

**MARIA ELANNY DAMASCENO SILVA  
(ORGANIZADORA)**



**O MEIO AMBIENTE  
E A INTERFACE DOS  
SISTEMAS SOCIAL  
E NATURAL 2**

**Atena**  
Editora

**Ano 2020**

**MARIA ELANNY DAMASCENO SILVA  
(ORGANIZADORA)**



**O MEIO AMBIENTE  
E A INTERFACE DOS  
SISTEMAS SOCIAL  
E NATURAL 2**

**Atena**  
Editora

**Ano 2020**

**Editora Chefe**

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

**Assistentes Editoriais**

Natalia Oliveira

Bruno Oliveira

Flávia Roberta Barão

**Bibliotecário**

Maurício Amormino Júnior

**Projeto Gráfico e Diagramação**

Natália Sandrini de Azevedo

Camila Alves de Cremona

Karine de Lima Wisniewski

Luiza Alves Batista

Maria Alice Pinheiro

**Imagens da Capa**

Shutterstock

**Edição de Arte**

Luiza Alves Batista

**Revisão**

Os Autores

2020 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do Texto © 2020 Os autores

Copyright da Edição © 2020 Atena Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva dos autores, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

A Atena Editora não se responsabiliza por eventuais mudanças ocorridas nos endereços convencionais ou eletrônicos citados nesta obra.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação.

**Conselho Editorial****Ciências Humanas e Sociais Aplicadas**

Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas

Prof. Dr. Alexandre Jose Schumacher – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso

Prof. Dr. Américo Junior Nunes da Silva – Universidade do Estado da Bahia

Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Dr. Antonio Gasparetto Júnior – Instituto Federal do Sudeste de Minas Gerais

Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília

Prof. Dr. Carlos Antonio de Souza Moraes – Universidade Federal Fluminense

Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa

Prof. Dr. Deyvison de Lima Oliveira – Universidade Federal de Rondônia  
Prof. Dr. Edvaldo Antunes de Farias – Universidade Estácio de Sá  
Prof. Dr. Elson Ferreira Costa – Universidade do Estado do Pará  
Prof. Dr. Eloi Martins Senhora – Universidade Federal de Roraima  
Prof. Dr. Gustavo Henrique Cepolini Ferreira – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionale delle Figlie de Maria Ausiliatrice  
Prof. Dr. Jadson Correia de Oliveira – Universidade Católica do Salvador  
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense  
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins  
Prof. Dr. Luis Ricardo Fernandes da Costa – Universidade Estadual de Montes Claros  
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Pereira da Silva – Pontifícia Universidade Católica de Campinas  
Profª Drª Maria Luzia da Silva Santana – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul  
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Rita de Cássia da Silva Oliveira – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof. Dr. Rui Maia Diamantino – Universidade Salvador  
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. William Cleber Domingues Silva – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

#### **Ciências Agrárias e Multidisciplinar**

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano  
Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás  
Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná  
Profª Drª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia  
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa  
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul  
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará  
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Profª Drª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará  
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa  
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão  
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará  
Profª Drª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido  
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

#### **Ciências Biológicas e da Saúde**

Prof. Dr. André Ribeiro da Silva – Universidade de Brasília  
Profª Drª Anelise Levay Murari – Universidade Federal de Pelotas  
Prof. Dr. Benedito Rodrigues da Silva Neto – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Douglas Siqueira de Almeida Chaves – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro

Prof. Dr. Edson da Silva – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Eleuza Rodrigues Machado – Faculdade Anhanguera de Brasília  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Elane Schwinden Prudêncio – Universidade Federal de Santa Catarina  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Eysler Gonçalves Maia Brasil – Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira  
Prof. Dr. Ferlando Lima Santos – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Gabriela Vieira do Amaral – Universidade de Vassouras  
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria  
Prof. Dr. Helio Franklin Rodrigues de Almeida – Universidade Federal de Rondônia  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Iara Lúcia Tescarollo – Universidade São Francisco  
Prof. Dr. Igor Luiz Vieira de Lima Santos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Jesus Rodrigues Lemos – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Jônatas de França Barros – Universidade Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. José Max Barbosa de Oliveira Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará  
Prof. Dr. Luís Paulo Souza e Souza – Universidade Federal do Amazonas  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Magnólia de Araújo Campos – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof. Dr. Marcus Fernando da Silva Praxedes – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Mylena Andréa Oliveira Torres – Universidade Ceuma  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federaci do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Paulo Inada – Universidade Estadual de Maringá  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Regiane Luz Carvalho – Centro Universitário das Faculdades Associadas de Ensino  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Renata Mendes de Freitas – Universidade Federal de Juiz de Fora  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande

