf)

Ward, F. (2000). Valuing Nature with Travel Cost Models. Edward Elgar, Cheltenham.

# CAPÍTULO 24

## ATIVIDADES COMO BOLSISTA DE COOPERAÇÃO TÉCNICA NO JARDIM BOTÂNICO DO RECIFE

Data de submissão: 05/02/2021

Data de aceite: 24/02/2021

### **Brendo Ramonn Coutinho Paes**

Instituto Federal de Pernambuco -  
Campus Vitória de Santo Antão,  
Faculdade de Agronomia  
Recife - Pernambuco

<http://lattes.cnpq.br/5595455412830529>

### **Bruno Leal Viana**

Universidade Federal Rural de Pernambuco -  
Campus Recife,  
Faculdade de Agronomia  
Recife - Pernambuco

<http://lattes.cnpq.br/0723462342997914>

### **Adalberto Francisco da Silva Júnior**

Universidade Federal Rural de Pernambuco -  
Campus Recife,  
Faculdade de Agronomia  
São Vicente Férrer - Pernambuco

<http://lattes.cnpq.br/1120845808545915>

### **Eduarda Maria Ribeiro dos Santos**

Instituto Federal de Pernambuco -  
Campus Vitória de Santo Antão,  
Faculdade de Agronomia  
Vitória de Santo Antão - Pernambuco  
<http://lattes.cnpq.br/1175341708320947>

### **Elmir Bezerra de Lima**

Instituto Federal de Pernambuco -  
Campus Vitória de Santo Antão,  
Faculdade de Agronomia  
Araçoiaba - Pernambuco

<http://lattes.cnpq.br/3427325405531527>

### **Karina de Macena Silva**

Instituto Federal de Pernambuco -  
Campus Vitória de Santo Antão,  
Faculdade de Agronomia  
Vitória de Santo Antão - Pernambuco

<http://lattes.cnpq.br/4820354234548291>

### **Maria Isabela Carvalho dos Santos Lima**

Instituto Federal de Pernambuco -  
Campus Vitória de Santo Antão,  
Faculdade de Agronomia  
Pombos - Pernambuco

<http://lattes.cnpq.br/7720343308445798>

**RESUMO:** O Jardim Botânico do Recife (JBR) está situado num fragmento da Mata Atlântica, sendo um espaço público municipal que pertence à Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Recife. Ele dispõe de sete jardins temáticos: cactos, bromélias, orquídeas, palmeiras, plantas medicinais, sensorial e plantas tropicais, além de uma arena arbo, anfiteatro, biblioteca, espaço de lazer e contemplação onde são desenvolvidas atividades de educação ambiental. Além destes espaços, ele abriga um corpo técnico



formado por pesquisadores e bolsistas que executam atividades de pesquisa voltadas à botânica, restauração florestal e conservação da biodiversidade da Mata Atlântica. Dessa forma, o objetivo deste relato de experiência é abordar um pouco das atividades desenvolvidas como bolsista de cooperação técnica, em suas três vertentes: educação ambiental, conservação e pesquisa, no JBR.

**PALAVRAS-CHAVE:** Educação ambiental. Conservação. Pesquisa. JBR.

## ACTIVITIES AS A TECHNICAL COOPERATION FELLOW IN THE BOTANICAL GARDEN OF RECIFE

**ABSTRACT:** The Botanical Garden of Recife (BGR) is located in a fragment of the Atlantic Forest, being a municipal public space that belongs to the Secretariat of Environment and Sustainability of Recife. It has seven thematic gardens: cacti, bromeliads, orchids, palm trees, medicinal plants, sensory and tropical plants, as well as an amphitheater, library, leisure and contemplation space where environmental education activities are developed. In addition to these spaces, it houses a technical staff formed by researchers and scholarship holders who carry out research activities focused on botany, forest restoration and conservation of the biodiversity of the Atlantic Forest. Thus, the objective of this experience report is to address a little of the activities developed as a technical cooperation scholarship holder, in its three aspects: environmental education, conservation and research, at BGR.

**KEYWORDS:** Environmental education. Conservation. Search. BGR.

## 1 INTRODUÇÃO

Os Jardins Botânicos de todo o mundo buscam, em seu cotidiano, criar e estabelecer estratégias que visem à proteção do mundo natural, atualmente tão degradado e desrespeitado. Valorizar e compreender a importância desses espaços é fundamental, pois estão diretamente ligados com a melhoria da qualidade de vida da população. A finalidade principal dos Jardins Botânicos é preservar e conservar a biodiversidade para que as gerações futuras possam desfrutar de todos os benefícios que a natureza proporciona, mantendo, dessa forma, a garantia da sobrevivência humana. Segundo Capra (2002), o que fazemos contra a natureza humana fazemos contra nós mesmos, uma vez que todos fazem parte de um mesmo sistema.

O Jardim Botânico do Recife (JBR) foi criado através do Decreto 11.341 de 1º de agosto de 1979, a partir da reformulação do Parque Zoobotânico do Curado que fazia parte da mata do antigo Instituto de Pesquisa Agropecuária do Nordeste (IPEANE). O espaço está inserido num fragmento de Mata Atlântica de aproximadamente 11 ha. onde se encontra vinculado à Secretaria de Meio Ambiente e Sustentabilidade da Prefeitura do Recife e está localizado na BR-232, km 7,5, no bairro do Curado.

Atualmente, o JBR se enquadra na categoria A, sendo um dos cinco melhores do país. Apresenta estruturas como o viveiro florestal, a casa de vegetação, a área de telado, além de coleções de bromélias, orquídeas, cactos e os jardins de plantas medicinais, de palmeiras e o sensorial, sendo um ambiente desenvolvido para atividades de pesquisas científicas, conservação e educação ambiental, realizadas pelos bolsistas e seus respectivos orientadores, contribuindo para uma melhoria da qualidade de vida pela disseminação do conhecimento. Relato de Experiência – Atividades realizadas pelo bolsista.

As atividades são desenvolvidas pelo bolsista em três áreas:

### **1. Educação Ambiental**

Processo em que se busca despertar a preocupação individual e coletiva para a questão ambiental, garantindo o acesso à informação em linguagem adequada, contribuindo para o desenvolvimento de uma consciência crítica e estimulando o enfrentamento das questões ambientais e sociais. Desenvolve-se num contexto de complexidade, procurando trabalhar não apenas a mudança cultural, mas também a transformação social, assumindo a crise ambiental como uma questão ética e política. (MOUSINHO, 2003).

As práticas de educação ambiental realizadas pelo bolsista têm, de forma geral, o objetivo de ampliar os conhecimentos dos visitantes sobre variados aspectos do Meio Ambiente e de sua interação humana com ele, envolvendo desde a importância da conservação de espécies nativas até ao valor das pesquisas florestais, passando por tópicos como “Água”, “Energias renováveis” e “Uso consciente da tecnologia” para despertar nos visitantes a sua importância como agente transformador do ecossistema.

Imagem1: Atividade de Educação Ambiental.



Fonte: Própria

Esta atividade é dividida em três etapas: a primeira é abordar na área calçada do jardim sobre sua estrutura, coleções de espécies (bromélias, cactos e orquídeas) e os jardins temáticos; a segunda etapa acontece dentro do fragmento da Mata Atlântica, observando a natureza e as espécies nativas e exóticas e a terceira etapa é no Núcleo de Educação Ambiental (NEA), passando um ou dois vídeos sobre a temática da preservação ambiental e sustentabilidade com o intuito de conscientizar o visitante sobre seu papel no meio ambiente.

## 2. Conservação Ambiental

A bolsa de cooperação técnica também envolve a atividade de conservação das espécies no JBR. O bolsista realiza diariamente a manutenção e organização dos espaços de desenvolvimento de mudas, dentre esses espaços, três se destacam:

Casa de vegetação, onde são desenvolvidas as etapas iniciais das espécies, como o plantio das sementes em bandejas, o aparecimento das primeiras plântulas e a repicagem para porta-mudas.

Área de telado, onde o trabalho é realizado com indivíduos transplantados da casa de vegetação, que possuem certa sensibilidade à luz e/ou possuem um crescimento mais lento, quando atingem um porte mais robusto, são colocados na área do viveiro, onde recebem sol pleno.

Viveiro florestal, área onde são acomodadas as plantas de porte mais elevado, de maior resistência à luz e/ou a menores umidades até que alcancem aproximadamente dois metros de altura e sejam destinadas para doação ou plantio.

Imagem 2: Atividade de Conservação Ambiental.



Fonte: Própria

### 3. Pesquisa Científica

No campo da pesquisa, foi implantado pelo bolsista um experimento relacionado à biometria e métodos para quebra de dormência de sementes de *Xylopia frutescens* (embrá-vermelha), realizado na casa de vegetação do JBR, que resultou, após análise dos resultados, em nota técnica, pois os tratamentos utilizados com areia lavada e composto orgânico não obtiveram resultados na germinação da espécie, mesmo seguindo todos os métodos utilizados.

Imagem 3: Atividade de Pesquisa.



Fonte: Própria

O bolsista também realizou uma pesquisa, no seu segundo ano de bolsa, onde analisou a viabilidade da propagação vegetativa de passifloras submetidas a diferentes substratos, a qual resultou em artigo científico e será publicada na revista do Jardim Botânico do Recife.

Tudo isso resultou em apresentações em congressos internacionais, semana nacional de ciência e tecnologia e participação em eventos regionais com apresentação no formato de resumo expandido.



Imagem 4: Atividade de pesquisa com passifloras.



Fonte: Própria

## 2 CONSIDERAÇÕES

Desta forma, o Jardim Botânico do Recife promove a vivência do bolsista nas mais variadas áreas que ele dispõe, desde o contato com o público nas monitorias até a pesquisa científica, tudo isso promovido pela Facepe (Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco), que é o órgão fornecedor das bolsas de cooperação técnica e que acompanha as atividades realizadas mensalmente e ao final da bolsa com um relatório final, podendo ser renovado o contrato com o bolsista por mais 1 ano, no qual o estagiário estará desenvolvendo novas atividades de pesquisa, monitoria e conservação, além de participar de eventos como a Semana Nacional de Ciência e Tecnologia, a qual tem o apoio do CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) para sua realização no Jardim Botânico, garantindo maior visibilidade no campo de pesquisa da instituição e promovendo aos bolsistas uma maior interação com o ensino científico.

## REFERÊNCIAS

CAPRA, F. **The Hidden Connections**. London: Flamingo, Harper Collins, 2002.

MOUSINHO, P. Glossário. In: Trigueiro, A. (Coord.) **Meio ambiente no século 21**. Rio de Janeiro: Sextante. 2003.

## CAPÍTULO 25

### REUTILIZACIÓN DE RESIDUOS AGRÍCOLAS COMO ADSORBENTES DE BAJO COSTO PARA TRATAMIENTO DE AGUAS Y EFLUENTES<sup>1</sup>

Data de submissão: 05/02/2021

Data de aceite: 22/02/2021

**Andrea Beatriz Saralegui**

Universidad de Buenos Aires,  
Facultad de Ingeniería,  
Laboratorio de Química de Sistemas  
Heterogéneos,  
Paseo Colón 850, 5to piso  
Ciudad de Buenos Aires, C1063ADL,  
Argentina  
<https://orcid.org/0000-0002-9436-6761>

**Néstor Caracciolo**

Universidad de Buenos Aires,  
Facultad de Ingeniería,  
Laboratorio de Química de Sistemas  
Heterogéneos,  
Paseo Colón 850, 5to piso  
Ciudad de Buenos Aires, C1063ADL,  
Argentina  
<https://orcid.org/0000-0003-3312-7078>

**Susana Patricia Boeykens**

Universidad de Buenos Aires,  
Facultad de Ingeniería,  
Laboratorio de Química de Sistemas  
Heterogéneos,  
Paseo Colón 850, 5to piso  
Ciudad de Buenos Aires, C1063ADL,  
Argentina  
<https://orcid.org/0000-0003-2138-3840>

**María Natalia Piol**

Universidad de Buenos Aires,  
Facultad de Ingeniería,  
Laboratorio de Química de Sistemas  
Heterogéneos,  
Paseo Colón 850, 5to piso  
Ciudad de Buenos Aires, C1063ADL,  
Argentina  
<https://orcid.org/0000-0002-9755-8494>

Contacto: [laquisihe@fi.uba.ar](mailto:laquisihe@fi.uba.ar)

**RESUMEN:** El reingreso de lo que se consideran residuos al sistema productivo es uno de los puntos de partida del presente trabajo. Los sistemas de tratamiento de efluentes suelen ser costosos y por lo tanto poco factibles de aplicación en las industrias, ya que solo redundan en una ventaja ambiental. Así, la búsqueda de alternativas de bajo costo para la remoción de contaminantes es un claro objetivo a seguir para mejorar la factibilidad de aplicación de los sistemas de

<sup>1</sup> Este trabajo se financió con proyectos de la Universidad de Buenos Aires (UBACyT 2020 N°20020190100323BA y N°20020190200302BA y PDE 2020 N°032), y se realizó en las instalaciones de la Facultad de Ingeniería.

tratamiento a procesos industriales y para el tratamiento de agua en comunidades de bajos recursos. La aceptación y aplicación de un sistema de tratamiento implicaría una disminución directa en los efectos ambientales provocados por las industrias. Para lograrlo, es necesario un sistema eficiente, de sencilla implementación, bajo mantenimiento y bajo costo. Este sistema ideal requiere el empleo de nuevos materiales entre los cuales los distintos agro-residuos pueden ser una gran fuente de recursos. En este trabajo se estudia la eficiencia de residuos de la industria agroalimentaria para ser reutilizados como adsorbentes en la remoción de contaminantes tales como cromo y plomo. Se caracterizaron los materiales adsorbentes y se determinó el porcentaje de adsorción, es decir, la cantidad de material adsorbido por unidad de masa de sorbente y la concentración de la solución remanente.

**PALABRAS CLAVE:** Contaminación con cromo y plomo. Adsorbentes de bajo costo. Agro-residuos.

## REUSE OF AGRO-WASTE AS LOW-COST ADSORBENTS FOR WATER TREATMENT

**ABSTRACT:** The re-entry of what is considered waste to the production system is one of the starting points of this work. Effluent treatment systems are often expensive and therefore not very feasible to apply in industries, since they only result in an environmental advantage. Thus, the search for low-cost alternatives for the removal of contaminants is a clear objective to follow to improve the feasibility of applying treatment systems to industrial processes and for water treatment in low-income communities. The acceptance and application of a treatment system would imply a direct decrease in the environmental effects caused by the industries. To achieve this, an efficient system is necessary, easy to implement, low maintenance and low cost. This ideal system requires the use of new materials among which the different agro-residues can be a great source of resources. In this work the efficiency of waste from the agro-food industry is studied to be reused as adsorbents in the removal of heavy metals such as chromate and lead. The percentage of adsorption, the amount of material adsorbed per unit mass of sorbent and the concentration of the remaining solution are determined.

**KEYWORDS:** Chromium and lead contamination. Low-cost remediation adsorbent. Agro-waste.

## 1 INTRODUCCIÓN

La disponibilidad de agua limpia es fundamental para mantener un ecosistema saludable. Sin embargo, si bien la demanda mundial de agua aumenta cada año, este recurso se está deteriorando principalmente debido a las actividades antropogénicas, el crecimiento de la población, la urbanización no planificada, la rápida industrialización y la utilización no calificada de los recursos hídricos naturales. La mayor conciencia de la importancia de proporcionar estrategias ambientales ha empujado a la comunidad



científica hacia el desarrollo de procesos económicamente viables y amigables con el medio ambiente, capaces de eliminar contaminantes del agua y al mismo tiempo proteger la salud de las poblaciones afectadas. En los países en desarrollo, el impacto del aumento de la contaminación es particularmente problemático porque estas poblaciones no tienen los recursos para su tratamiento efectivo o el acceso a sistemas de suministro de agua potable para sus hogares (UN-Water, 2018).

El tratamiento de aguas residuales antes de su vuelco requiere tecnologías económicamente viables. Estos sistemas por lo general tienen variada composición, diferente pH y temperatura. Entre los contaminantes presentes puede haber moléculas, cationes y aniones, orgánicos e inorgánicos, con efectos tóxicos o dañinos sobre los ecosistemas (Liu et al. 2019; Delgado et al., 2019; Branzini, 2012; Cartaya, 2011; Volke Sepúlveda, 2002; EPA, 2000). Estas sustancias tóxicas, provenientes de fuentes naturales y antropogénicas, se encuentran en concentraciones diversas en aguas y suelos de distintas regiones de nuestro país (Vázquez et al., 2016; Boeykens, 2009; Paoloni, 2009; Litter, 2006; Fariás et al., 2003; Smedley, 2002; Bocanegra, 2001; Paoloni, 2000; Ares, 1998; Marteau, 1998).

Existe una variedad de tecnologías de tratamiento con diferentes grados de éxito para controlar y minimizar la contaminación del agua. Sin embargo, las desventajas de la mayoría son los altos costos operativos y de mantenimiento, la generación de lodos tóxicos y los complicados procedimientos involucrados en el tratamiento. Comparativamente, el proceso de adsorción se considera una mejor alternativa en el tratamiento de aguas debido a su facilidad de operación y simplicidad de diseño. En las plantas de tratamiento, los procesos de adsorción se aplican para eliminar los contaminantes disueltos que permanecen en las fases biológicas posteriores o después de los tratamientos de oxidación química (Ali et al., 2012). Hoy en día, el adsorbente más comúnmente adoptado es el carbón activado. Se usa para la eliminación de contaminantes como colorantes y metales pesados. Sin embargo, su uso generalizado a veces está restringido debido a su mayor costo, además de otras cuestiones como la capacidad de regeneración del adsorbente o la eliminación del adsorbente al final de su vida útil siguiendo estrategias diferentes a la disposición final (Gautam et al., 2014; De Feo et al, 2014).

Una gran variedad de adsorbentes de bajo costo ha sido examinada por su capacidad para eliminar diversos tipos de contaminantes del agua. En general, el objetivo es reemplazar los carbones activados, que representan el estado de la técnica, por medio de un subproducto que proviene de diversas actividades, como la agricultura y la industria.