#### **Ciências Exatas e da Terra e Engenharias**

Prof. Dr. Adélio Alcino Sampaio Castro Machado – Universidade do Porto  
Prof. Dr. Alexandre Leite dos Santos Silva – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Dr. Carlos Eduardo Sanches de Andrade – Universidade Federal de Goiás  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Carmen Lúcia Voigt – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Dr. Douglas Gonçalves da Silva – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia  
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof. Dr. Fabrício Menezes Ramos – Instituto Federal do Pará  
Prof<sup>a</sup> Dra. Jéssica Verger Nardeli – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho  
Prof. Dr. Juliano Carlo Rufino de Freitas – Universidade Federal de Campina Grande  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Luciana do Nascimento Mendes – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Marcelo Marques – Universidade Estadual de Maringá  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Neiva Maria de Almeida – Universidade Federal da Paraíba  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte  
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista

#### **Linguística, Letras e Artes**

Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Adriana Demite Stephani – Universidade Federal do Tocantins  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Angeli Rose do Nascimento – Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Carolina Fernandes da Silva Mandaji – Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Denise Rocha – Universidade Federal do Ceará

Prof. Dr. Fabiano Tadeu Grazioli – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões  
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná  
Profª Drª Keyla Christina Almeida Portela – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso  
Profª Drª Miranilde Oliveira Neves – Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará  
Profª Drª Sandra Regina Gardacho Pietrobon – Universidade Estadual do Centro-Oeste  
Profª Drª Sheila Marta Carregosa Rocha – Universidade do Estado da Bahia

#### **Conselho Técnico Científico**

Prof. Me. Abrãao Carvalho Nogueira – Universidade Federal do Espírito Santo  
Prof. Me. Adalberto Zorzo – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza  
Prof. Me. Adalto Moreira Braz – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Dr. Adaylson Wagner Sousa de Vasconcelos – Ordem dos Advogados do Brasil/Seccional Paraíba  
Prof. Dr. Adilson Tadeu Basquerote Silva – Universidade para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí  
Prof. Me. Alexsandro Teixeira Ribeiro – Centro Universitário Internacional  
Prof. Me. André Flávio Gonçalves Silva – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Ma. Anne Karynne da Silva Barbosa – Universidade Federal do Maranhão  
Profª Drª Andreza Lopes – Instituto de Pesquisa e Desenvolvimento Acadêmico  
Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Faculdade da Amazônia  
Prof. Dr. Antonio Hot Pereira de Faria – Polícia Militar de Minas Gerais  
Prof. Me. Armando Dias Duarte – Universidade Federal de Pernambuco  
Profª Ma. Bianca Camargo Martins – UniCesumar  
Profª Ma. Carolina Shimomura Nanya – Universidade Federal de São Carlos  
Prof. Me. Carlos Antônio dos Santos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Prof. Ma. Cláudia de Araújo Marques – Faculdade de Música do Espírito Santo  
Profª Drª Cláudia Taís Siqueira Cagliari – Centro Universitário Dinâmica das Cataratas  
Prof. Me. Daniel da Silva Miranda – Universidade Federal do Pará  
Profª Ma. Daniela da Silva Rodrigues – Universidade de Brasília  
Profª Ma. Daniela Remião de Macedo – Universidade de Lisboa  
Profª Ma. Dayane de Melo Barros – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Douglas Santos Mezacas – Universidade Estadual de Goiás  
Prof. Me. Edevaldo de Castro Monteiro – Embrapa Agrobiologia  
Prof. Me. Eduardo Gomes de Oliveira – Faculdades Unificadas Doctum de Cataguases  
Prof. Me. Eduardo Henrique Ferreira – Faculdade Pitágoras de Londrina  
Prof. Dr. Edwaldo Costa – Marinha do Brasil  
Prof. Me. Eliel Constantino da Silva – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita  
Prof. Me. Ernane Rosa Martins – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás  
Prof. Me. Eivaldo de Sousa Costa Junior – Prefeitura Municipal de São João do Piauí  
Profª Ma. Fabiana Coelho Couto Rocha Corrêa – Centro Universitário Estácio Juiz de Fora  
Prof. Dr. Fabiano Lemos Pereira – Prefeitura Municipal de Macaé  
Prof. Me. Felipe da Costa Negrão – Universidade Federal do Amazonas  
Profª Drª Germana Ponce de Leon Ramírez – Centro Universitário Adventista de São Paulo  
Prof. Me. Gevair Campos – Instituto Mineiro de Agropecuária  
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná  
Prof. Me. Gustavo Krahl – Universidade do Oeste de Santa Catarina  
Prof. Me. Helton Rangel Coutinho Junior – Tribunal de Justiça do Estado do Rio de Janeiro  
Profª Ma. Isabelle Cerqueira Sousa – Universidade de Fortaleza

Profª Ma. Jaqueline Oliveira Rezende – Universidade Federal de Uberlândia  
Prof. Me. Javier Antonio Albornoz – University of Miami and Miami Dade College  
Prof. Me. Jhonatan da Silva Lima – Universidade Federal do Pará  
Prof. Dr. José Carlos da Silva Mendes – Instituto de Psicologia Cognitiva, Desenvolvimento Humano e Social  
Prof. Me. Jose Elyton Batista dos Santos – Universidade Federal de Sergipe  
Prof. Me. José Luiz Leonardo de Araujo Pimenta – Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria Uruguay  
Prof. Me. José Messias Ribeiro Júnior – Instituto Federal de Educação Tecnológica de Pernambuco  
Profª Drª Juliana Santana de Curcio – Universidade Federal de Goiás  
Profª Ma. Juliana Thaisa Rodrigues Pacheco – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Drª Kamilly Souza do Vale – Núcleo de Pesquisas Fenomenológicas/UFPA  
Prof. Dr. Kárpio Márcio de Siqueira – Universidade do Estado da Bahia  
Profª Drª Karina de Araújo Dias – Prefeitura Municipal de Florianópolis  
Prof. Dr. Lázaro Castro Silva Nascimento – Laboratório de Fenomenologia & Subjetividade/UFPR  
Prof. Me. Leonardo Tullio – Universidade Estadual de Ponta Grossa  
Profª Ma. Lilian Coelho de Freitas – Instituto Federal do Pará  
Profª Ma. Liliani Aparecida Sereno Fontes de Medeiros – Consórcio CEDERJ  
Profª Drª Lívia do Carmo Silva – Universidade Federal de Goiás  
Prof. Me. Lucio Marques Vieira Souza – Secretaria de Estado da Educação, do Esporte e da Cultura de Sergipe  
Prof. Me. Luis Henrique Almeida Castro – Universidade Federal da Grande Dourados  
Prof. Dr. Luan Vinicius Bernardelli – Universidade Estadual do Paraná  
Prof. Dr. Michel da Costa – Universidade Metropolitana de Santos  
Prof. Dr. Marcelo Máximo Purificação – Fundação Integrada Municipal de Ensino Superior  
Prof. Me. Marcos Aurelio Alves e Silva – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo  
Profª Ma. Maria Elanny Damasceno Silva – Universidade Federal do Ceará  
Profª Ma. Marileila Marques Toledo – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
Prof. Me. Ricardo Sérgio da Silva – Universidade Federal de Pernambuco  
Prof. Me. Rafael Henrique Silva – Hospital Universitário da Universidade Federal da Grande Dourados  
Profª Ma. Renata Luciane Polsaque Young Blood – UniSecal  
Prof. Me. Sebastião André Barbosa Junior – Universidade Federal Rural de Pernambuco  
Profª Ma. Silene Ribeiro Miranda Barbosa – Consultoria Brasileira de Ensino, Pesquisa e Extensão  
Profª Ma. Solange Aparecida de Souza Monteiro – Instituto Federal de São Paulo  
Prof. Me. Tallys Newton Fernandes de Matos – Faculdade Regional Jaguaribana  
Profª Ma. Thatianny Jasmine Castro Martins de Carvalho – Universidade Federal do Piauí  
Prof. Me. Tiago Silvio Dedoné – Colégio ECEL Positivo  
Prof. Dr. Welleson Feitosa Gazel – Universidade Paulista