Estos subproductos plantean actualmente una variedad de problemas de desecho debido a su gran volumen, toxicidad o naturaleza física (es decir, desechos de petróleo,

llantas, cáscaras y carozos de frutas, etc.). Si pueden usarse como adsorbentes de bajo costo, sería una ventaja doble a la contaminación ambiental. En primer lugar, el volumen de desechos podría reducirse parcialmente (contribuyendo a la economía circular) y, en segundo lugar, el adsorbente de bajo costo, si se desarrolla, puede contribuir a la reducción de la contaminación de las aguas a un costo razonable. En las últimas décadas, se han publicado varias revisiones bibliográficas sobre el uso de adsorbentes de bajo costo para el tratamiento de aguas (Thakur, et al., 2020; Neris et al., 2019; Joseph et al., 2019; Kobielska et al., 2018; De Gisi et al., 2016; Ungureanu et al., 2015; Cifci et al., 2015; Bhatnagar et al., 2015; Abdolali et al., 2015).

Actualmente, se considera que la retención de los contaminantes en la superficie de los adsorbentes de bajo costo, generalmente no porosos, no se produce sólo por efecto de la adsorción sino también por otros procesos como la microprecipitación, el intercambio iónico y, en algunos casos, reacciones químicas de óxido-reducción y complejamiento con grupos funcionales de la superficie. Si bien este fenómeno de retención se puede aprovechar de un modo experimental inmediato y simple, su optimización requiere del conocimiento de los mecanismos implicados y del ajuste de las variables como temperatura, concentración o pH (Lalley et al., 2016; Nhapi, 2011; Tapia, 2011; Miretzky et al. 2006; Pagnanelli et al., 2003; Volesky, 1995). Además, la elección del adsorbente debe considerar no solo su capacidad de retención sino también su posibilidad de regeneración y reutilización. El éxito de la técnica depende en gran medida del conocimiento de los efectos que producen, sobre la eficiencia del adsorbente elegido, el medio (pH, temperatura, fuerza iónica) y los efectos interferentes o competitivos de las otras especies presentes (Wang et al., 2010). En la actualidad, muy pocos datos se hallan registrados en la bibliografía sobre estos particulares, sobre todo cuando se trata de adsorbentes de bajo costo o provenientes de biomásas recicladas (residuos alimentarios, por ejemplo).

La elección del adsorbente debe considerar no solo su capacidad de retención sino también su posibilidad de regeneración y reutilización, para seguir los lineamientos de la Economía Circular (Union, E., 2016; Piol, M.N., et al., 2019; Comission, E. 2018). En este sentido, la Economía Circular plantea la reutilización de residuos como nuevas materias primas incorporadas a un ciclo productivo igual o diferente al original (Pacto de Ámsterdam, 2016). La industrialización y producción de derivados de la agricultura, genera grandes cantidades de residuos de material lignocelulósico, del mismo modo la eliminación y retiro de malezas produce grandes volúmenes de material a descartar. Tanto los residuos agroindustriales como las malezas podrían ser reutilizados como relleno de reactores de bajo costo para la eliminación de contaminantes.

Para el presente trabajo se emplearon los residuos de cultivos abundantes de nuestro país como son el maní (*Arachis hypogaea*) donde Argentina es el séptimo productor mundial (Secretaría de Agroindustria, 2019), caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) con un volumen de producción en 2019 de 21,4 millones de toneladas (De Bernardi, 2019), trigo (*Triticum aestivum*) con un volumen de producción en 2019 de 19,5 millones de toneladas. También se utilizaron residuos de cultivos que actualmente se encuentran en pleno auge y con creciente implementación en nuestro país como son la palta (*Persea americana*), la nuez de pecán (*Carya illinoensis*), y la banana (*Musa paradisiaca*). Por último, se utilizaron las macrófitas flotantes: *Azolla pinnata*, *Lemna minor*, *Salvinia molesta*, *Limnobium leavigatum* y *Pistia stratiotes*, todas son especies que crecen en nuestro país y que se encuentran en el listado de la FAO como indeseables o malezas (FAO 2015). En este sentido, la Environmental Protection Agency (EPA) denomina plaga a la aparición masiva de seres vivos de la misma especie que puede resultar dañino para la salud o el ambiente (EPA 2016), en cambio se puede utilizar el término maleza para las plantas de rápido crecimiento que pueden ser invasivas y por lo tanto perjudiciales e indeseables en determinados lugares o en cierto tiempo (INTA 2016; Australian Government 2016). Estas macrófitas pueden ser consideradas tanto plaga como maleza ya que cuando llegan a un medio acuático, inicialmente no causan problemas, sino que se adaptan sin competencia. Luego, se multiplican rápidamente en su nuevo medio, invadiendo otros ecosistemas naturales, desplazando la flora y fauna acuática nativa, provocando graves problemas de índole económica, ecológica y de salud pública. Si la población resulta superior al 35% de la superficie del agua causa desequilibrios importantes en el ecosistema y por lo tanto en el ambiente. Además, pueden causar grandes problemas al interferir con actividades como la navegación, la pesca, la recreación y las actividades agrícolas, es decir, causan inconvenientes en el uso o explotación de los cuerpos de agua (Bonilla y Santamaría 2014).

En este trabajo se presentan algunos parámetros útiles para la caracterización de los diferentes adsorbentes y además algunos parámetros de sorción y retención selectiva de contaminantes (cationes de plomo y aniones cromato) para los materiales elaborados a partir de residuos agroindustriales o malezas que resultan de fácil obtención y bajo costo.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

Los materiales estudiados como bioadsorbentes fueron: cáscara de maní (*Arachis hypogaea*), residuos de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), cáscara y carozos de palta (*Persea americana*), cáscara de nuez de pecán (*Carya illinoensis*), salvado de

trigo (*Triticum aestivum*), cáscara de banana (*Mussa paradisiaca*), *Azolla pinnata*, *Lemna minor*, *Salvinia molesta*, *Limnobia leavigatum* y *Pistia stratiotes*. En todos los casos, se lavaron previamente con agua destilada y se secaron en estufa a 110°C, luego se molieron y tamizaron para obtener un tamaño de partícula entre 1,0 y 1,5mm.

La caracterización de los diferentes adsorbentes se realizó mediante:

- a. Análisis Textural para estimar la porosidad del material. El volumen total de poros (VT) se obtuvo a partir del volumen de N<sub>2</sub> adsorbido a una presión relativa, expresado como (cm<sup>3</sup>g<sup>-1</sup>). El área superficial específica se calculó por el método de BET. Se determinó el área superficial, mediante un equipo Micromeritics modelo Gemini 2360.
- b. Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) para determinar los grupos funcionales que pueden estar presentes en el adsorbente. Los espectros fueron realizados con el espectrómetro ThermoScientific, Nicolet 8700, con accesorio para ATR (Reflectancia Total Atenuada) de única reflexión horizontal con cristal de diamante.
- c. Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) para estudiar la superficie de los adsorbentes. Las determinaciones fueron realizadas en el Laboratorio de integridad de material y corrosión (UTN FRSC) con un microscopio electrónico de barrido marca Zeiss, modelo EVO MA 10.
- d. Espectroscopía de Plasma Inducida por Láser (LIBS en inglés: Laser Induced Breakdown Spectroscopy) para conocer la composición elemental del sólido y las impurezas que puede liberar el adsorbente durante los ensayos. La muestra se compactó en forma de pastilla y se introdujo en la celda del equipo Ocean Optics LIBS 2500.

Para los ensayos de adsorción se trabajó con soluciones de Pb(II) y Cr(VI) de concentraciones 60mg/L y 30mg/L, respectivamente. Todos los ensayos se realizaron por triplicado en reactores discontinuos (batch), a una temperatura de 25±1°C y a un pH inicial de 5,5, durante 3 horas para alcanzar el equilibrio, con agitación orbital a 150 rpm y una proporción de 0,1 g de adsorbente y 50 mL de solución. Durante cada proceso, se controló el pH, que no varió de su valor inicial. Luego, se separó el sólido del líquido por filtración sobre celulosa. La concentración de metales inicial y en el filtrado, se determinó por espectrofotometría de absorción atómica en un equipo 210 VGP Buck Scientific, empleando soluciones estándar Merck de cada metal para la realización de las curvas de calibración correspondientes (APHA, 2012).

Se determinó la concentración remanente del ión en el equilibrio, C<sub>eq</sub>, por espectrofotometría de Absorción Atómica (GBCTM, model XPLORAA). Con este valor,

el volumen de solución utilizado y la concentración inicial se calculó el porcentaje de remoción. La cantidad de material adsorbido por unidad de masa de adsorbente utilizado,  $q_e$ , se determinó midiendo la diferencia de concentraciones entre el inicio de la experiencia y el equilibrio y dividiendo por la cantidad de adsorbente utilizado, pesado en balanza analítica.

### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis textural por BET para los adsorbentes en estudio dio como resultado que los materiales resultaron ser no porosos o macroporosos con rangos de área superficial específica ( $S_{BET}$  ( $m^2g^{-1}$ )) de 0,08 para el carozo de palta hasta 0,92 para *Pistia stratiotes* y con rangos de volumen total ( $V_T$  ( $cm^3g^{-1}$ )) de  $1e-4$  para el carozo de palta hasta 0,0067 también para *Pistia stratiotes*. En ninguno de los casos se observó dependencia de la adsorción de los contaminantes tanto con el área superficial específica como con el volumen total de poro.

Los adsorbentes en estudio son materiales lignocelulósicos con diferentes proporciones de lignina, celulosa y hemicelulosa. Para esta clase de materiales, varios autores han demostrado que la adsorción de especies metálicas no depende directamente de esta proporción sino de los tipos de grupos funcionales presentes en la superficie del adsorbente. Así, la presencia de grupos fenólicos, carboxílicos e hidroxilos son fundamentales en la adsorción de iones (Neris, et al. 2019). En general, en los estudios de FTIR realizados sobre los diferentes materiales adsorbentes estudiados, se observó la aparición de fuertes picos de absorción (mínimo de reflectancia) en el rango de 3700 a 3000  $cm^{-1}$ , que se deben normalmente a varias vibraciones por elongación de grupos O-H y N-H. La primera tiende a aparecer en números de onda más altos, siendo a menudo más anchas que las bandas del N-H. El enlace de hidrógeno tiende a ampliar los picos y desplazarlos hacia números de onda más bajos. Por tanto, la forma ancha y de gran intensidad del pico sobre 3400-3000  $cm^{-1}$  es típica, y corresponde al enlace O-H, con posible traslapo del grupo N-H, hecho que puede confirmarse con la aparición de picos sobre 1160 y 1115  $cm^{-1}$  y que se asignarían a la vibración de enlaces C-N y C-O amino y alcohólico respectivamente que algunas veces pueden aparecer solapados. La vibración de enlaces C-H alifáticos se encuentran en la región 2950-2800  $cm^{-1}$ , por tanto, los picos que aparece sobre 2925  $cm^{-1}$  se asigna a vibraciones de los enlaces C-H alifáticos, así mismo, el pico que aparece a 2855  $cm^{-1}$  también correspondería a un enlace C-H alifático de diferente conformación. La vibración por elongación del grupo carbonilo (C=O), se caracteriza por absorción en la región de 1950-1550  $cm^{-1}$ . El pico sobre 1740  $cm^{-1}$ , se asigna a un grupo carbonilo éster o de carboxilo ya que aparece un fuerte pico sobre

1250  $\text{cm}^{-1}$ , correspondiente a la vibración por extensión C-O-R de dichos compuestos. Los picos sobre 1650-1635  $\text{cm}^{-1}$  y 1460-1438  $\text{cm}^{-1}$ , también se asignan a grupos carbonilos en distintas conformaciones tales como  $-\text{COO}-$  y  $\text{C}=\text{O}$  (Silvertein, 2005). Otros autores han observado la presencia de estos mismos grupos funcionales en diferentes materiales lignocelulósicos (Gatani, et al., 2010; Bediako, et al., 2019). En la figura 1 a modo de ejemplo se presentan los espectros FTIR de cáscara de banana antes y después de la adsorción de cromato. Por comparación entre ambos espectros, se observa, luego de la adsorción, una disminución en la banda 1030  $\text{cm}^{-1}$  correspondiente al estiramiento C-O (alcohol), a su vez se ve la disminución en el número de grupos hidroxilos (banda 3276-3332  $\text{cm}^{-1}$ ). Estos resultados indicarían que este tipo de grupo funcional podría estar asociado a la adsorción de cromato sobre cáscara de banana. El ion cromato ( $\text{HCrO}_4^-$ ) en contacto con los grupos donadores de electrones se reduce a  $\text{Cr(III)}$  con la consecuente oxidación del grupo funcional interviniente (López García, et al., 2012; Dickerman 2020).

En cuanto al estudio de la morfología de la superficie de los diferentes adsorbentes en la Figura 2 se muestran algunas imágenes SEM correspondientes a los materiales en estudio. Como generalidad se puede destacar que la superficie de todos los adsorbentes lignocelulósicos estudiados resultó no homogénea con la presencia de macroporos entre 10 y 100  $\mu\text{m}$ . En particular, para la cáscara de banana se observan poros de mayor de tamaño (60-100  $\mu\text{m}$ ) en cambio, para los otros adsorbentes se observan poros de menor tamaño (10-30  $\mu\text{m}$ ). Estos resultados muestran que la adsorción no está necesariamente relacionada con la porosidad del material, es decir los materiales lignocelulósicos en estudio no tendrían un mecanismo de retención en microporos, en concordancia con los resultados obtenidos en BET.

Figura 1: Espectro FTIR obtenido de cáscara de banana antes y después de la adsorción de cromato.

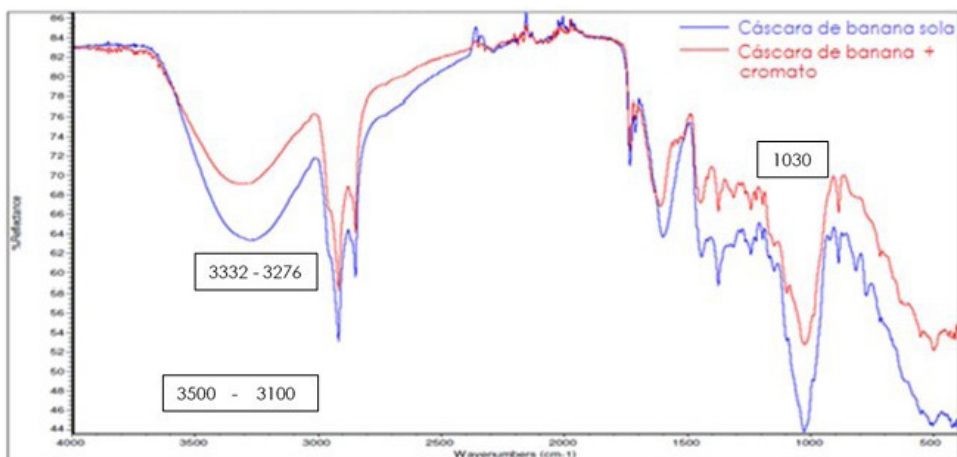
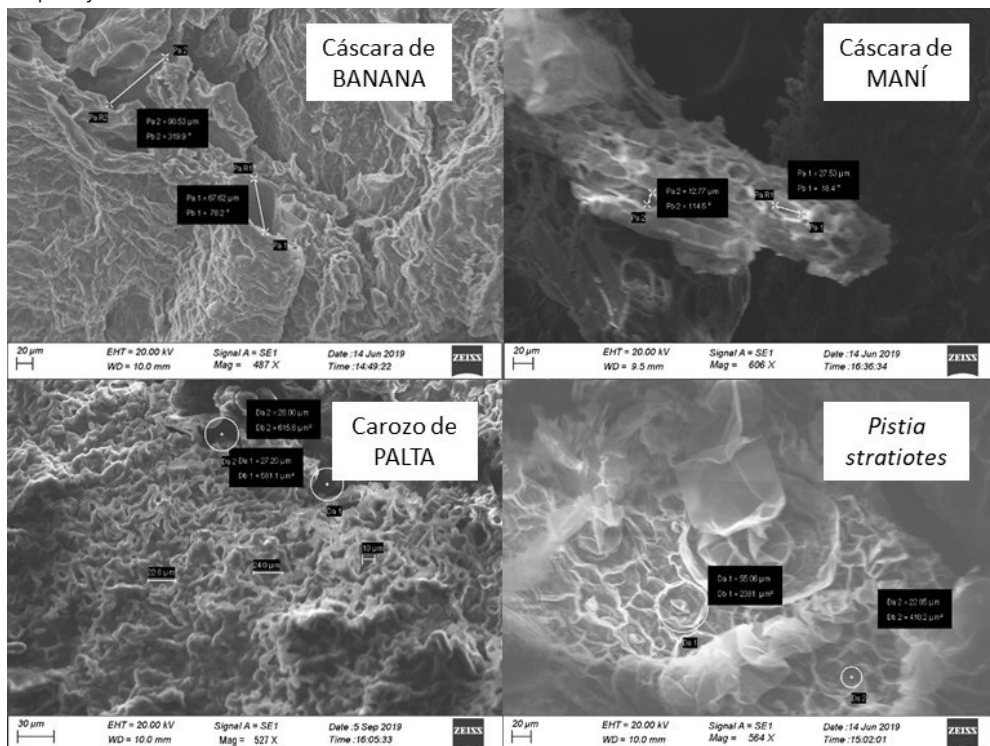


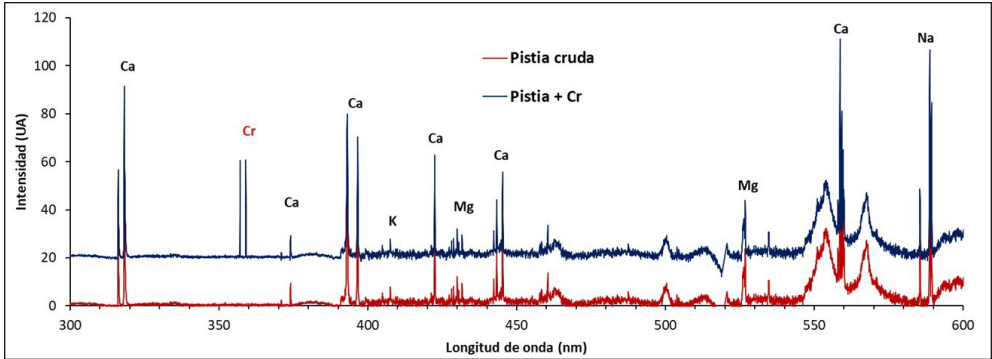
Figura 2: Imágenes de SEM correspondientes a la superficie de la cáscara de banana, cáscara de maní, el carozo de palta y la macrófita *Pistia stratiotes*.



De los estudios realizados con la técnica LIBS se obtuvo como resultado que como se está trabajando con materiales lignocelulósicos, constituidos principalmente por C, H y N de la lignina, la celulosa y la hemicelulosa, y otros elementos vitales para la planta como Ca, Na, Mg y K. En estos espectros, las líneas de emisión para C deberían aparecer a 283,6 y 426,7, 588,9 y 589,1 nm, pero en general son muy poco intensas y además las dos últimas de superponen con las líneas del Na. El nitrógeno orgánico aparece una banda alrededor de 500 nm (Dong, et al., 2011). Para los espectros de las biomásas luego de la adsorción se observan las líneas correspondientes a Pb (363,9; 368,3 y 406,3 nm) y Cr (357,0 y 358,9 nm) que no fueron observadas para las biomásas crudas, lo que verifica que esos contaminantes fueron adsorbidos por el material lignocelulósico. En la Figura 3 se presenta un espectro de LIBS para *Pistia stratiotes* antes y después de la adsorción de cromato. Con este estudio también se logró asegurar que ninguno de los adsorbentes en estudio contiene especies que pudieran perjudicar su utilidad durante el proceso de adsorción.



Figura 3. Espectro LIBS obtenido de la biomasa Pistia antes y después de la adsorción de cromo.



Los ensayos de adsorción realizados en reactores discontinuos agitados con los diferentes pares sorbato-adsorbente se presentan en la Tabla 1, donde se muestran los valores de  $q_e$  y  $C_{eq}$  obtenidos experimentalmente.

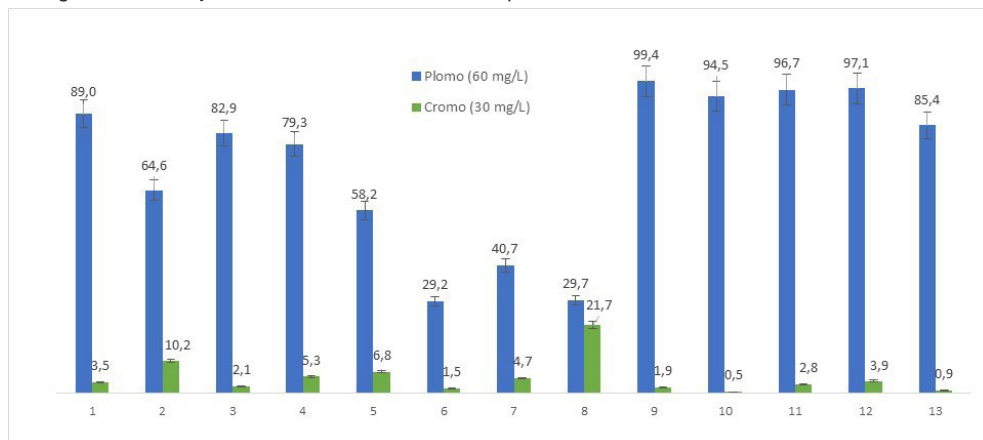
Tabla 1. Adsorbentes y parámetros determinados experimentalmente

| Material Adsorbente |   | Plomo [60 mg/L] |                | Cromo [30 mg/L] |                |
|---------------------|---|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
|                     |   | $q_e$ [mg/g]    | $C_{eq}$ [ppm] | $q_e$ [mg/g]    | $C_{eq}$ [ppm] |
| 1                   | Salvado de TRIGO                        | 24,7            | 35,3           | 0,5             | 29,0           |
| 2                   | Cáscara de BANANA                       | 17,9            | 42,1           | 1,4             | 27,2           |
| 3                   | Cáscara de PALTA                        | 23,0            | 37             | 0,3             | 29,4           |
| 4                   | Cáscara de MANÍ                         | 23,6            | 36,4           | 0,8             | 28,5           |
| 5                   | Cáscara de NUEZ PECÁN                   | 17,6            | 42,4           | 1,0             | 28,1           |
| 6                   | Residuos de CAÑA AZÚCAR                 | 8,1             | 51,9           | 0,2             | 29,6           |
| 7                   | Carozo de PALTA                         | 12,1            | 47,9           | 0,7             | 28,6           |
| 8                   | Carozo de PALTA tratado térmicamente    | 8,9             | 51,1           | 3,3             | 23,5           |
| 9                   | <i>Azolla pinnata</i> (macrófita)       | 59,6            | 0,4            | 0,3             | 29,4           |
| 10                  | <i>Lemna minor</i> (macrófita)          | 56,7            | 3,3            | 0,1             | 29,9           |
| 11                  | <i>Limnobium leavigatum</i> (macrófita) | 58,0            | 2,0            | 0,4             | 29,2           |
| 12                  | <i>Pistia stratiotes</i> (macrófita)    | 58,3            | 1,7            | 0,6             | 28,8           |
| 13                  | <i>Salvinia molesta</i> (macrófita)     | 51,2            | 8,8            | 0,1             | 29,7           |

El porcentaje de remoción de la solución de cada contaminante sobre cada uno de los adsorbentes utilizados se muestra en el gráfico 1.



Figura 4. Porcentaje removido. Los números se corresponden con los adsorbentes señalados en la Tabla 1



Se evidencia que el plomo se retiene en mucha mayor proporción que el cromato en todos los sistemas estudiados, resultando en una mayor capacidad de adsorción para el catión.

Tanto las malezas como el salvado de trigo resultaron potenciales adsorbentes de bajo costo, que pueden emplearse como relleno en reactores de purificación de aguas para la remoción de iones plomo.

Por otro lado, el carozo de palta tratado térmicamente y, en menor medida, la cáscara de banana, resultaron efectivos para la retención de cromato.

## 4 CONCLUSIONES

Los estudios de caracterización del adsorbente infieren que los materiales lignocelulósicos estudiados son no porosos con una morfología superficial no homogénea y con presencia de macroporos. En ninguno de los casos estas características se condicen con los resultados de remoción obtenidos. Por otro lado, la presencia de grupos funcionales característicos, sobre la superficie de adsorbente, resulta determinante sobre la capacidad de adsorción, dependiendo de estos y del tipo de sorbato el mecanismo de remoción. Los materiales lignocelulósicos podrían ser utilizados para procesos de tratamiento de agua ya que no se observó liberación de impurezas que pudieran afectar, en detrimento, la calidad de agua obtenida finalmente.

Los ensayos de adsorción permiten seleccionar algunos materiales para armar un reactor relleno con el adsorbente de bajo costo más eficiente o combinaciones de ellos, con el fin de remover estos metales de aguas contaminadas. Este estudio se completa con diversos saltos de escala a nivel de laboratorio y planta piloto para el diseño del reactor real.

## REFERENCIAS

- Abdolali, A., Guo, W.S., Ngo, H.H., Chen, S.S., Nguyen, N.C., Tung, K.L. 2015. Typical lignocellulosic wastes and by-products for biosorption process in water and wastewater treatment: a critical review, *Bioresour. Technol.* 160, 57–66.
- Ali, I. Asim, M. Khan, T.A. 2012. Low cost adsorbents for the removal of organic pollutants from wastewater, *J. Environ. Manag.* 113, 170–183.
- Ares, J., A.M. Miglierina, R. Sánchez. 1998. Groundwater pollution by pesticides at the watershed-soil catena scale: lindane at the lower Colorado River basin (Argentina). *Toxicol. Environ. Chem.* 67: 305-322.
- Australian Government (2016). Weeds in Australian. <http://www.environment.gov.au/biodiversity/invasive/weeds/weeds/what.html>.
- Bediako, J. K.; Sarkar, A. K.; Lin, S.; Zhao, Y.; Song, M.-H.; Choi, J.-W.; Cho, C.-W.; Yun, Y.-S., Characterization of the residual biochemical components of sequentially extracted banana peel biomasses and their environmental remediation applications. *Waste Management* 2019, 89, 141-153.
- Bhatnagar, A., Sillanpää, M., Witek-Krowiak, A. 2015. Agricultural waste peels as versatile biomass for water purification – a review, *Chem. Eng. J.* 270, 244–271.
- Bocanegra, E., H. Massone, D.E. Martínez, E. Civit, M. Farenga. 2001. Groundwater contamination risk management and assessment for landfills in Mar del Plata, Argentina. *Environ. Geol.* 40: 732-741.
- Boeykens S. 2009. Contaminación y Remedación en la Provincia de Buenos Aires. En: *Desafíos del Cambio Climático y Global en Argentina*, pág. 163. Editado por Eudeba. 400p. Buenos Aires.
- Bonilla J & Santamaría B (2014). *Especies acuáticas invasoras en México*, Edition: Primera, Cap: 13. Publisher: Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, 223-247
- Branzini, A.; Zubillaga, M. 2012. Enmiendas orgánicas e inorgánicas para remediar suelos contaminados con metales pesados. En: *Enmiendas orgánicas e inorgánicas para remediar suelos contaminados con metales pesados*. Editorial Académica Española.
- Cartaya, O., Reynaldo I., Peniche C., Garrido M. 2011. Empleo de polímeros naturales como alternativa para la remediación de suelos contaminados por metales pesados. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 27 (1) 41-46.
- Çifçi, D.I., Meriç, S. 2015. A review on pumice for water and wastewater treatment, *Desalin. Water Treat.* 1-13.
- Comission, E. Report on Critical Raw Materials and the Circular Economy. 2018; Available from: [https://ec.europa.eu/commission/publications/report-critical-raw-materials-and-circular-economy\\_en](https://ec.europa.eu/commission/publications/report-critical-raw-materials-and-circular-economy_en)
- De Bernardi, L.A. 2019. Perfil del Azúcar. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación Argentina.
- De Gisi, S., Lofrano, G., Grassi, M., Notarnicola M. 2016. Characteristics and adsorption capacities of low-cost sorbents for wastewater treatment: A review, *Sustainable Materials and Technologies*, 9, 10–40.
- Delgado, N., Capparelli, A., Navarro, A., Marino, D. 2019. Pharmaceutical emerging pollutants removal from water using powdered activated carbon: Study of kinetics and adsorption equilibrium. *Journal of Environmental Management* 236, 301–308.

Dickerman, C. Combinación de adsorbentes para la remoción selectiva de aniones en sistemas multicomponente. Facultad de Ingeniería - Universidad de Buenos Aires, Argentina, 2020.

Dong, M.; Lu, J.; Yao, S.; Zhong, Z.; Li, J.; Li, J.; Lu, W., 2011. Experimental study on the characteristics of molecular emission spectroscopy for the analysis of solid materials containing C and N. *Optics Express*.19 (18), 17021-17029.

EPA, In situ treatment of soil and groundwater contaminated with chromium-technical resource. 625/R-00/004. Environmental Protection Agency, 2000.

EPA. Pesticide Registration Manual: Cap 1 - Espinas C, Bibja D, Del Rosario A y Watanabe F (1979). Environmental conditions affecting azolla growths. *Greenfields*, 9:20-28. Environmental Protection Agency, 2016.

Fariás, S., V. Casa, C. Vazquez, L. Ferpozzi, G. Pucci, I. Cohen. 2003. Natural contamination with arsenic and other trace elements in ground waters of Argentine Pampean Plain. *Sci. Total Environ.* 309, 187-199.

FAO La vegetación acuática y los problemas que plantea en los sistemas de riego. <http://www.fao.org/docrep/003/T0401s/T0401S04.htm>. Food and Agriculture Organization, 2015.

Gatani, M. A., R.; Sesin, S., 2010. Nota Técnica: Materiales compuestos de cáscaras de maní y cemento. Influencia de diferentes tratamientos químicos sobre las propiedades mecánicas. *Materiales de Construcción* 60 - 137-147, ISSN: 0465-2746. eISSN: 1988-3226. doi: 10.3989/mc.2010.46908.

Gautam, R.K., Mudhoo, A., Lofrano, G., Chattopadhyaya, M. CH., Biomass-derived biosorbents for metal ions sequestration: Adsorbent modification and activation methods and adsorbent regeneration. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2014. 2(1): p. 239-259.

INTA (2016) <http://inta.gob.ar/documentos/malezas-en-plantaciones-citricas-caracteristicas-y-metodos-de-control>.

Joseph, L., Jun, B-M., Flora J., Park, Ch., Yoon, Y., Removal of heavy metals from water sources in the developing world using low-cost materials: A review. *Chemosphere*, 2019. 229: p. 142-159.

Kobielska, P. A., Howarth, A. J., Farha, O. K., Nayak S. 2018. Metal-organic frameworks for heavy metal removal from water, *Coordination Chemistry Reviews* 358, 92-107.

Lalley, J., Han, C., Li, X., Dionysiou, D. D., Nadagouda, M. N. 2016. Phosphate adsorption using modified iron oxide-based sorbents in lake water: Kinetics, equilibrium, and column tests. *Chemical Engineering Journal*, 284, 1386-1396.

Litter, M.I., 2006. Workshop of As distribution in Ibero-America. Centro Atómico Constituyentes, San Martín, Abstract book, Noviembre 2006.

Liu, J., R.A. Goyer, M.P. Waalkes, Toxic effects of metals. In Casarett and Doull's. *Toxicology. The Basic Science of Poisons.*, C.D. Klaasen, Editor. 2008, Mc Graw - Hill: New York, United State.

López-García, M.; Lodeiro, P.; Herrero, R.; Sastre de Vicente, M. E., 2012. Cr (VI) removal from synthetic and real wastewaters: The use of the invasive biomass *Sargassum muticum* in batch and column experiments. *J. Ind. Eng. Chem.* 18 (4), 1370-1376.

Marteau, S.A., J.C. Alberino, J.L. Ripoli, M.E. Rosato. 1998. Quality of water wells in an agricultural area in the city of La Plata, Argentina. *Water Air Soil Pollut.* 106: 447-462.

- Miretzky, P., A.F. Cirelli, Cr (VI) and Cr (III) removal from aqueous solution by raw and modified lignocellulosic materials: a review. *J Hazard Mater*, 2010. 180(1-3): p. 1-19.
- Miretzky, P., A. Saralegui, A. Fernández Cirelli, Simultaneous heavy metal removal mechanism by dead macrophytes. *Chemosphere*, 2006. 62(2): p. 247-254.
- Neris, J. B., Luzardo, F. H. M., da Silva, E. G. P., Velasco, F. G. 2019. Evaluation of adsorption processes of metal ions in multi-element aqueous systems by lignocellulosic adsorbents applying different isotherms: A critical review. *Chem. Eng. J.* 357, 404-420.
- Nhapi I., Banadda N., Murenzi R., Sekomo C.B, Wali U.G, 2011. Removal of Heavy Metals from Industrial Wastewater Using Rice Husks, *The Open Environmental Engineering Journal*, 4, 170-180.
- Pacto de Amsterdam. Union Europea. URBAN AGENDA FOR THE EU. Netherlands, 2016.
- Pagnanelli, F.; Mainelli, S.; Vegli, F.; Toro L. 2003. Heavy metal removal by olive pomace: biosorbent characterisation and equilibrium modelling. *Chem. Eng. Sci.* 58 4709 – 4717.
- Paoloni, J.D., C.E. Fiorentino, M.E. Sequeira, N. Echeverría. 2000. Spatial variability and concentration of arsenic in the groundwater of a region in southwest Buenos Aires Province, Argentina. *J. Soil Water Conserv.* 55: 436-438.
- Paoloni, J.D., Sequeira, M., Espósito, M., Fiorentino, C., Blanco, M. 2009. Arsenic in Water Resources of the Southern Pampa Plains, Argentina. *Journal of Environmental and Public Health*, Article ID 216470, 7 pag.
- Piol, M.N., Paricoto, M., Saralegui, A., Basack, S., Vullo, D., Boeykens, S., Dolomite used in phosphate water treatment: Desorption processes, recovery, reuse and final disposition. *Journal of Environmental Management*, 2019. 237: p. 359-364.
- Playle, R. C. Using multiple metal-gill binding models and the toxic unit concept to help reconcile multiple-metal toxicity results. 2004. *Aquatic Toxicology*, 67, 359-370.
- Secretaría de Agroindustria – Ministerio de Producción y Trabajo de la Nación Argentina. Cadena de Maní – Resumen. Marzo 2019.
- Silverstein, R.M., F. X. Webster and D. J. Xiemle Spectrometric Identification of Organic Compounds 7th ed. 2005.
- Smedley, P.L., Nicolli, H.B., Macdonald, D.M.J., Barros, A.J., Tullio, J.O. 2002. Hydrogeochemistry of arsenic and other inorganic constituents in groundwaters from La Pampa, Argentina. *Appl. Geochem.*, 17, 259-284.
- Tapia P., Santander M., Pávez O., Valderrama L., Guzmán D., Romero L., 2011. Biosorción de iones cobre con biomasa de algas y orujos deshidratados. *Revista de Metalurgia*, 47 (1) 15-28.
- Thakur, V.; Sharma, E.; Guleria, A.; Sangar, S.; Singh, K., 2020. Modification and management of lignocellulosic waste as an ecofriendly biosorbent for the application of heavy metal ions sorption. *Materials Today: Proceedings*, 32, 608-619.
- UN-Water. 2018. The United Nations World Water Development Report 2018: Nature-Based Solutions for Water. UNESCO, Paris, Francia.
- Ungureanu, G. Santos, S. Boaventura, R. Botelho, C. 2015. Arsenic and antimony in water and wastewater: overview of removal techniques with special reference to latest advances in adsorption, *J. Environ. Manag.* 151, 326–342.

Union, E., URBAN AGENDA FOR THE EU. Pact of Amsterdam. 2016: Netherlands.

Vázquez, C., Rodríguez Castro, M.C., Palacios, O., Boeykens, S.P. 2016. Risk Analysis of Acute and Chronic Exposure to Arsenic of the Inhabitants in a District of Buenos Aires, Argentina. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems* Volume 4, Issue 3, pp 234-241.

Volesky, B., *Biosorption of heavy metals*. 1995: CRC Press.

Volesky, B., G. Naja, *Biosorption: Application Strategies*, in *Proceedings of the 16th International Biotechnology Symposium* S.T.L. Harrison, D.E. Rawlings, J. Petersen, Editors. 2005, IBS - Compress Co.: South Africa. p. 531-542.