# O meio ambiente e a interface dos sistemas social e natural

2

**Editora Chefe:** Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira  
**Bibliotecário** Maurício Amormino Júnior  
**Diagramação:** Camila Alves de Cremonesi  
**Edição de Arte:** Luiza Alves Batista  
**Revisão:** Os Autores  
**Organizadora** Maria Elanny Damasceno Silva

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

M499 O meio ambiente e a interface dos sistemas social e natural 2  
[recurso eletrônico] / Organizadora Maria Elanny Damasceno  
Silva. – Ponta Grossa, PR: Atena, 2020.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader

Modo de acesso: World Wide Web

Inclui bibliografia

ISBN 978-65-5706-278-4

DOI 10.22533/at.ed.784201008

1. Desenvolvimento sustentável. 2. Meio ambiente.  
3. Sustentabilidade. I. Silva, Maria Elanny Damasceno.

CDD 363.7

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

**Atena Editora**

Ponta Grossa – Paraná – Brasil

Telefone: +55 (42) 3323-5493

[www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

contato@atenaeditora.com.br

  
Ano 2020



## APRESENTAÇÃO

Estimados leitores do Livro “*O Meio Ambiente e a Interface dos Sistemas Social e Natural*” é com satisfação que entregamos 44 capítulos divididos em dois volumes, que tratam da diversidade acadêmica em pesquisas sociais, laboratoriais e tecnológicas na área ambiental e afins.

O volume 2 destaca-se para os meios de reúso de águas e resíduos em geral com potencial de poluição. A reutilização de águas pluviais em sistemas agrícolas é uma ótima estratégia ambiental. As formas de destinação final de esgoto doméstico é tema relevante para pesquisas em regiões de bacia hidrográfica. A reciclagem de sobras da construção civil é analisada sob a perspectiva da certificação e normas ambientais.

Um estudo de caso é mencionado com um método inovador de Produção Mais Limpa aplicado em um salão de beleza. Questões de gerenciamento de resíduos em serviços de saúde básica são revistos sob a ótica de profissionais da saúde. Os aterros sanitários são fontes de substratos químicos perigosos e para isso precisam de autodepuração dos efluentes.

Medidas de monitoramento de desmatamento e queimadas em florestas é assunto importante em simulações de modelagem espacial atuais e futuras, assim como sistemas de alertas de incêndios estruturados por softwares.

As explorações vegetais e minerais são discutidas com base nos 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável na tentativa de redução dos impactos advindos da urbanização. A relevância das coberturas vegetais na hidrologia do solo é objeto de pesquisas com medições por sensores em ecossistemas florestais.

As condições de equilíbrio de nutrientes químicos em solo específico é avaliado ao comparar técnicas com diferentes arranjos produtivos em plantio direto. Frutos e sementes com alta qualidade são excelentes para produção de mudas em Parque Botânico. O uso de agroquímicos não é saudável e eficiente para conter o mal-do-Panamá que acomete bananeiras, para tanto é apresentado um estudo de biocontrole da doença.

A identificação de aves silvestres e suas características comportamentais é feito com auxílio de fiscalização legal com finalidade de desenvolver um levantamento da avifauna. Nesta lógica, tem-se a criação de um catálogo de borboletas resultante da investigação em uma Reserva Particular do Patrimônio Natural. Além disso, as borboletas são bons bioindicadores de um ambiente natural saudável, sendo utilizadas para trabalhar a conscientização ambiental. A poluição do ar é verificado utilizando dados climatológicos do Instituto Nacional de Meteorologia.