Volke Sepúlveda, T., J. Velasco Trejo, *Tecnologías de remediación para suelos contaminados*. V65. ISBN: México. Vol. 65. 2002, Mexico: Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT).

Wang, S., Y. Peng, *Natural zeolites as effective adsorbents in water and wastewater treatment*. *Chemical Engineering Journal*, 2010. 156(1): p. 11-24.

## CAPÍTULO 26

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

Data de submissão: 03/02/2021

Data de aceite: 26/02/2021

**Renata Nunes Oliveira**

Programa da Pós-graduação em Engenharia

Química- PPGEQ/DEQ/UFRRJ

<http://lattes.cnpq.br/9026953896544145>

<https://orcid.org/0000-0001-9782-269X>

**Reiner Neumann**

Centro de Tecnologia Mineral – CETEM

<http://lattes.cnpq.br/1230787582936458>

<https://orcid.org/0000-0002-6261-7140>

**Edla Maria Bezerra Lima**

Embrapa Agroindústria de Alimentos;

<http://lattes.cnpq.br/5203027472517355>

<https://orcid.org/0000-0002-6529-3399>

**Antonietta Middea**

Centro de Tecnologia Mineral – CETEM

<http://lattes.cnpq.br/0641524479927336>

<https://orcid.org/0000-0002-0191-5726>

**Jessica Fernandes Pereira**

Centro Universitário Estadual da Zona

Oeste – UEZO

<https://orcid.org/0000-0003-1199-3813>

**Ingrid Cristina Soares Pereira**

Departamento de Engenharia Química –

UFRRJ

<http://lattes.cnpq.br/9041880891521736>

<https://orcid.org/0000-0003-1326-1667>

**Natália Rodrigues Rojas dos Santos**

Departamento de Engenharia Química –

UFRRJ

<http://lattes.cnpq.br/1765717148553325>

<https://orcid.org/0000-0002-8774-615X>

**RESUMO:** A agroindústria do suco de manga gera uma grande quantidade de resíduos, como o caroço de manga. O objetivo deste trabalho é a caracterização da estrutura cristalina de diversos biocompósitos desenvolvidos a base desses resíduos, em matriz de Poli (ácido láctico) (PLA), com adição ou não de nanocargas de organo-argilominerais para desenvolvimento de embalagens de alimentos, por casting. A técnica de difratometria de raios-x (DRX) foi eficiente para identificar: a) os argilominerais montmorilonita (bentonita) presentes na fração argila e validar o processo de organofilização necessário para compatibilizar as cargas entre o argilomineral e a matriz de PLA, b) degradação cristalina do PLA comercial pela dissolução por clorofórmio durante o processamento por *casting*, c) aumento da cristalinidade

devido a interação do PLA com as nanocargas da montmorilonita organofilizada, d) comportamento inerte da casca e amêndoa do caroço de manga com o PLA, que manteve suas características semi-cristalinas inalteradas, ampliando a fase amorfa na estrutura dos biocompostos desenvolvidos. Conclui-se que a organofilização das montmorilonitas, utilizada como carga de reforço, foi eficiente para aumentar a cristalinidade dos biocompósitos de PLA quando utilizados com ou sem os resíduos da casca e amêndoa do caroço de manga por *casting*.

**PALAVRAS-CHAVE:** Biocompósito. Organo-argilominerais. PLA. DRX. Manga.

## XRD CHARACTERIZATION OF PLA BIOCOMPOSITES LOADED WITH MANGO SEED RESIDUES AND NANO-ORGANO-MONTMORILLONITE

**ABSTRACT:** The mango juice industry is responsible for a considerable amount of residues, e.g. mango seeds. The goal of this work is the characterization of the structure of PLA-mango seed residues biocomposites (intended for packaging applications) produced by casting, with or without the addition of nano-organo-montmorillonite particles. The XRD technique identified that (a) there was montmorillonite particles in the original clay and it validated the organophilization process of the clay in order to make it compatible with the PLA matrix; (b) PLA degradation by its dissolution in chloroform in order to process it by casting; (c) Increased crystallinity due to interactions between PLA-nano-organo-montmorillonite clay; (d) inert behaviour of the mango seeds fibers and almond (core) when blended with PLA, which kept its semi-crystalline characteristics unaltered. Nonetheless, the presence of mango components enhanced the amount of amorphous phase of the biocomposites. It can be concluded that the organophilization of montmorillonite clay, used as reinforcing filler, was efficient to increase the crystallinity of PLA biocomposites when used with or without the residues of fibers and almond (core) of the mango by casting.

**KEYWORDS:** Biocomposite. Organo-clay. PLA. DRX. Mango.

## 1 INTRODUÇÃO

O processo produtivo no campo e, principalmente o de beneficiamento industrial do suco de manga e outros subprodutos produzem um rejeito representado pelas cascas e caroços que compõem o resíduo correspondente a 40 % do peso total da fruta (Lobo e Lemos Silva, 2003).

Atualmente, devido à quantidade de rejeito, busca-se a substituição do plástico sintético (polímero advindo do petróleo) por novos materiais que tenham a mesma resistência e razão custo-benefício, para tanto, estudam-se os polímeros naturais modificados, em especial biocompósitos / nanocompósitos poliméricos com argilominerais (PCN) adicionado de fibras vegetais como carga de reforço. Nesses

materiais, a interação sinérgica entre as fases orgânicas e inorgânicas podem dar origem a materiais com novas propriedades diferentes daquelas dos materiais originais. A interação por intercalação destes polímeros em nanoescala é promovida principalmente pela elevada superfície específica das nano-cargas, o que produz materiais com melhor resistência mecânica, maior estabilidade térmica, resistência a riscos e danos, a barreira de gás e resistência às chamas. Muitas pesquisas utilizam argilas sintéticas tais como a laponite, uma hectorite de composição  $\text{Na}_{0.7}[(\text{Mg}_{5.5}\text{LiO}_4)\text{Si}_8\text{O}_{20}(\text{OH})_4]$ , que segundo alguns estudos apresenta algumas vantagens sobre as argilas naturais, como por exemplo a ausência de impurezas (sílica, óxidos de ferro, carbonatos, etc) e fórmula química bem definida (Aquada et al., 2012).

Estabelecer uso para este volume de resíduo gerado pela atividade da mangicultura tem sido um desafio que pesquisadores têm enfrentado no Brasil e no mundo e, na Embrapa vem se desenvolvendo o projeto *“Desenvolvimento de biomateriais nano estruturados a partir de caroço de manga adicionados de argilominerais, PHB e PLA”*, (EMBRAPA, 2014) em parceria com o Centro de Tecnologia Mineral – CETEM e a Engenharia de Materiais da UFRRJ que visa o uso dos resíduos da agroindústria da manga em mistura com nano organo-argilominerais em matriz de Poli(ácido láctico) (PLA) também. O presente trabalho tem como objetivo o estudo da cristalinidade pela técnica de difratometria de Raios-X (DRX) dos biocompósitos desenvolvidos em mistura de casca e amêndoa do caroço de manga e de organo-argilominerais como carga em matriz de PLA.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Para manufatura dos biocompósitos utilizou-se PLA (L175\*, Corbion Purac®), resíduos de caroço de manga (frações do caroço de manga obtidas a partir de 360 Kg de manga espada despulpada termicamente gerando 41 Kg de caroço de manga. Os caroços de manga foram lavados em água corrente, secos em estufa de circulação de ar a 55 °C por 48 h, quebrados manualmente para separação da casca e da amêndoa; redução de cada fração por moagem e remoagem (<1 mm) - moinho de faca/martelo TREU sem tela) e material argiloso (50 g da Terra Fina das camadas Chocolate e Bofe da Mina Morro Branco/RN, onde inicialmente se recolheu, sobre lavagem, o material passante na peneira de 270 mesh (53 µm). O material recolhido por densimetria (Lei de Stokes) foi separado, sendo a fração argila concentrada e a fração silte descartada (Lima, 1994). A fração argila concentrada foi seca em liofilizador (Edward Pirani 501 de 6l). Para identificar o tipo de argilomineral presente, a amostra foi glicolada com etileno glicol por 12 h, calcinada a 550



°C em mufla por 1h para determinar a distância interplanar segundo o método de Bragg (Lima, 1994) na análise de DRX e, organofilizada para se tornar compatível com a matriz polimérica utilizando um sal quartenário de amônio, brometo de cetil trimetil amônio (CTAB), usando uma concentração acima de sua concentração micelar crítica (CMC), (Middea et al., 2017).

O desenvolvimento dos biocompósitos por Casting se processou pela dissolução de (8 g) de PLA em (52 mL) clorofórmio PA (Merck), sob agitação e, quando dissolvido, adicionou-se as frações do caroço de manga e dos argilominerais nas proporções de (0,7 g) em mistura. Todas as matérias primas em estado natural e tratado e os biocompósitos tiveram sua estrutura cristalina caracterizados no equipamento de difração de Raios-X Bruker-AXS D8 Advance Eco D8, radiação Cu Ka (40 KV/25 mA), variação angular  $2\theta = (2^\circ - 40^\circ)$ , com passos de  $0,01^\circ$  e detector LynxEye XE.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA CASCA E AMÊNDOA DO CAROÇO DE MANGA

O difratograma da amêndoa do caroço de manga caracteriza-a com uma estrutura semicristalina do tipo A por apresentar picos intensos nos espaços interplanares (d) em (5,9; 5,2 e 3,8) Å e para Mestres (Mestres, 1996) é classificado pela distância angular  $2\theta$  ocorrer em  $15^\circ$ ,  $17^\circ$ ,  $18^\circ$  e  $23^\circ$ . Os difratogramas da casca do caroço de manga caracterizaram sua estrutura como sendo celulose do tipo II, com os picos característicos “ $2\theta$ ” situados entre os ângulos  $13^\circ \leq 2\theta \leq 15^\circ$  e  $18^\circ \leq 2\theta \leq 22^\circ$ , conforme Lengowski et al. (2013). Esta estrutura semicristalina é formada em 3 planos, onde parte das ligações intermoleculares de hidrogênio não são formadas (Wang e Wang, 2011) o que torna a energia livre dessa conformação menor e as ligações mais fáceis de serem quebradas. A forte correlação entre o tipo cristalino de celulose e sua cinética durante a hidrólise mostram uma melhor acessibilidade para a celulose II do que para a celulose I ( $18^\circ \leq 2\theta \leq 19^\circ$  e  $22^\circ \leq 2\theta \leq 23^\circ$ ) e menor que para a sua fase amorfa.

#### 3.2 IDENTIFICAÇÃO E CARATERIZAÇÃO DOS ARGILOMINERAIS NATURAIS E ORGANOFILIZADOS

Os argilominerais foram caracterizados como Montmorillonita do grupo da Esmeclita e, comercialmente denominada Bentonita mediante as variações das distâncias basais segundo os tratamentos e tabelas de (Brindley e Brown, 1980), Tabela I.

Tabela I: Identificação da Montmorilonita pelo Método de Bragg

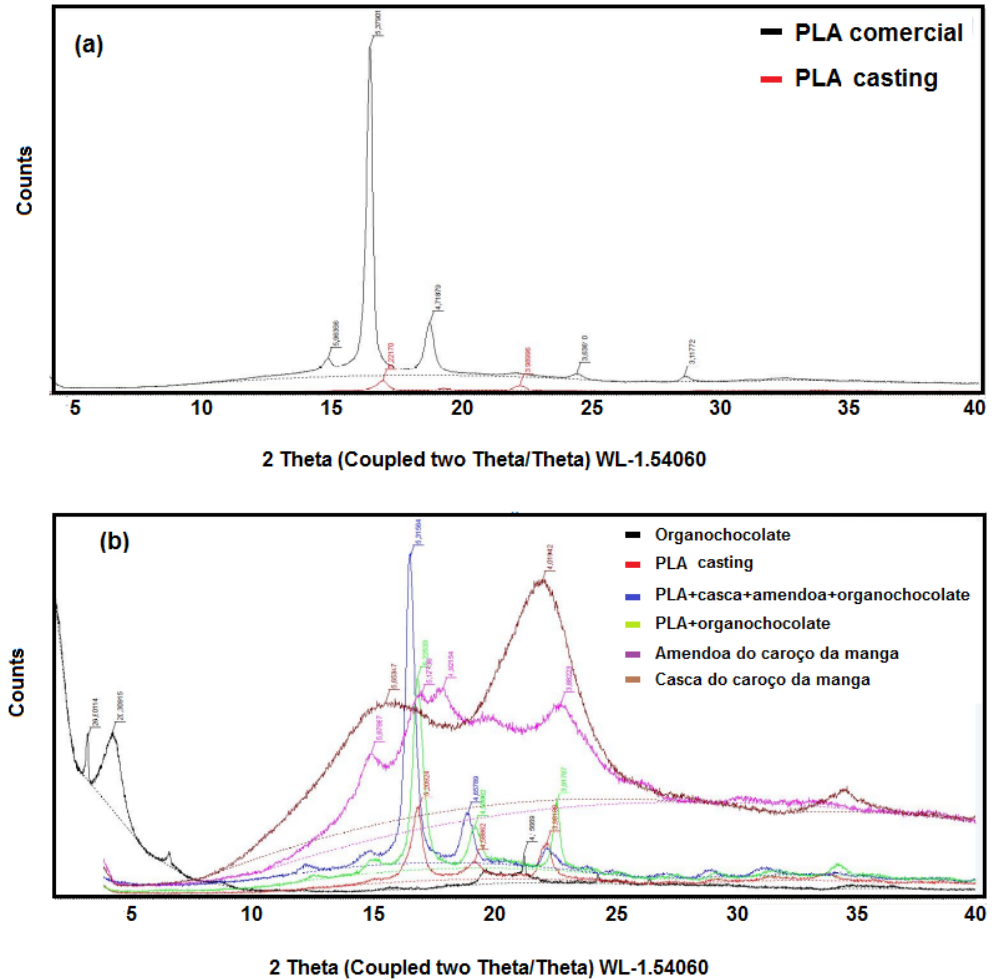
| Argila    | Distancia interbasal (Å) do pico principal |           |                           |                |
|-----------|--|-----------|---------------------------|----------------|
|           | Natural                                    | Glicolada | Aquecida ( <b>550°C</b> ) | Organofilizada |
| Bofe      | 15,52                                      | 16,74     | 9,47                      | 19,83          |
| Chocolate | 15,14                                      | 17,11     | 9,78                      | 19,58          |

### 3.3 CARATERIZAÇÃO DOS BIOCOMPÓSITOS

A degradação da cristalinidade do PLA comercial foi significativa durante o processo de dissolução do PLA por clorofórmio (casting). Fato comprovado no difratograma pela diminuição da intensidade e modificação da distância interplanar do pico principal de (5,3790 Å) para (5,2217 Å), Fig.1a.

Os biocompósitos desenvolvidos com a casca (PLA+casca), amêndoa (PLA+amêndoa) do caroço de manga ou com ambos (PLA+casca+amêndoa), tiveram apenas implementação da fase amorfa nos difratogramas dos biocompósitos sem modificação da distância basal do pico principal do PLA e extinção dos picos da casca e da amêndoa. Os biocompósitos desenvolvidos com cargas das nano-organo-montmorilonitas (PLA organobofe) e (PLA+organochocolate) tiveram sua fase cristalina intensificada com os difratogramas apresentando aumento da intensidade e modificação da distância basal do pico principal do PLA de (5,2092 Å) para (5,2253 Å) com eliminação do pico principal da nano-organochocolate (20,3091 Å) e a fase amorfa quase inalterada, Fig. 1.b, demonstrando perfeita interação química e cristalográfica entre o PLA e as nano-organo-montmorilonitas durante o casting. Já os biocompósitos desenvolvidos a base de (PLA+casca+amêndoa+organobofe) e (PLA+casca+amêndoa+organochocolate) tiveram ambas as fases (cristalinas e amorfas) intensificadas com a mudança de posição do pico principal do PLA de (5,2253 Å) para (5,3156 Å) com colapso dos picos principais da nano-organo-montmorilonita, da amêndoa e da casca, Fig. 1.b.

Figura 1: **a)** difratograma do PLA comercial (preto) e após casting (vermelho); **b)** difratogramas das matérias-primas: bentonita organochocolate (preto); amêndoa (rosa); casca do caroço de manga (marrom) e dos biocompósitos: PLA casting (vermelho); PLA+ casca+ amendoa+ bentonita organochocolate (azul) e PLA+ bentonita organochocolate (verde).



#### 4 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados pode-se concluir que o processo de organofilização das montmorilonitas presentes nas bentonitas das amostras organochocolate e organobofo foi efetivo e que a possibilidade da montmorilonita organofilizada ser usada como cargas de reforço no desenvolvimento de biocompósitos de PLA é promissor, inclusive se acrescida dos resíduos da casca e amêndoa do caroço de manga por casting.

## REFERÊNCIAS

Aquada, F.A., Mattoso, L.H.C., Longo, E. **Análises por DSC e propriedades de processamento de nanocompósitos baseados em argila laponita**. In: WORKSHOP DA REDE DE NANOTECNOLOGIA APLICADA AO AGRONEGÓCIO, 6, 2012, Fortaleza, Embrapa Agroindústria, p. 294-296. 2012. <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/934071>.

Brindley, G.W., Brown, G. **Crystal Structures of Clay Minerals and their X-Ray Identification**. 2<sup>th</sup> ed. Mineralogical Society, 1980. 495p.

EMBRAPA: Projeto SEG 03.14.001.00.00 **Desenvolvimento de biomateriais nano estruturados a partir de caroço de manga adicionados de argilominerais e poli(3-hidroxibutirato) – PHB**, 2014, Documento Interno.

Lengowski, E.C., de Muniz, G.I.B, Nisgoski, S., Magalhães, W.L.E. **Avaliação de métodos de obtenção de celulose com diferentes graus de cristalinidade**. Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 41, n. 98, p. 185-194, jun. 2013.

Lima, E.M.B. **Caracterização química e mineralógica de perfis de alteração, em biotita-gnaiss, no Município do Rio de Janeiro**. Tese Mestrado. Instituto de Geociências – UFRJ, Rio de Janeiro, 1994, 142p.

Lobo, A.R., Lemos Silva, G.M. **Amido resistente e suas propriedades físico-químicas**. Revista Nutrição, 2003. Campinas – SP, p.220.

Mestres, C. **A rapid method for determination of amylose content by using differential scanning calorimetry**. Starch/Stärke, v.48, p. 2-6, 1996.

Middea, A., Spinelli, L.S., Souza Junior, F.G., Neumann, R., Fernandes, T.L.A.P., Gomes, O.F.M. **Preparation and characterization of an organo-palygorskite-Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> nanomaterial for removal of anionic dyes from aqueous solutions**. Applied Clay Science, vol. 139, pp. 45-53, 2017.

Wang, L., Wang, Y. **Rice starch isolation by neutral protease and high-intensity ultrasound**. Journal of Cereal Science, [s.l.], v. 39, n. 2, p.291-296, mar. 2004. Elsevier BV.

## CAPÍTULO 27

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

Data de submissão: 28/02/2021

Data de aceite: 19/03/2021

#### **Felicia Megumi Ito**

Professora Doutora de Química do  
Colégio Militar de Campo Grande  
Instituto Federal de Mato Grosso do Sul  
(\*Trabalhou no IFMS de 2013-2020)  
<http://lattes.cnpq.br/9605331818940229>

#### **Adriana Gomes Pereira da Silva**

Graduada em  
Tecnologia de Alimentos pelo  
Instituto Federal de Mato Grosso do Sul  
<http://lattes.cnpq.br/3858425632038335>

#### **Talina Meirery Nery dos Santos**

Doutoranda em Química do  
Instituto de Química da  
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
<http://lattes.cnpq.br/0651919034694773>

#### **Geziel Rodrigues de Andrade**

Professor Mestre do  
Instituto Federal de Mato Grosso do Sul  
Doutorando em Química do  
Instituto de Química da  
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
<http://lattes.cnpq.br/5219116879161351>

#### **Lincoln Carlos Silva de Oliveira**

Professor Doutor em Química do  
Instituto de Química da  
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
<http://lattes.cnpq.br/1244815830164728>

**RESUMO:** O milho atribui-se lugar de destaque na produção mundial de bens agrícola, sendo o Brasil o terceiro maior produtor. Mediante à esta estatística, o Brasil consequentemente, gera grande quantidade de resíduos resultante desta atividade de cultivo. Produzido do Norte ao Sul do país e em duas épocas de plantio, geram números elevados de resíduos que acabam por ser desperdiçados, com isso, quando inadequadamente manuseados constituem como fonte de contaminação e agressão ao meio ambiente. Entretanto o resíduo do milho é rico em celulose podendo o mesmo ser transformado em produtos com alto valor agregado. A celulose é um biopolímero presente na natureza em grande quantidade e possui importância econômica mundial invejável. A carboximetilcelulose (CMC) é um derivado da celulose, comercializado como sal de sódio, amplamente utilizada nas indústrias. Deste modo, aproveitando os recursos naturais como do milho, na cidade de Coxim e Pedro Gomes, Estado de Mato Grosso do Sul, foram coletados os resíduos do milho e realizados os processos de tratamento e depuração para a obtenção da celulose, seguida de reação de síntese da CMC e posterior desenvolvimento de material biopolimérico. A CMC obtida foi submetida à análise térmica (TG/DTG) e de teste de miscibilidade em soluções aquosas

ácidas, básicas e neutras para conferir propriedade hidrocolóide. A CMC obtida a partir do resíduo do milho apresentou características aceitáveis de estabilidade térmica, com potencial espessante que pode ser utilizada nas indústrias alimentícias, farmacêutica e na área de biotecnologia.

**PALAVRAS-CHAVE:** Carboximetilcelulose. Filmes poliméricos. Hidrocoloides.

## DEVELOPMENT OF CARBOXYMETHYLCELLULOSE FROM CORN RESIDUE PRODUCED IN COXIM-MS AND REGION

**ABSTRACT:** Brazilian corn production is the third-largest worldwide producer and occupies an important place in the world production. This agricultural goods is produced from the North to the South of the Brazil in two planting seasons, that generate large amount of residues resulting from this cultivation activity. the residues when inadequately used they constitute a source of contamination and aggression to the environment. But corn residue is rich in cellulose and can be transformed into products with high added value. Cellulose is the main component of plant cell walls, and is the most abundant polymer on Earth. It is the basic building block for many commercial products such as textiles, packaging, explosives, paper and many more. Carboxymethylcellulose (CMC), generally used as sodium salt is a derivated cellulose that is used is used across many industrial sectors. Our goals in this work is to take advantage of the natural resources such as corn, in the city of Coxim and Pedro Gomes, Mato Grosso do Sul. Corn residues were collected and treatment and purification processes were performed to obtain cellulose followed by reaction of CMC synthesis and subsequent development of biopolymer material. The synthesized CMC was subjected to thermal analysis (TG / DTG) and miscibility test in acidic, basic and neutral aqueous solutions to confer hydrocolloid properties. The CMC obtained from the corn residue presented acceptable characteristics of thermal stability, with potential thickener that can be used in the food, pharmaceutical and biotechnology industries.

**KEYWORDS:** Carboxymethylcellulose. Polimeric film. Hydrocolloids.

## 1 INTRODUÇÃO

Considera-se como resíduo tudo o que o homem não deseja mais e descarta, pois não atendem mais a sua utilidade original, sem valor comercial. Diante deste fato alguns estudos vêm sendo elaborado com o objetivo de reaproveitamento desses resíduos.

Existem vários problemas relacionados à geração de resíduos em seus vários aspectos líquidos, sólidos e gasosos, e estes apresentam grandes riscos tanto no meio ambiente como também à saúde da sociedade (OLIVA; FREIRE, 2008).

O milho (*Zea mays*) é uma espécie que pertence à família Gramineae/Poaceae, com origem no teosinto é um conhecido cereal cultivado em grande parte do mundo e produz uma grande quantidade de resíduo, sendo o mesmo rico em celulose, além de fornecer

produtos largamente utilizados pelo homem e pelos animais (SEVERINO *et al.*, 2005). É uma importante matéria-prima para a indústria, em razão da quantidade encontrada na natureza e das propriedades que os seus grãos oferecem (BRITO *et al.*, 2011).

Segundo as pesquisas históricas a origem de tal espécie se deu na América Central ou do México. Há evidências do cultivo da planta na área central do México entre 7.500 a 12.000 anos, o que caracterizaria sua população como a pioneira na plantação de milho (VEASEY, 2011; UDRY & DUARTE, 2000).

O milho tem assumido um importante papel socioeconômico no Brasil, colocando-se em posição de destaque no que se refere ao valor da produção, área plantada e volume produzido, em especial na região Sul, Sudeste e Centro-Oeste (SEVERINO *et al.*, 2005).

Por sua vez, o milho gera diversos resíduos aos quais quando são reutilizados de forma correta geram alimentos para ruminantes e insumos de relevância industrial, por outro lado quando inadequadamente manuseados constituem como fonte de contaminação e agressão ao meio ambiente (LOSS, 2009).

Dentre os resíduos do milho, está a palha do milho ou fibra do milho que geralmente é incinerado ou utilizada como cama nos criadouros de ave nas propriedades rurais brasileiras. Este é um material rico em celulose, hemicelulose e lignina, sendo que a maior proporção é composta por celulose e hemicelulose (SANTOS, 2008). A carboximetilcelulose (CMC) é produzida a partir de uma celulose modificada sinteticamente, um polissacarídeo aniônico linear, de cadeia longa, solúvel em água, que é preparado pela reação de ácido monocloroacético (MCA) com celulose alcalina (JIA *et al.*, 2016).

Existem vários problemas relacionados à geração de resíduos em seus vários aspectos líquidos, sólidos e gasosos, e estes apresentam grandes riscos tanto no meio ambiente como também à saúde da sociedade (KRAUSE *et al.*, 2017).

Nos últimos anos, a atenção está voltada ao reaproveitamento de resíduos agrícolas e agroindustriais gerados nos diferentes processos da indústria. Portanto os resíduos agroindustriais tornaram-se uma fonte importante para a produção de novos materiais, produtos químicos e geração de bioenergia.

## 2 METODOLOGIA

*Coleta de amostras:* A fonte de celulose no processo de obtenção do carboximetilcelulose foi o resíduo do milho coletado na cidade de Coxim e Pedro Gomes-Mato Grosso do Sul, no período da safrinha durante o mês de abril de 2018 em locais de plantio.

*Preparo das amostras:* Do resíduo do milho, foi selecionada somente a palha, separando o sabugo e outras impurezas. Após a palha foi submetida à secagem ao sol por 48h. Em seguida, triturada no multiprocessador em partes menores para aumentar a superfície de contato e peneirada para uniformizar o tamanho. O resíduo do milho foi armazenado em local fresco até a utilização nos experimentos.

*Purificação do resíduo:* A pré-purificação foi realizada com 8 gramas da matéria-prima (resíduo do milho) com adição de 75 mL de água destilada onde permaneceu em repouso por 24 horas, na sequência a amostra foi filtrada e adicionou-se 75 mL de hidróxido de sódio (NaOH a 0,25 mol/L) a amostra (resíduo do milho) que permaneceu em repouso por 18 horas. Após o tempo decorrido a mistura foi filtrada à vácuo e lavada com água destilada até a água da lavagem obter pH neutro (7.0). O produto da pré-purificação foi filtrado à vácuo para prosseguir no processo de purificação da celulose.

Na purificação da celulose o produto já seco foi misturado com 450 mL de ácido nítrico e etanol (20% v/v ou 1:5) em sistema de refluxo. Após o refluxo filtrou e lavou o filtrado com água destilada até a neutralização. O material purificado passou por processo de secagem natural em temperatura ambiente até a remoção total da água.

*Reação de carboximetilação:* A polpa com cerca de 3 gramas de celulose já purificada foi suspensa em um reator de vidro com 95 mL de Isopropanol no sistema com resfriamento e agitação vigorosa em um agitador magnético por 30 minutos. Foram adicionados 9 mL de hidróxido de sódio (NaOH a 6,6 mol/L) ao sistema e agitado vigorosamente por 30 minutos. Em seguida adicionou-se 3,73 gramas de ácido monocloroacético (MCA) mantendo a agitação e aquecido a uma temperatura de até 80°C e vigorosamente agitada no agitador magnético por 4 horas de forma contínua sem interrupção. Por último, a carboximetilcelulose foi lavada com metanol e secada a temperatura ambiente até a completa retirada de umidade.

*Teste de gelificação e obtenção do material polimérico:* O material produzido foi pesado (0,5g) e adicionado em água destilada (10mL). Homogeneizou constantemente até a dissolução total. Observando-se a formação de gel. Após deixou-se em repouso até a total desidratação para obter o material polimérico.

*Teste de gelificação e obtenção do material polimérico:* O material (CMC) produzido foi pesado (0,5g) e adicionado em água destilada (10mL). Homogeneizou constantemente por 5 minutos até a dissolução total. Observando-se a formação de hidrogel. Após deixou-se em repouso até a total desidratação para obter o material polimérico.

*Análise térmica da carboximetilcelulose:* Após a obtenção do carboximetilcelulose (pó e polímero), foram realizadas as análises de teste térmico TG/DTG no INQUI-Instituto de Química da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande utilizando o



equipamento TG/TGA TA Instruments Modelo Q50 a partir da temperatura inicial de 25°C até a temperatura final de 900°C em atmosfera de ar com fluxo de 100 mL/minuto, razão de aquecimento, 10°C.min<sup>-1</sup>, em uma cadinho de platina (Pt) como suporte.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para obtenção da celulose purificada, foi realizada a preparação do resíduo do milho, iniciando com a etapa de trituração para diminuir o tamanho e também na redução do grau de polimerização celulósica, consequentemente aumentando a superfície de contato possibilitando que os reagentes possam agir melhor no processo posterior.

Em seguida, foi imerso em água por 24h para retirada de compostos inorgânicos e polissacarídeos de baixa massa molecular solúveis em água. Após foi filtrado e a massa celulósica foi colocado em NaOH 0,25 mol.L<sup>-1</sup> por 18h para o rompimento das ligações da matriz lignocelulósica para remoção de grande parte da lignina. Após filtração e secagem, o material residual foi refluxado em ácido nítrico e etanol (1:4, v/v) por 4h para o branqueamento da celulose, obtendo a celulose purificada (figura 1). O material celulósico obtido do resíduo do milho, então, prosseguiu com a síntese da carboximetilcelulose (CMC).

Figura 1. Celulose purificada a partir do resíduo do milho.



Fonte: Arquivo pessoal (2018).

Este processo de carboximetilação foi realizado em duas etapas distintas, alcalinização e eterificação (Figura 2). Na primeira etapa, ocorre a alcalinização onde a fase líquida (isopropanol) atua como agente de solvatação, dissolve o hidróxido de sódio (NaOH) distribuindo uniformemente para os grupos hidroxilas de celulose que formam celulose alcalina (SAVANGE, YOUNG e MAASBERG, 1954) ou álcali de celulose.

Nesta etapa, ocorre o entumescimento e rompimento da estrutura cristalina da celulose, facilitando o acesso do reagente esterificante (PEREZ, 1996).

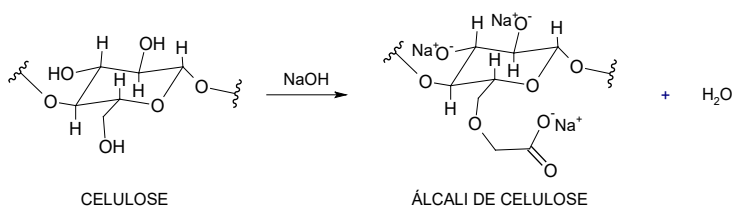
Na etapa de eterificação, há uma reação entre o álcali de celulose formado com o ácido monocloroacético, ou o seu sal. Nesta etapa, o NaOH reage simultaneamente com o ácido para formação de intermediários, sendo o glicolato de sódio e cloreto de sódio (KRASSIG, 1993). A reação de obtenção de carboximetilcelulose, conhecida também como a reação de Williamson (STIGSSON, KLOOW E GERMAGARD, 2001) mostrado na figura 2.

A partir do resíduo do milho foi obtido o material celulósico conforme mostra a figura 1 e seguindo a execução da reação de carboximetilação com os materiais celulósicos obtidos do resíduo, produziu-se a carboximetilcelulose (CMC). O material gerado foi obtido como um pó amarelo pálido como mostra a figura 3a e em seguida foi realizado testes de gelificação com adição de diferentes volumes de água, solução alcalina e ácida (Figura 4a e 4b).

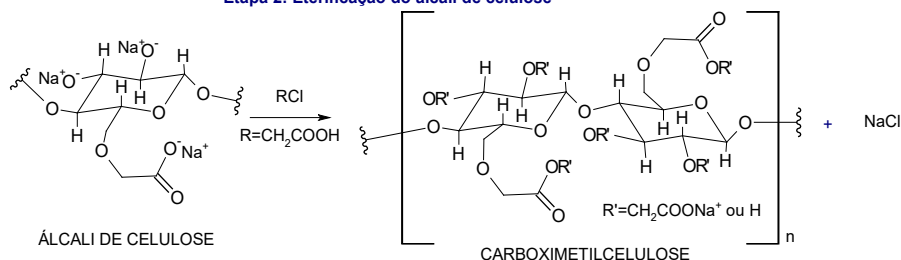
Conforme a figura 4a a adição de somente água nota-se a formação de hidrogel e na figura 4b, no recipiente 3 (solução ácida), nota-se uma mistura mais aquosa em relação aos outros recipientes 1 e 2 que foi homogeneizada com solução básica. Sendo assim, o material polimérico foi conduzido para obtenção de polímero misturando apenas em água. Na figura 3b pode ser observado o biopolímero formado.

Figura 2. Reação de obtenção de carboximetilcelulose.

**Etapa 1: Alcalinização da celulose**



**Etapa 2: Eterificação do álcali de celulose**



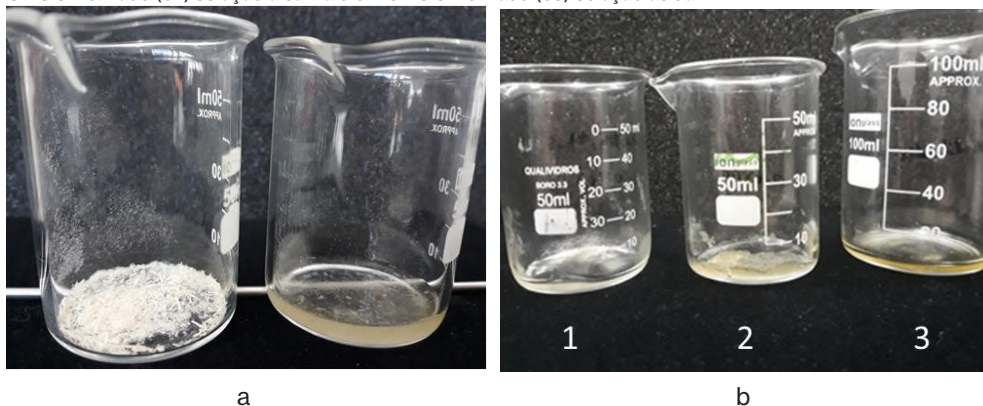
Fonte: Adaptado de STIGSSON, KLOOW E GERMAGARD, 2001.

Figura 3. Carboximetilcelulose (CMC) produzido a partir do resíduo do milho. a) CMC sintetizada em forma de pó antes da polimerização. b) CMC polimerizado.



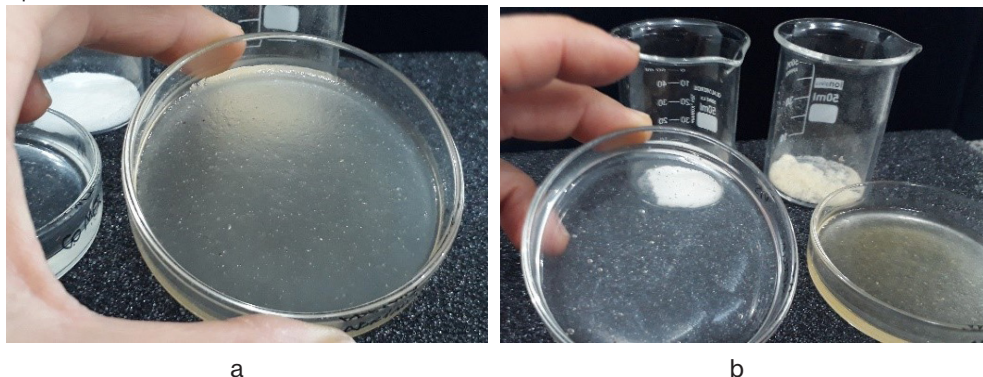
Fonte: Arquivo pessoal (2018).