As cianobactérias são exploradas em pesquisas que determinam sua curva de crescimento em ambiente simulado. As fases da lua são averiguadas ao correlacionar seus ciclos com a precipitação chuvosa, na tentativa de comprovar cientificamente a veracidade da sabedoria popular local. Concomitantemente, o conhecimento das propriedades

medicinais, alimentares e madeireiras de plantas nativas é identificada em comunidades rurais.

Por fim, a união entre a ciência e arte é testemunhada em espetáculos no Brasil e Índia ao provocar interesse no público para conservação dos recursos.

Esperamos que estes resultados envolva-os no fortalecimento da preservação dos meios naturais em meio ao sistema produtivo.

Maria Elanny Damasceno Silva

## SUMÁRIO

<b>CAPÍTULO 1</b> .....	<b>1</b>
RESUSO DE ÁGUA DA CHUVA PELO PROJETO IRRIGAPOTE: ESTRATÉGIA DE PRODUÇÃO AGRÍCOLA RESILIENTE NA AMAZÔNIA	
Lucieta Guerreiro Martorano	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7842010081</b>	
<b>CAPÍTULO 2</b> .....	<b>16</b>
AVALIAÇÃO DA DESTINAÇÃO FINAL DO ESGOTO DOMÉSTICO NA REGIÃO ALTA DA BACIA HIDROGÁFICA DO RIO SANTA MARIA DA VITÓRIA – ES / BRASIL	
Charles Moura Netto	
Sandra Maria Guisso	
Leandro José Schaffer	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7842010082</b>	
<b>CAPÍTULO 3</b> .....	<b>32</b>
ESTUDO DE CASO DE UM SISTEMA DE TRATAMENTO E REUSO DOS RESÍDUOS DA CONSTRUÇÃO CIVIL	
Eduardo Antonio Maia Lins	
Eduardo Henrique Bezerra Cavalcanti	
Cecília Maria Mota Silva Lins	
Andréa Cristina Baltar Barros	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7842010083</b>	
<b>CAPÍTULO 4</b> .....	<b>45</b>
PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA EM SALÃO DE BELEZA	
Eduarda Carvalho	
Gabriela Savicki	
Júlia de Vargas Biehl	
Rodrigo D'Avila Barros	
Roxane Oliveira	
Carlos Alberto Mendes Moraes	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7842010084</b>	
<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>59</b>
CONHECIMENTO DOS PROFISSIONAIS ACERCA DO GERENCIAMENTO E DESTINO DOS RESÍDUOS DOS SERVIÇOS DE SAÚDE	
Ane Carolline Donato Vianna	
Cinoélia Leal de Souza	
Elaine Santos da Silva	
Ana Cristina Santos Duarte	
Denise Lima Magalhães	
Vanda Santana Gomes	
Adson da Conceição Virgens	
Leandro da Silva Paudarco	
Diana Êmily Mendes Guimarães	
Sandy Hellen Rodrigues de Souza	
Anne Layse Araújo Lima	
Alysson Matheus Magalhães Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.7842010085</b>	

**CAPÍTULO 6 ..... 70**

DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE DESOXIGENAÇÃO: ANÁLISE DE LIXIVIADO

Liara Jalime Vernier  
Patricia Rodrigues Fortes  
Raphael Corrêa Medeiros  
Bruno Segalla Pizzolatti  
Mariza de Camargo  
Juliana Scapin

**DOI 10.22533/at.ed.7842010086**

**CAPÍTULO 7 ..... 82**

MODELAGEM ESPACIAL DA DINÂMICA DO DESMATAMENTO NA AMAZÔNIA NA REGIÃO DA FLORESTA NACIONAL DO JAMANXIM

Jamile Costa Paes Ferreira  
Alessandra Carreiro Baptista

**DOI 10.22533/at.ed.7842010087**

**CAPÍTULO 8 ..... 95**

SISTEMA DE ALERTA DE RISCO DE INCÊNDIO PARA O PANTANAL

Balbina Maria Araújo Soriano  
Marcelo Gonçalves Narciso

**DOI 10.22533/at.ed.7842010088**

**CAPÍTULO 9 ..... 104**

FRAGMENTAÇÃO DAS FLORESTAS TROPICAIS URBANIZAÇÃO E O IMPACTO NA BIODIVERSIDADE

Emanoel Ferdinando da Rocha Jr  
Cicera Maria Alencar do Nascimento  
Tereza Lúcia Gomes Quirino Maranhão  
Mabel Alencar do Nascimento Rocha  
Letícia Anderson Bassi  
Thiago José Matos Rocha  
Adriane Borges Cabral