Figura 4. a) Teste de gelificação do CMC produzido em água. b) Testes em CMC comercial (b1) solução alcalina; em CMC sintetizado (b2) solução alcalina e em CMC sintetizado (b3) solução ácida.



Fonte: Arquivo pessoal (2018).

Figura 5. Preparação para obtenção do material polimérico. a) segurando a placa com CMC produzido. b) segurando a placa com CMC comercial.



Fonte: Arquivo pessoal (2018).

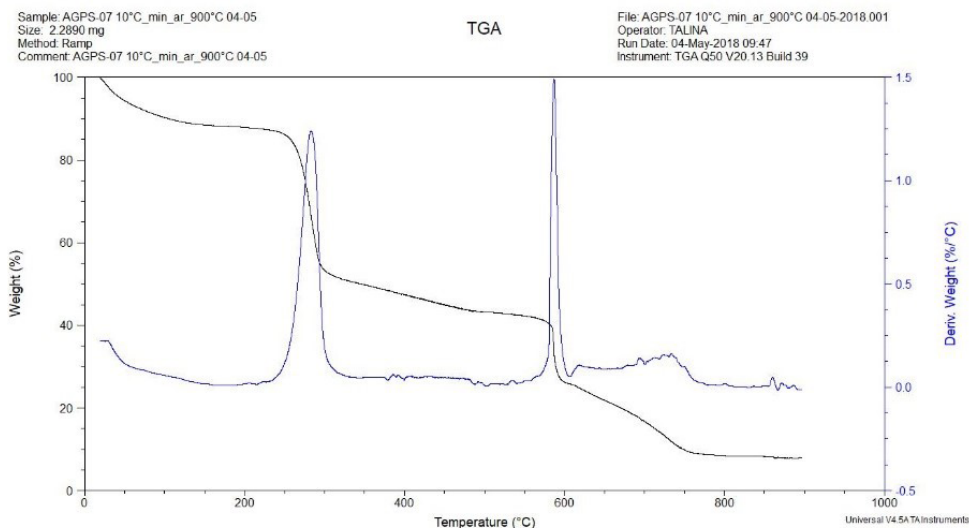
Após obter o biopolímero, o material foi analisado em TG/DTG para observar o comportamento térmico.

As curvas de TG/DTG obtidas para o CMC sintetizada em forma de pó (figura 6), CMC polimerizado (Figura 7) e CMC comercial (Figura 8) apresenta com bons indicativos de estabilidade térmica que pode ser observado pela volatilização de água representada nos intervalos de temperatura de 25-250 °C nas três curvas de TG/DTG (Figura 6, 7 e 8). Em comparação com a celulose ( $\approx 5\%$ ), apresentada em trabalhos anteriores (SANTOS, 2016), tanto a CMC sintetizada como a CMC comercial, apresentam perdas maiores ( $\approx 20\%$ ) como consequência do caráter altamente hidrofílico dos grupos introduzidos em sua estrutura.

O CMC devido a possibilidade de decomposição por descarboxilação, a etapa seguinte de perda de massa entre 250-350°C inicia-se em temperaturas menores comparando com a celulose que é iniciada em torno de 350°C. Kaloustian *et al.*, 1997 e Biswal e Singh 2004 apresenta a decomposição térmica da CMC, envolvendo o processo de descarboxilação ocorrendo entre 250-400°C.

Com o aumento da temperatura, os produtos que vão formando na decomposição continuam sofrendo reações de eliminação e/ou condensação como pode-se notar na curva TG sofre uma perda de massa de 26% em torno de 600°C e um pico de degradação máxima na curva de DTG.

Figura 6: Curva de TG/DTG do CMC sintetizado em forma de pó produzido a partir do resíduo do milho.

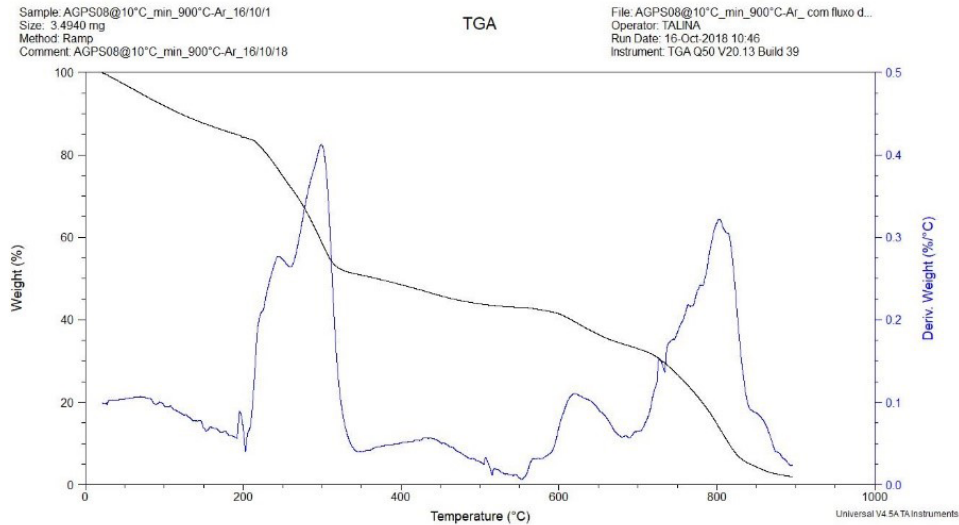


Fonte: Arquivo pessoal (2018).

Na curva de TG/DTG do CMC polimerizado, tanto na comercial como obtido experimentalmente nota-se de 250-350°C a ocorrência de um evento de decomposição

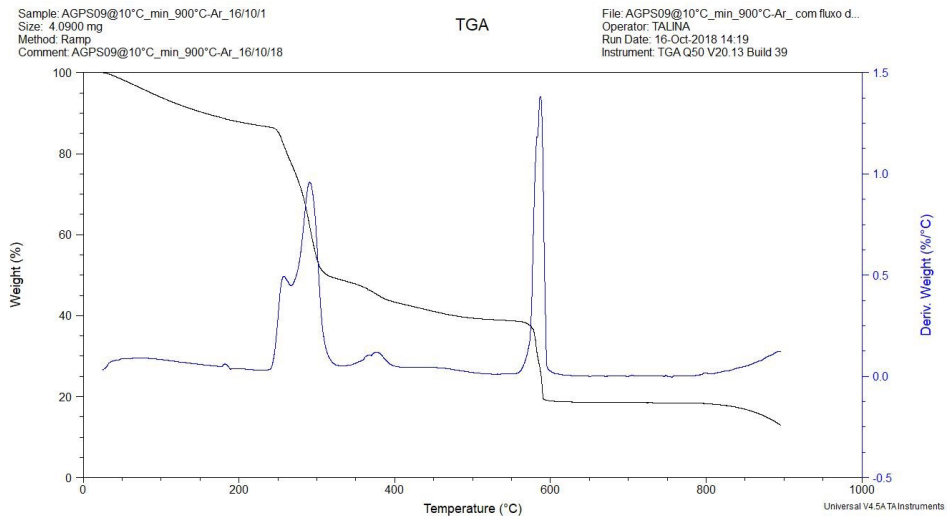
podendo ser atribuída a reações de condensação das hidroxilas e conversão dos ácidos e ésteres em  $\text{CO}_2$  e também da parte alifática da celulose podendo ser comparadas com resultados de BARBA e colaboradores, 2002. Acima dessas temperaturas, a CMC ainda sofrem perda de massa de 30-40%, ocorrendo a degradação de formação de óxido de sódio oriundos da NaCMC, corroborando para síntese efetiva da carboximetilcelulose conforme dados comparativos descrito em MACHADO, 2000.

Figura 7. Curva de TG/DTG do CMC polimerizado produzido a partir do resíduo do milho.



Fonte: Arquivo pessoal (2018).

Figura 8: Curva de TG/DTG do CMC comercial polimerizado.



Fonte: Arquivo pessoal (2018).

Desse modo, as curva de TG/DTG da CMC sintetizada (Figura 7) e a comercial (Figura 8) apresentam perfis de TG semelhantes mostrando a efetividade da reação de carboximetilação.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O pré-tratamento e a purificação da celulose a partir do resíduo do milho com alto teor de foram obtidos com bons rendimentos para prosseguir com a reação de síntese de carboximetilcelulose.

O método de carboximetilação da com o resíduo do milho apresentou eficiência na modificação da estrutura deste polissacarídeo, sendo que rendimento da reação pode ser melhorado, através de alguns parâmetros nas condições de reação de carboximetilação.

A análise termogravimétrica (TG/DTG) foi utilizada para avaliar as propriedades térmicas mostrando estabilidade térmica dos biopolímeros formados e a eficiência na síntese da CMC comparados com os descritos em literatura.

A carboximetilcelulose obtida a partir do resíduo do milho poderá ser um substituto de polímeros preparados a partir de matéria-prima de origem fóssil e um possível sucessor com valor agregado na aplicação tecnológica, biotecnológica e farmacológica.

#### 5 AGRADECIMENTOS

IFMS pelo auxílio financeiro e bolsa concedida à estudante Adriana G. P. da Silva; INQUI-UFMS.

#### REFERÊNCIAS

BARBA, C., MONTANE, D., RINAUDO, M., FARRIOL, X. Synthesys and characterizations of carboxymethylcellulose (CMC) from nomwoods fibers I. Accessibility of cellulose fibers and CMC synthesis. *Cellulose*. v.9, p. 319-326, 2002.

BISWAL, D. R., SINGH, R. P. Characterisation of carboxymethyl cellulose and plyacrylamide graft copolymer. *Carbohydrate polymers*. v. 57, p. 379-387, 2004.

BRITO, G. F., AGRAWAL, P., ARAÚJO, E. M., MÉLO, T. J. A. Biopolímeros, polímeros biodegradáveis e polímeros verdes, *Revista Eletrônica de Materiais e Processos*, v. 6, n. 2, p. 127-139, 2011.

CINQUETTI, H. S. **Lixo, resíduos sólidos e reciclagem: uma análise comparativa de recursos didáticos**. *Educar*, Curitiba, n. 23, p. 307-333, 2004. Editora UFPR. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/er/n23/n23a18.pdf>>. acesso em 15. junho.2017.

JIA, F, LIU, H.-J., ZHANG, G.-G. Preparation of carboxymethyl cellulose from corncob. *Procedia Environmental Science*, v.31, p. 98-102, 2016.

KALOUSTIAN, J. PAULI, A. M., PASTOR, J. Analyse thermique de la cellulose et de quelques derives therifies et esterifies. *Journal of Thermal Analysis*, v. 48, p. 791-804.1997,



KRAUSE, M. R., MONACO, P. A. V. L., HADDADE, I. R., MENEGHELLI, L. A. M., SOUZA, T. D. Aproveitamento de resíduos agrícolas na composição de substratos para produção de mudas de tomateiro. *Horticultura Brasileira*, v. 35, p. 305-310, 2017.

KRASSIG, H. A. **Cellulose: Structure, Accessibility and Reactivity**. Vol. 1. Switzerland: Gordon and Brech Science Publishers, pp. 307-313, 1993. Disponível em: <<https://www.deepdyve.com/lp/elsevier/cellulose-structure-accessibility-and-reactivityoEFE62sLKf>>. Acesso em 12. fevereiro.2018.

LOSS, E. M. S. **Aproveitamento de resíduos da cadeia produtiva do milho para cultivo de cogumelos comestíveis**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa-PR, 2009.

MACHADO, G. O. **Preparação e caracterização de CMC e CMC grafítizada**. 2000. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais, Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

PEREZ, D. S. **Estudo cinético da deslignificação acetona/água do *Eucalyptus urograndis***. São Carlos, 115p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1996.

ROMÃO, D. R. **Potencial de fibras de resíduos agrícola: Palha de milho (*Zea mays* L.) para produção de celulose**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia) Bacharelado em Engenharia Florestal – Universidade de Brasília, Brasília

SANTOS, I. D. **Influência dos teores de lignina, holocelulose e extrativos na densidade básica e na contração da madeira e no rendimento e densidade do carvão vegetal de cinco espécies lenhosas do cerrado**. 2008. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília

SANTOS, T. M. N. **Obtenção de compostos poliméricos a partir do bagaço da cana-de-açúcar e líquido da castanha de caju**. Coxim, MS. 45p. Trabalho de Conclusão de Curso (Monografia) – Curso de Licenciatura em Química, Instituto Federal de Mato Grosso do Sul, Coxim-MS, 2016.

SAVAGE, A. B., YOUNG, e MAASBBERG, Ethers. In: E. Ott, H.M. Spurlin, and M.W. Grafflin, eds. *Cellulose and Cellulose Derivatives Part II*. New York: Interscience Publishers, Inc., p. 882–954, 1954.

SEVERINO, F.J., CARVALHO, S.J.P. e CHRISTOFFOLETI, P.J. Interferências mútuas entre a cultura do milho, espécies forrageiras e plantas daninhas em um sistema de consórcio. i – implicações sobre a cultura do milho (*Zea mays*). *Planta Daninha*, Viçosa-MG, v. 23, n. 4, p. 589-596, 2005. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/pd/v23n4/27486.pdf>>. Acesso em 25. maio.2018.

STIGSSON, V., KLOOW, G. AND GERMGARD, U. An historical overview of carboxymethyl cellulose (CMC) production on an industrial scale. *Paper Asia*, v. 10, n. 17, p. 16-21, 2001.

UDRY, C. V., DUARTE, W. Uma história brasileira do milho - o valor dos recursos genéticos. Brasília. Paralelo 15. 2000. Disponível em: <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/91836/1/Uma-historia-brasileira-do-milho.pdf>>. Acesso em 1.julho.2017.

VEASEY, E. A., PIOTTO, F. A., NASCIMENTO, W. F., RODRIGUES, J. F., MEZETTE, T. F., BORGES, A., BIGUZZI, F. A., SANTOS, F. R. C., SOBIERAJSKI, G. R., RECCHIA, G. H., MISTRO, J. C. Processos evolutivos e a origem das plantas cultivadas. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 41, n. 7, p. 1218-1228, jul, 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v41n7/a4411cr4313.pdf>>. Acesso em 1.julho.2017.

## CAPÍTULO 28

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

*Data de submissão: 03/02/2021*

*Data de aceite: 26/02/2021*

**Daniela de Ulysséa Leal**

Universidade Federal de Viçosa

Viçosa – MG

<https://orcid.org/0000-0001-7865-3296>

**Ivonete da Silva Lopes**

Universidade Federal de Viçosa

Viçosa – MG

<https://orcid.org/0000-0001-5162-4719>

**RESUMO:** Este artigo analisa como os agricultores da microrregião de Viçosa são alertados sobre os riscos inerentes aos agrotóxicos quando chamados a assumir sua responsabilidade compartilhada na logística reversa destas embalagens. Esta prática foi instituída no Brasil pelo Decreto 4704/2002, que estabelece que a responsabilidade pelo pós-consumo das embalagens deve ser compartilhada entre agricultores, revendedores e fabricantes. O presente trabalho realiza análise de conteúdo de peças comunicacionais do Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias (Inpev), da Empresa Brasileira de Assistência Técnica e Extensão Rural de Minas Gerais

(Emater-MG), do comércio local, bem como bulas de produtos agrotóxicos. Entre os principais resultados foi possível perceber que esta comunicação não esclarece os usuários sobre os riscos que envolvem a lida com o produto agrotóxico, omitindo informações que seriam cruciais para a saúde humana e para o bem do ecossistema.

**PALAVRAS-CHAVE:** Saúde. Agrotóxico. Comunicação de Riscos. Logística Reversa. População Rural.

**SHARING RESPONSIBILITIES AND RISKS? RISK COMMUNICATION IN THE REVERSE LOGISTICS OF AGROCHEMICAL PACKAGING**

**ABSTRACT:** This paper aims to analyze how farmers in Viçosa microregion are warned about the risks inherent to the pesticides when called upon to assume their shared responsibilities in this reverse logistics process of these packages. This process was established in Brazil by Presidential Decree 4704/2002 which states that the responsibility for post-consumer packaging must be shared between farmers, dealers and industries. This article examines the content of the National Institute of Empty Packaging Process (Inpev) website, the Brazilian Company of Technical Assistance and Rural Extension of Minas Gerais



(Emater-MG) primer, local commerce ads, and pesticide products leaflets. Among the main results we found that the risks involved in dealing with pesticide are not clear to the users, and that information which would be crucial for human health and for the ecosystem is omitted.

**KEYWORDS:** Health. Pesticides. Risk Communication. Reverse Logistics. Rural Population.

## 1 INTRODUÇÃO

A agricultura brasileira, assim como em muitos outros países, estabeleceu suas bases produtivas sobre o uso de insumos químicos buscando elevar a produtividade. Contudo, notificações de contaminação ambiental e de problemas de saúde pública, como intoxicações de trabalhadores rurais e resíduos em alimentos, desencadearam o reconhecimento dos riscos decorrentes do uso abusivo dos agrotóxicos (NEVES *et al.*, 2020).

O uso de agrotóxicos, termo definido pela Lei Federal nº 7.802/1989 para colocar em evidência a toxicidade destes produtos, tem sido incentivado pelos setores privados e públicos. Desta forma, a regulação do mercado nacional pode ser considerada pouco restritiva ao uso de agrotóxicos, visto que 30% dos ingredientes ativos (IA) com registros autorizados no país são proibidos na União Europeia. Não obstante às evidências dos males trazidos pelo uso de agrotóxicos (BOMBARDI, 2017; AGUIAR, 2017; NEVES, 2017), foram registrados entre 2019 e 2020 mais 987 novos produtos.

Para reduzir o impacto ambiental causado pelo descarte destas embalagens, já que os 0,3% dos resíduos de agrotóxicos permanece nestas, o Decreto 4.074/02 atribuiu aos usuários a responsabilidade da devolução das embalagens vazias aos comerciantes que, por sua vez, devem ser reencaminhadas aos fabricantes para reciclagem (ou incineração).

Este artigo analisa como os riscos inerentes aos agrotóxicos são comunicados aos agricultores da microrregião agrícola de Viçosa, em Minas Gerais, quando estes são chamados a assumir sua responsabilidade na cadeia da logística reversa das embalagens. O presente estudo é recorte de uma pesquisa de caráter qualitativo, que teve como base metodológica a análise de conteúdo, procedimento sistemático para levantamento de indicadores que permitam a realização de inferência sobre determinado texto (BARDIN, 1977).

Pela perspectiva de que todos são responsáveis pela destinação das embalagens vazias por terem se beneficiado do produto, a responsabilidade compartilhada pode ser entendida como conjunto de atribuições individualizadas e encadeadas, que visa

identificar o papel de cada membro na cadeia (MACEDO; ROHLFS, 2013). A comunicação de risco pode ser compreendida enquanto troca de informações e opiniões acerca do risco entre diversos atores, devendo ser calcada em linguagem adequada e plural para reforçar a compreensão dos processos pelo público leigo (FURNIVAL et al, 2004). Neste sentido, os agrotóxicos e suas embalagens representam riscos ao meio ambiente, por contaminar o solo e lençóis freáticos, e à saúde – especialmente do agricultor. De acordo com Bombardi (2017), são registrados 3.125 casos de intoxicação por agrotóxicos por ano, sendo que, para cada caso notificado, acontecem 50 sem notificações.

Muitos são os meios utilizados para comunicar ao agricultor como preparar a embalagem para se inserir nesta logística reversa. A ênfase neste trabalho é a comunicação feita por três atores envolvidos no processo: 1) a indústria, por meio das informações contidas nas bulas de glifosato (herbicida mais vendido no mundo) e do site do Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias (Inpev), entidade sem fins lucrativos criada pelas agroquímicas e revendedores de agrotóxicos para promover o programa de logística reversa das embalagens vazias de seus produtos, conhecido como Sistema Campo Limpo (SCL); 2) comércio agropecuário local; e 3) Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (Emater). Os dois últimos desenvolvem ações de orientação sobre a logística reversa em contato direto com o agricultor.

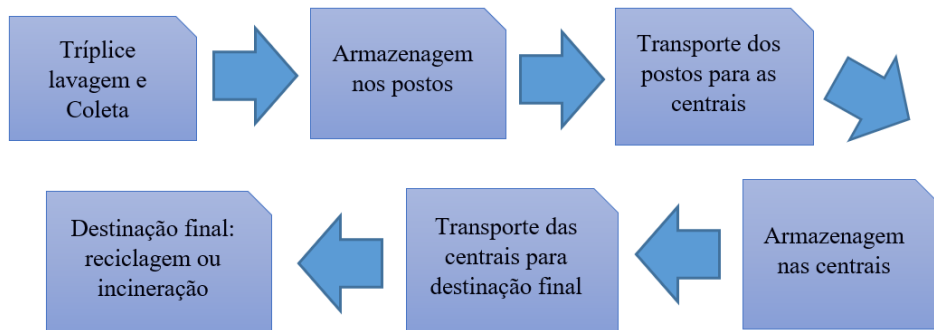
O texto está organizado em quatro seções, além das considerações finais. A primeira delas apresenta o processo da logística reversa das embalagens de agrotóxico no Brasil. A próxima seção traz um aporte teórico sobre a Comunicação de Riscos, seguida pela apresentação da metodologia e da seção de resultados.

## **2 O PROCESSO DA LOGÍSTICA REVERSA DAS EMBALAGENS DE AGROTÓXICO NO BRASIL**

A economia circular, que possibilita a reinserção de resíduos de embalagens no ciclo produtivo como matéria-prima traz ganhos ambientais, como a redução do impacto causado pelo descarte inadequado de resíduos, além de ganhos econômicos, a exemplo das cooperativas de catadores (GUARNIERI; CERQUEIRA e BATISTA, 2020). Como desde 1991 as embalagens de plástico passaram a ser utilizadas para o armazenamento dos produtos agrotóxicos, por serem consideradas mais seguras e resistentes ao transporte e manuseio (COMETTI, 2009), este lixo plástico e tóxico tornou-se uma grave questão ambiental. Para prevenir essa situação, o Decreto 4704/2002 define que os usuários do produto devem efetuar a devolução das embalagens vazias aos estabelecimentos comerciais em que foram adquiridos.

Na cadeia da logística reversa (LR) das embalagens de agrotóxico no Brasil, o agricultor tem a responsabilidade de devolver a embalagem num posto de recebimento e as indústrias são responsáveis pelo destino final destas embalagens, que podem ser recicladas ou incineradas, conforme fluxo apresentado abaixo na Figura 1:

Figura 1- Fluxograma da logística reversa das embalagens de agrotóxico no Brasil.



Fonte: Elaboração própria. Adaptado de INPEV (2017)

Como se observa no fluxograma acima, as embalagens de agrotóxicos entram em contato com diversos atores, configurando um processo que apresenta inúmeros riscos em suas etapas, devido às diferentes interações entre sujeitos e embalagens. Estas interações são especificadas pela posição que cada sujeito ocupa nesta cadeia, de acordo com a responsabilidade legal que lhe é atribuída.

O agricultor tem a tarefa de devolver a embalagem no prazo de um ano a contar da data da compra no local indicado na nota fiscal. Cabe também ao trabalhador rural realizar a tríplice lavagem das embalagens, prevista na norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) n.3.968. A lavagem deve ser realizada na hora em que o agrotóxico está sendo utilizado e, em seguida, deve-se despejar totalmente o conteúdo no tanque pulverizador além de lavar os equipamentos de aplicação. Para realizar esta lavagem deve-se adicionar água limpa à embalagem até  $\frac{1}{4}$  do seu volume, fechar a embalagem e agitá-la por 30 segundos. Em seguida, essa água deve ser despejada no pulverizador. A operação deve ser repetida mais duas vezes para que a embalagem deixe de ser considerada perigosa e possa ser reciclada com segurança.

Se o agricultor não fizer a lavagem na hora em que agrotóxico é usado no pulverizador, ela passa a ser proibida, pois não há onde jogar essa água sem que se danifique o ambiente (FARIA; PEREIRA, 2012). Percebe-se assim, que este é um processo meticuloso e passível de falhas. Bombardi (2017) alerta que muitas vezes estes objetos são lavados em água de múltiplo uso, o que pode vir a ser mais uma fonte da exposição humana ao risco. Além desta tríplice lavagem, os agricultores devem também perfurar as embalagens para que se tornem inutilizáveis.

De acordo com o Decreto 4.074/2002, todos os atores que usufruíram de algum modo do produto são legalmente responsáveis pela logística reversa das embalagens. Esta lei prevê, aos agricultores, punição em termos administrativos, civil e penal, caso haja destinação incorreta das embalagens vazias, ou procedimentos em desacordo ao receituário dos fabricantes, estando sujeito à pena de reclusão de dois a quatro anos, além de multa.

No que tange aos fabricantes, é comum as indústrias transferirem sua responsabilidade para outras entidades criadas por iniciativa das próprias indústrias, desta forma, pagam para utilizar esta terceira marca, transferindo para ela sua responsabilidade socioambiental (BIMBATI e RUTKOWSKI, 2016). Para tal, os fabricantes de agrotóxicos criaram o Instituto Nacional de Processamento de Embalagens Vazias (Inpev), uma entidade sem fins lucrativos com o objetivo de promover a logística reversa das embalagens vazias de seus produtos.

Dentro desta cadeia de responsabilidades compartilhadas, o Inpev atua como núcleo de inteligência do Sistema Campo Limpo (SCL), nome do programa brasileiro de logística reversa de embalagens vazias de agrotóxicos que abrange todas as regiões do país. Entre diversas ações, o programa promove o recebimento itinerante, em articulação com associações locais e serviços de Assistência Técnica e Extensão Rural (ATER), para facilitar o acesso dos agricultores que moram distante dos postos de coleta.

Dentre as atribuições de cada ator nesta LR, cabe aos produtores e comerciantes o controle dos tipos, quantidades e datas de vendas de produtos, além das embalagens devolvidas pelos usuários. Tais controles devem estar disponíveis para a fiscalização (FARIA; PEREIRA, 2012). Os postos de recebimento recolhem as embalagens vazias e classificam entre lavadas e não lavadas, separam segundo o tipo de material e são responsáveis por emitir um comprovante de entrega para os agricultores. As centrais também realizam estas classificações e compactam as embalagens, cabendo ao fabricante do produto, através do Inpev, encaminhar as embalagens lavadas para reciclagem e incinerar as contaminadas (INPEV, 2016).

Quanto à responsabilidade compartilhada, cabe ao Inpev o transporte das embalagens dos postos de coleta até as centrais de armazenagem e depois destas para a destinação final (INPEV, 2016). O setor empresarial tem a responsabilidade, também, de promover educação ambiental da população consumidora, assim como divulgar informações referentes às formas de evitar, reciclar e eliminar os resíduos associados a seus respectivos produtos (MACEDO; ROHLFS, 2013). Além destes custos, a reciclagem e a incineração das embalagens também ficam a cargo do Inpev.

Nas cooperativas de reciclagem, as embalagens vazias de agrotóxico viram uma resina, aplicada em 33 artefatos, como: *Pallets*, suporte para sinalização rodoviária, cruzeta de poste, caçamba e roda plástica para carriola, embalagem para óleo lubrificante, conduíte, dutos, caixas, tubo para esgoto, barricas de papelão e plástica (INPEV, 2016). As tampas, por serem padronizadas, são utilizadas em novas embalagens.

Para além de uma visão instrumentalista desta operação, a responsabilidade compartilhada entre agricultores, comerciantes e as indústrias agroquímicas na logística reversa das embalagens vazias não se configura um espaço de relações uniformes, visto que existe grande diferença em relação ao capital de cada parte. Percebe-se que o agricultor, muitas vezes o menos capitalizado desta relação, é forçado a ocupar uma posição menos favorecida neste espaço, pois é responsável pela lida direta com embalagens tóxicas, inclusive sua lavagem e armazenamento até o momento da devolução.

O poder público também compartilha responsabilidade nesta cadeia, fiscalizando esta logística reversa. Todavia, na esfera federal, sofre pressão das indústrias agroquímicas para afrouxar a legislação e aumentar a quantidade de produtos circulantes no mercado, intensificando o consumo de princípios ativos.

### 3 A COMUNICAÇÃO DE RISCOS (CR)

Alguns estudos identificaram que uma percepção de risco mais clara pode incentivar comportamentos significativos de mitigação destes riscos (BINH *et al.*, 2020). Para tal, a comunicação de riscos (CR) não deve compreender apenas as informações sobre o risco, mas também a elaboração de mensagens acerca da natureza do risco, preocupações, opiniões e reações resultantes da divulgação das mensagens, além de questões legais que abordam o processo de gestão do risco. Desta forma, a CR pode ser caracterizada como uma situação na qual a população tem acesso à informação e, da mesma forma, tem envolvimento com a prevenção do risco, o que configura uma relação baseada na troca de percepções e opiniões de vários atores sociais. Neste sentido, estratégias de CR devem lançar mão de linguagem adequada e plural, reforçando a compreensão dos processos pelo público leigo (COVELLO, 1993).

Para Furnival *et al.* (2004), apenas a transmissão de informações não apresenta elementos suficientes para garantir uma comunicação eficaz sobre estes, fazendo-se necessárias adequações nas configurações e ações institucionais, culturais e sociais. Deste modo, é importante considerar o caráter dinâmico da CR, em acordo com os variados riscos e grupos sociais.

Sendo assim, para que a comunicação dos riscos seja efetiva, é preciso que haja um alinhamento entre a percepção do risco por parte do emissor e do receptor. Quando estes papéis são desempenhados por atores com valores socioeconômicos muito contrastantes este alinhamento torna-se mais difícil, geralmente prevalecendo a ótica do mais forte. Segundo Di Giulio *et al.* (2012), a abertura de diálogo e do processo decisório aumenta a confiança da população. Contudo, historicamente, a indústria e o Estado não têm trazido a sociedade para debates em relação a situações de riscos e de crise (COVELLO, 1993).

Para Baram (1989), a CR é vista como um imperativo moral, já que os princípios de justiça e equidade social exigem que um indivíduo não permita que suas atividades coloquem em risco a saúde e a segurança dos outros, assumindo a responsabilidade de informar e avisar aos que se encontrem nesta situação. Segundo Fischhoff (1995, p. 144), se a comunicação de risco for efetiva “pode cumprir parte do contrato social entre aqueles que criam os riscos (como um subproduto de outras atividades) e aqueles que os irão suportar (talvez juntamente com os benefícios dessas atividades)”. Desta forma, numa sociedade estratificada pelo conhecimento dos riscos a que está submetida, a socialização desses debates pode se aproximar, analogamente, do ideal de justiça social.

Sendo assim, uma CR sobre os agrotóxicos deve ter como foco um esclarecimento didático sobre os danos que o produto causa à saúde e ao meio ambiente, alertando sobre as possibilidades e interações que possam favorecer qualquer contaminação, para além de uma abordagem apenas técnica. Rozemberg e Peres (2003, p. 336) apresentam preocupações semelhantes ao presente estudo ao realizar uma pesquisa sobre o entendimento de agricultores acerca de pictogramas presentes em certas bulas de agrotóxicos. O resultado aponta para uma “não compreensão de tais informações, ou ainda para uma compreensão que, distorcida, resvala na direção oposta ao do objetivo do idealizador de tal produto”. Como exemplo, o pictograma que significava “Lave e inspecione sempre os equipamentos no fim de cada dia de trabalho” era interpretado pelos pesquisados como “Preparando o remédio na máquina”, “Enchendo o pulverizador, ou até “Está com a marmita nas mãos”.

Rembishevski e Caldas (2018) atribuíram a incompreensão destes pictogramas a diferenças nos contextos socioculturais entre quem envia e quem recebe a mensagem, visto que aspectos estruturais, socioculturais e cognitivos permeiam o universo laboral dos trabalhadores rurais. Identificaram também a relevância da regionalização no modo como os agricultores se referem aos agrotóxicos, fator que não pode ser ignorado no desenvolvimento de estratégias de CR.

## 4 METODOLOGIA

O presente trabalho lançou mão da análise de conteúdo (BARDIN,1977) como metodologia e contou, como ferramenta, com o software IRaMuTeQ para realizar estas análises através da frequência das palavras, formando, assim, nuvens de palavras. O *corpus* é formado por todo conteúdo do site do Inpev ([www.inpev.org.br](http://www.inpev.org.br)), bem como pelas bulas de quatro importantes marcas de produtos à base de glifosato, selecionadas pela disponibilidade *on line* de acesso ao material: Nortox, Zavite, Atanor 48 e Round up. O *corpus* é complementado pela cartilha “Destino correto das embalagens vazias de agrotóxicos na cafeicultura” e pelo spot veiculado no programa radiofônico Estação Rural, ambos produzido pela Emater-MG ([www.emater.mg.gov.br](http://www.emater.mg.gov.br)), além de cartazes produzidas pelo comércio agropecuário da microrregião de Viçosa.

Adiciona-se ainda a pesquisa documental que envolveu dados contidos nos recibos relativos à coleta de embalagens no ano de 2018 pela Associação dos Revendedores de Defensivos Agrícolas da Microrregião de Viçosa (Ardrev), operadora desta logística reversa na região.

## 5 COMUNICAÇÃO DOS RISCOS NA DEVOLUÇÃO DAS EMBALAGENS DE AGROTÓXICOS

De acordo com dados da Ardrev, responsável pelo posto de coleta na microrregião de Viçosa, 13% das embalagens recolhidas em 2018 foram registradas como não lavadas, ou seja, deveriam ter sido lavadas três vezes até 24 horas após o uso final para poderem ser recicladas, mas não o foram. Algumas, apesar de terem sido registradas como lavadas, chegam sem o ser ou chegam mal lavadas, visto que alguns agricultores realizam apenas uma lavagem com o único intuito de aproveitar todo o produto do vasilhame, o que faz com que sejam consideradas contaminadas e inservíveis para reciclagem. Sendo assim, percebe-se o papel importante do agente comunicador para instruir e esclarecer os passos para a realização desta operação, de forma segura, e prevenir sobre os riscos que o produto agrotóxico traz à saúde e ao meio ambiente.

Para compreender como a indústria realiza esta comunicação, primeiramente foi realizada a análise de todo o conteúdo do site [www.inpev.org.br](http://www.inpev.org.br), lançando mão do suporte fornecido pelo software IRaMuTeQ. Verificou-se o caráter utilitarista e instrumental desta comunicação, que prioriza a mecânica e operacionalização do trato com a embalagem, em detrimento a alertas sobre os riscos do produto nela contido. A locução “defensivo agrícola” e a palavra “defensivo” são as únicas nomenclaturas usadas no site para se referir ao produto agrotóxico. Desta forma, o Inpev, em desacordo com a Lei Federal nº

7.802/1989, não expõe de forma clara tratar-se de uma operação que envolve um produto tóxico, que oferece uma gama de riscos. O deslocamento semântico aplicado neste caso, alia ao produto a ideia de “defesa”, agregando aspectos subjetivos positivos a produtos que podem ser altamente nocivos.

Para complementar as análises da comunicação industrial sobre os riscos dos agrotóxicos, procedeu-se a avaliação das informações das bulas destes produtos, pois, segundo Belo e Peres (2011), as informações contidas em rótulos e bulas têm papel central no processo de comunicação rural, visto a frágil condição da assistência técnica e da educação rural brasileiras. De acordo com o Censo Agropecuário 2017, dos 1 681 740 estabelecimentos agrícolas que declararam usar agrotóxicos, apenas 37% afirmaram ter recebido orientação técnica (IBGE, 2019).

Como, segundo dados dos recibos de coleta da Ardrev, 54% das embalagens retornadas em 2018 foram de glifosato, este estudo concentrou-se em analisar bulas de quatro marcas deste produto: Nortox, Zavite, Atanor 48 e Round up. Pode-se perceber diferenças entre as informações referentes à proteção da saúde humana por cada laboratório. Segundo a marca Nortox, o produto pode causar danos hepáticos e renais quando ingerido em doses altas, portanto é possível inferir que não há problemas com uma ingestão moderada. A bula do glifosato Zavite afirma que pode haver reação alérgica cutânea em indivíduos susceptíveis, no entanto, o produto é tóxico para todas as qualidades de pessoas, não sendo um predicativo do sujeito. Já a bula do Atanor 48 informa que manifestações clínicas são proporcionais a concentração, quantidade e tempo de exposição ao glifosato, o que não isenta a toxicidade do produto. A bula do Round Up comunica que o glifosato é metabolizado em ácido aminometilfosfónico (AMPA) mas não explica ao usuário o alto grau de toxicidade existente neste composto final, que será excretado pela urina, tornando-a tóxica e contaminante de águas.