**DOI 10.22533/at.ed.7842010089**

**CAPÍTULO 10 ..... 124**

EFFECTO DE LA VEGETACIÓN SOBRE LOS PROCESOS HIDROLÓGICOS DEL SUELO EN ECOSISTEMAS DE CLIMA MEDITERRÁNEO: ANÁLISIS GEOGRÁFICO DESDE UN ENFOQUE REGIONAL

Javier Lozano - Parra  
Jacinto Garrido Velarde  
Manuel Pulido Fernández  
Ramón García Marín

**DOI 10.22533/at.ed.78420100810**

**CAPÍTULO 11 ..... 151**

DINÂMICA DEL CONTENIDO HÍDRICO DEL SUELO EN ECOSISTEMAS AGROFORESTALES MEDITERRÁNEOS

Javier Lozano - Parra

**DOI 10.22533/at.ed.78420100811**

**CAPÍTULO 12 ..... 170**

AVLIAÇÃO DOS PROCESSOS QUÍMICOS DO SOLO EM MANEJO DE PLANTIO DIRETO NA AMAZÔNIA

Bárbara Maia Miranda

Arystides Resende Silva  
Eduardo Jorge Maklouf Carvalho  
Carlos Alberto Costa Veloso

**DOI 10.22533/at.ed.78420100812**

**CAPÍTULO 13 ..... 178**

MORFOMETRIA DE FRUTOS E SEMENTES DE *Dussia tessmannii* HARMS. (FABACEAE)

Ítalo Felipe Nogueira Ribeiro  
Michaela Nascimento Queiroz  
Pedro Raimundo Ferreira de Lima  
Taís de Souza Arruda  
Evandro José Linhares Ferreira

**DOI 10.22533/at.ed.78420100813**

**CAPÍTULO 14 ..... 184**

BIOATIVIDADE DE METABÓLITOS VOLÁTEIS DE *Trichoderma* spp. CONTRA *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*

Maria Muritiba de Oliveira  
Rafael Oliva Trocoli  
Pricila Fagundes Evangelista  
Ester Doanni da Silva Ferreira Dias  
Rozilda Pereira do Nascimento  
Thaylanne Alcântara Matos  
José Luiz dos Santos Silva

**DOI 10.22533/at.ed.78420100814**

**CAPÍTULO 15 ..... 195**

COMPOSIÇÃO E DIVERSIDADE DA AVIFAUNA APREENDIDA NO SUDESTE GOIANO NO PERÍODO DE 2016 A 2019

Bruna Rafaella de Almeida Nunes  
Diogo Baldin Mesquita  
Idelvone Mendes Ferreira  
Thatiana Martins dos Santos Mesquita

**DOI 10.22533/at.ed.78420100815**

**CAPÍTULO 16 ..... 208**

BORBOLETAS (LEPIDOPTERA: PAPILIONOIDEA) DA RESERVA PARTICULAR DO PATRIMÔNIO NATURAL ESTAÇÃO VERACEL, PORTO SEGURO, BAHIA

Gabriel Vila-Verde  
Diego Rodrigo Dolibaina  
Olívia Maria Pereira Duarte  
Márlon Paluch

**DOI 10.22533/at.ed.78420100816**

**CAPÍTULO 17 ..... 234**

UTILIZAÇÃO DA DIVERSIDADE DE BORBOLETAS E MARIPOSAS (LEPIDOPTERA) PARA A CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE EM TREMEDAL, BA

Mauricio de Oliveira Silva  
Ananda Santos Oliveira  
Thomas Leonardo Marques de Castro Leal  
Marcos Anjos de Moura