Na seção “Dados Informativos sobre proteção ao meio ambiente” da bula, semelhante em todas as marcas, aparecem as seguintes recomendações: “Evite a contaminação ambiental; Preserve a Natureza; Aplique somente as doses recomendadas; Descarte corretamente as embalagens e restos de produtos”. Embora se trate de frases de ordem e alerta, elas não vêm acrescidas de maiores informações que podem elucidar o usuário sobre a lida com o produto e sua embalagem.

Esta parte do receituário apresenta também, informações sobre os procedimentos de lavagem, armazenamento, devolução, transporte e destinação de embalagens vazias e restos de produtos impróprios para utilização ou em desuso. Percebe-se que a linguagem adotada, com viés técnico e pouco coloquial, não acompanha a possível pluralidades de usuários do produto, já que é o mais usado em todos os estados do Brasil e em diversos



extratos sociais. Sendo assim, características importantes da CR, como o esclarecimento do risco para o usuário leigo e o engajamento público na prevenção de riscos, não estão sendo adotadas pelas empresas agroquímicas.

Através da análise de conteúdo das seções sobre a devolução das embalagens, nas bulas de glifosato, pelo software IRaMuTeQ, foi obtido um *corpus* que foi estruturado em forma de nuvem de palavra. Assim, como no site do Inpev, percebe-se o emprego da comunicação unicamente para a devolução das embalagens, sem associar ao processo, por exemplo, a possibilidade de “contaminação”, palavra que aparece apenas uma vez em cada bula das diferentes marcas de glifosatos estudadas. Interessante observar a não utilização de palavras como “risco”, “cuidado” ou “perigo” para informar o usuário sobre as práticas para a devolução das embalagens vazias. Desta forma, percebe-se que esta comunicação não apresenta aspectos mais afins a saúde e a sustentabilidade.

O usuário do agrotóxico, ponta da cadeia da logística reversa, ocupa uma posição menos privilegiada neste ciclo. Como a parte que lhe cabe demanda precisão, os textos das bulas deveriam ofertar aos agentes afetados pelo risco todas as informações necessárias para que as atitudes mais adequadas sejam tomadas, inclusive no tocante às prevenções dos riscos, de forma mais clara e mais didática. Assim, os usuários ocupam um lugar vulnerável, não se apropriando de informações que poderiam contribuir na defesa da própria saúde e do meio ambiente. Este material informativo induz, ainda, o usuário do glifosato a assumir a culpa pelos males advindos do produto, atribuindo ao mau uso ou a uma possível sensibilidade as doenças que poderiam aparecer, bem como contaminações ambientais.

Além da comunicação por parte das indústrias, outros canais, de caráter mais local, também instruem os agricultores sobre a devolução das embalagens, como agentes de extensão rural e revendedores locais. A Emater-MG, vinculada à Secretaria de Estado de Agricultura, Pecuária e Abastecimento, do governo do Estado de Minas Gerais está presente em cerca de 790 municípios do Estado, atendendo aproximadamente 400 mil agricultores. Em parceria com o INPEV, prefeituras, e comércios agropecuários, a empresa tem colaborado na articulação de campanhas de recolhimento de embalagens de agrotóxicos na microrregião de Viçosa, mas de forma esporádica pelo limite de recursos. Para dar suporte aos extensionistas na missão de esclarecer ao público atendido sobre a logística reversa das embalagens de agrotóxico está a produção e publicação da cartilha “Destino correto das embalagens vazias de agrotóxicos na cafeicultura”, elaborada com auxílio do Departamento Técnico da Emater-MG e da Defesa Sanitária Vegetal (IMA).

A cartilha orienta o trato das embalagens laváveis, embalagens contaminadas e embalagens não contaminadas (as que não entram em contato direto com o produto).

Contudo, esta classificação não isenta nenhum grupo de ser fonte de riscos e foco de contaminação. A segurança, neste texto, é apresentada como algo subjetivo, não se esclarecendo parâmetros que possam garantir uma proteção mínima contra os riscos do agrotóxico. Percebe-se que a Emater-MG, ao tentar elucidar através de sua cartilha os usuários sobre como proceder na tríplice lavagem das embalagens, não busca chamar a atenção sobre os riscos a que estes estão se submetendo.

Outra peça comunicacional produzida pela Emater sobre o assunto foi um spot, veiculado no programa radiofônico Estação Rural, produzido pela Assessoria de Comunicação da Emater-MG, em Belo Horizonte, disponível no site da Emater-MG ([www.emater.mg.gov.br](http://www.emater.mg.gov.br)), apresentada dentro do quadro Dica Técnica. No spot, que tem a duração de 1' 47'', um extensionista da Emater explica que “todo usuário de agrotóxico deve estar atento aos procedimentos de utilização deste produto, buscando a preservação da saúde humana e do meio ambiente”. Neste sentido, é chamada a atenção do ouvinte para os procedimentos, e não para o produto e os riscos que ele oferece. O interlocutor omite os cuidados que se deve ter ao inserir água pura no processo, pois não está claro que não se pode submergir esta embalagem em água pura. O extensionista complementa que todas as embalagens deverão ficar armazenadas em local adequado, por um período máximo de um ano a contar da data de compra. Ao usar o termo “adequado”, o extensionista deixa a critério do agricultor a função de estabelecer um parâmetro de segurança para o armazenamento destas embalagens, o que vai levar em conta seu capital econômico, cultural e social.

Quanto à comunicação proveniente do comércio agropecuário da microrregião de Viçosa, recorte espacial deste estudo, o porte e estrutura dos comércios, assim como a existência de ações estratégicas de comunicação, interferem nas características desta advertência, que se dá de forma diversa. Foram encontrados estabelecimentos agropecuários sem nenhum comunicado impresso disponível para orientar o consumidor, ficando as orientações a cargo do vendedor. Em outros estabelecimentos, encontrou-se comunicados bem simples, como um cartaz em preto e branco numa folha A4 que informa sobre a obrigação de se fazer a tríplice lavagem, sem detalhamentos nem advertências sobre o processo. Nesta ação comunicacional também não se identifica nenhuma menção aos riscos dos produtos agrotóxicos. A tríplice lavagem aqui é tida como “lugar comum”, ou seja, algo entendido por todos que adquirem o agrotóxico na loja, o que pode não corresponder a realidade.

Alguns comércios agropecuários, mais estruturados, realizam, também, recebimentos itinerantes, indo nas propriedades dos usuários cadastrados ou estabelecendo um posto de coleta em local mais acessível. Para realizar a campanha,

esta empresa confecciona e divulga material promocional, porém que não traz mais informações sobre o proceder do consumidor, nem sobre cuidados necessários. O apelo “É hora de devolver as embalagens vazias e sobras de agrotóxicos” não vem agregado de instruções sobre o “como” fazer. Percebe-se que o foco da campanha promovido por esta empresa é a coleta de embalagens vazias, bem como as sobras de produtos, não destacando passos importantes do processo, como a tríple lavagem, e nem alertando sobre os riscos que envolvem a lida com o produto tóxico.

Desta forma, pode-se concluir que o comércio agropecuário local, apesar de diverso em estratégias para comunicar esta logística reversa, em geral, não dá a devida atenção à parte que cabe ao consumidor neste processo. Grande parte não assume a orientação ao usuário e cliente sobre os passos que este deve dar para realizar este processo de devolução, os cuidados com a saúde e ecossistema. Pode-se inferir que para parte do comércio local, seu compromisso com seus consumidores se restringe à venda e ao recolhimento das embalagens, sendo que os modos de interação do cliente com o produto não são da sua alçada.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao analisar a logística reversa e a comunicação de risco neste processo, percebe-se que é demandado ao agricultor compartilhar a responsabilidade sobre as embalagens dos produtos, porém o conhecimento sobre os riscos do processo é restrito à fonte emissora desta comunicação. As indústrias, através do Inpev e das bulas dos produtos, gerenciam e estimulam esta logística reversa, porém velando informações que seriam cruciais para a saúde de usuários e para o bem do ecossistema. Ambos canais desta comunicação industrial têm grande alcance, porém bulas e rótulos estão presentes em todo lugar em que o produto se encontra, mesmo ermo. Sendo assim, deveriam estar adequados a uma comunicação plural e ser suficientes para esclarecer qualquer usuário sobre todos os riscos do produto, mas não o são.

As revendedoras, da mesma forma, têm obrigação legal de recolher as embalagens, todavia a comunicação que orienta os clientes sobre este processo não apresenta os riscos do produto agrotóxico de maneira detalhada, de forma a não gerar receio com o uso do produto e intimidar o consumo.

A comunicação sobre esta logística reversa por parte da Emater-MG, agência de cunho público e que tem como foco agricultores familiares, também não é clara quanto aos riscos do agrotóxico. A agência demanda capacitação e atualização de sua equipe, contudo está sentindo o grande desmonte estatal que o Brasil vem sofrendo,

encontrando-se limitada de recursos. Nota-se, pelo que já foi exposto, que as ações da empresa precisam de adequação na parte comunicacional.

Sendo assim, percebe-se que o agricultor se encontra sozinho nesta trilha pela sua saúde e autodefesa. Neste sentido, como criar uma matriz de prevenção dos riscos dos agrotóxicos se a fonte de informação lança mão de subterfúgios que ludibriam os usuários? Subterfúgios de comunicação que promovem deslocamento semânticos, retirando a responsabilidade pela intoxicação do colo das empresas e atribuindo ao operador do produto os males advindos. O próprio nome atribuído ao sistema de logística reversa destas embalagens é o maior destes subterfúgios, já que foi batizado de Sistema Campo Limpo. Campo limpo de plásticos é suficiente para que a sustentabilidade seja levantada como princípio norteador e utilizada como estratégia de comunicação, ignorando a quantidade de resíduos químicos deitados sobre o solo.

A CR deve ofertar aos agentes afetados pelo risco todas as informações necessárias para que as atitudes mais adequadas sejam tomadas, inclusive no tocante às prevenções dos riscos. Nas peças de comunicação analisadas, não foi possível identificar elementos que caracterizem uma eficiente CR sobre os agrotóxicos, não apresentando instruções acerca de exposição indireta nem possibilidades de intoxicação causada pela natureza do produto. Desta forma, percebemos que instituições com interesses mercadológicos quando responsáveis por comunicar os riscos relacionados a seus produtos, não desempenham de forma prudente este papel, deixando os usuários dos produtos agrotóxicos ainda mais vulneráveis. Esta postura está cada vez mais evidente nas dimensões ocupadas pelo agronegócio, que tem se fortalecido no Congresso Nacional e reconfigurado diretrizes em relação à segurança.

As campanhas desta logística reversa não associam o grande número de embalagens retornadas do alto, ou até exagerado, consumo do produto nas lavouras, velando, assim, informações que podem transformar as práticas agrícolas em processos sustentáveis, como a agroecologia, em favor do grande conglomerado industrial que o sustenta. Os conceitos (ecologia e sustentabilidade), se aprofundados, podem trazer à tona reflexões sobre os danos que estão sendo acometidos ao ecossistema, alertar para a verdadeira causa de muitas doenças em trabalhadores rurais e consumidores de seus produtos, e deste modo afetar a lucratividade deste setor industrial. Percebe-se então, que a força do capital não vai mexer nesta configuração, tão favorável ao setor. Nem as agências públicas de extensão rural, que tanto serviram ao setor supracitado e buscam agora incentivar modos de produção menos tóxicos, tem força para ir de encontro ao poderio deste segmento.

Modos de produção alternativos e saudáveis são possíveis, muito embora seja preciso romper barreiras culturais para esta transformação. O uso de insumos e controles de pragas naturais, respeitando ciclos orgânicos, já é realidade em muitas lavouras, no Brasil e principalmente em países na União Europeia. Deste modo, além de sanar a toxidade nos solos e preservar a saúde humana, livra-se dos problemas recorrentes acerca do plástico da embalagem.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARAM, Mi. Risk Communication: Moving from Theory to Law to Practice. In: **Effective Risk Communication: The Role and Responsibility of Government and Nongovernment Organizations**. Contemporary issues in risk analysis Vol. IV. New York: Plenum Press, 1989;

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70 Ltda, 1977;

BELO, M. S. S. P.; PERES, F. **Quando a comunicação se restringe a rotulagem: amplificando os riscos associados ao uso de agrotóxicos no meio rural brasileiro**. Revista de Comunicación y Salud, v. 1, n. 1, p. 84-100, 2011;

BIMBATI, T.; RUTKOWSKI, E. **A responsabilidade compartilhada e seus instrumentos na promoção da reciclagem**. X Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental. Porto Alegre: PUCRS, 2016;

BINH, Phung Thanh; ZHU, Xueqin; GROENEVELD, Rolf A.; VAN IERLAND, Ekko C. Risk communication, women's participation and flood mitigation in Vietnam: An experimental study. In: **Land Use Policy**, Elsevier, vol. 95(C). 2020. Handle: *RePEc:eee:lauspo:v:95:y:2020:i:c:s0264837719312165* DOI: 10.1016/j.landusepol.2019.104436

BOMBARDI, L. M. **Geografia do Uso de Agrotóxicos no Brasil e Conexões com a União Europeia** - São Paulo: FFLCH - USP, 2017;

CARSON, R. **Primavera Silenciosa**. São Paulo: Ed. Melhoramentos, 1969;

DI GIULIO, G. M. *et al*. Experiências brasileiras e o debate sobre comunicação e governança do risco em áreas contaminadas por chumbo. In: **Ciênc. saúde coletiva**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 2, p. 337-349, fev. 2012;

EMATER; IMA. **Destino correto das embalagens vazias de agrotóxicos na cafeicultura**. Departamento Técnico da Emater-MG e da Defesa Sanitária Vegetal (IMA). Belo Horizonte, 2010;

FARIA, A.C.; PEREIRA R.S. O processo da logística reversa das embalagens de agrotóxicos: um estudo de caso sobre o Inpev. In: **Organizações Rurais & Agroindustriais**, Lavras, v. 14, n. 1, p. 127-141, 2012;

FISCHHOFF, B. Risk perception and communication unplugged: twenty years of process. **Risk Anal**, 137-45. 1995;

FURNIVAL, A. C; PINHEIRO, S. M.; JUNIOR, J. C. O. A Comunicação e Compreensão da Informação sobre Riscos. DataGramZero- **Revista de Ciência da Informação**, Rio de Janeiro, v.5, n.2, 2004;

GUARNIERI, P.; CERQUEIRA STREIT, J. A.; BATISTA, L. C. Reverse logistics and the sectoral agreement of packaging industry in Brazil towards a transition to circular economy. **Resources Conservation and Recycling**, v. 153, p. 1-12, 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Censo agropecuário 2017**, Rio de Janeiro, p.1-105, 2019. ISSN 0103-6157;

INPEV. **Relatório de sustentabilidade**. 2016. São Paulo. Disponível em: [https://www.inpev.org.br/Sistemas/Saiba-Mais/Relatorio/inpev\\_RS2016.pdf](https://www.inpev.org.br/Sistemas/Saiba-Mais/Relatorio/inpev_RS2016.pdf);

\_\_\_\_\_. **Relatório de sustentabilidade**. 2017. São Paulo. Disponível em: [https://www.inpev.org.br/Sistemas/Saiba-Mais/Relatorio/inpev\\_RS2017.pdf](https://www.inpev.org.br/Sistemas/Saiba-Mais/Relatorio/inpev_RS2017.pdf)

MACEDO, M; ROHLFS, D. **Responsabilidade Compartilhada, Logística Reversa e cadeias com obrigatoriedade imediata no âmbito da Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Programa de Pós-graduação em Vigilância Sanitária. Disponível em [www.cpgls.pucgoias.edu.br/8mostra/Artigos/SAUDE%20E%20BIOLOGICAS/Responsabilidade%20Compartilhada,%20Log%C3%ADstica%20Reversa.pdf](http://www.cpgls.pucgoias.edu.br/8mostra/Artigos/SAUDE%20E%20BIOLOGICAS/Responsabilidade%20Compartilhada,%20Log%C3%ADstica%20Reversa.pdf). 2013; Acesso em: 10/08/2018;

NEVES, P.; MENDONÇA, M.; BELLINI, M.; PÔSSAS, I. Intoxicação por agrotóxicos agrícolas no estado de Goiás, Brasil, de 2005-2015: análise dos registros nos sistemas oficiais de informação. **Ciência & Saúde Coletiva** [online]. v. 25, n. 7, 2020. [Acessado 23 Julho 2020], pp. 2743-2754. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1413-81232020257.09562018>>. ISSN 1678-4561,

OLIVEIRA, A. L. R.; CAMARGO, S. G. C. Logística Reversa de embalagens de agroquímicos: identificação dos determinantes de sucesso. **Interciencia**, v. 39, n. 11, p. 780-787, 2014;

REMBISCHEVSKI, P; CALDAS, E. Agroquímicos para controle de pragas no Brasil: análise crítica do uso do termo agrotóxico como ferramenta de comunicação de risco. **Vigilância Sanitária em Debate: Sociedade, Ciência & Tecnologia (Health Surveillance under Debate: Society, Science & Technology) – Visa em Debate**, v. 6, n. 4, p. 2-12, 30 nov. 2018. DOI: <https://doi.org/10.22239/2317-269x.01195>

ROZEMBERG, B.; PERES, F. Reflexões sobre a educação relacionada aos agrotóxicos em comunidades rurais. In: PERES, F., and MOREIRA, JC., orgs. **É veneno ou é remédio? agrotóxicos, saúde e ambiente** [online]. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 2003. p. 367-384;

SILVA, I; BRESSAN I; PANTALEÃO E; PIRES, W; SILVA, J. Logística Reversa e Responsabilidade Compartilhada: O Caso das Embalagens de Agrotóxicos em Mato Grosso. **Revista em Gestão, Inovação e Sustentabilidade**, v. 2, n. 1, p. 156-174, jun. Brasília, 2016

## 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.

### 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 vegetais funcionais 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

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

## Z

Zapotillo 169, 171



**EDITORIA  
ARTEMIS**