**DOI 10.22533/at.ed.78420100817**

<b>CAPÍTULO 18</b> .....	<b>247</b>
ANÁLISE DA QUALIDADE DO AR REGIÃO CENTRAL DE UBERLÂNDIA: ANÁLISE QUANTITATIVA DE PARTÍCULAS INALÁVEIS (MP <sub>10</sub> )	
Isaac Francisco da Silva	
Euclides Antônio Pereira de Lima	
João Victor Delfino Silva	
<b>DOI 10.22533/at.ed.78420100818</b>	
<b>CAPÍTULO 19</b> .....	<b>259</b>
ISOLAMENTO, CULTIVO E CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DE <i>Geitlerinema amphibium</i> C. Agardh ex Gomont (CYANOPHYCEAE) DO RESERVATÓRIO BOLONHA (BELÉM - PA)	
Gabriel San Machado Calandrini	
Aline Lemos Gomes	
Vanessa Bandeira da Costa Tavares	
Samara Cristina Campelo Pinheiro	
Eliane Brabo de Sousa	
<b>DOI 10.22533/at.ed.78420100819</b>	
<b>CAPÍTULO 20</b> .....	<b>267</b>
CICLO LUNAR REGISTRADOS EM FICHAS DE DIVISÃO DE ÁGUAS DE EVENTOS PLUVIAIS ENCONTRADO EM TAPERINHA NA AMAZÔNIA	
Eliane Leite Reis de Sousa	
Lucieta Guerreiro Martorano	
Lucas Vaz Peres	
Samária Letícia Carvalho Silva Rocha	
Raphael Pablo Tapajós Silva	
Núbia Ferreira Campos	
<b>DOI 10.22533/at.ed.78420100820</b>	
<b>CAPÍTULO 21</b> .....	<b>278</b>
PLANTAS E SEUS USOS: O CONHECIMENTO TRADICIONAL DE UMA COMUNIDADE RURAL NA CAATINGA	
Mychelle de Sousa Fernandes	
Marlos Dellan de Souza Almeida	
Ana Carolina Sabino de Oliveira	
Sabrina Silva Oliveira	
Mikael Alves de Castro	
Jefferson Thiago Souza	
<b>DOI 10.22533/at.ed.78420100821</b>	
<b>CAPÍTULO 22</b> .....	<b>288</b>
DA CIÊNCIA À ARTE: ONDA DE DESPERDÍCIO – OS PERIGOS VISÍVEIS E INVISÍVEIS DO LIXO NO MAR	
Camila Burigo Marin	
Kátia Naomi Kuroshima	
<b>DOI 10.22533/at.ed.78420100822</b>	
<b>SOBRE A ORGANIZADORA</b> .....	<b>299</b>
<b>ÍNDICE REMISSIVO</b> .....	<b>300</b>

## EFFECTO DE LA VEGETACIÓN SOBRE LOS PROCESOS HIDROLÓGICOS DEL SUELO EN ECOSISTEMAS DE CLIMA MEDITERRÁNEO: ANÁLISIS GEOGRÁFICO DESDE UN ENFOQUE REGIONAL

*Data de aceite: 03/08/2020*

### **Javier Lozano - Parra**

Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Chile

### **Jacinto Garrido Velarde**

Instituto Universitario para el Desarrollo Territorial Sostenible (INTERRA), Universidad de Extremadura  
Cáceres, España

### **Manuel Pulido Fernández**

Instituto Universitario para el Desarrollo Territorial Sostenible (INTERRA), Universidad de Extremadura  
Cáceres, España

### **Ramón García Marín**

Departamento de Geografía, Universidad de Murcia  
Murcia, España

**RESUMEN:** El agua del suelo es un componente clave del ciclo hidrológico que interviene en la organización y funcionamiento de los ecosistemas de climas mediterráneos. Sin embargo, a pesar de su gran importancia en los procesos naturales y de sus aplicaciones para la modelización ambiental, la mayoría de los estudios hidrológicos basan sus análisis en escalas temporales diarias o más largas, mientras que la dinámica de los procesos a

escalas temporales más cortas es muy poco conocida. El objetivo principal de este trabajo fue determinar el papel de las cubiertas vegetales (espacios con y sin influencia del arbolado) sobre la respuesta hidrológica del suelo utilizando mediciones en alta resolución temporal. Para ello, se monitorizó el contenido de agua del suelo con sensores capacitivos instalados en el perfil edáfico a diferentes profundidades, que registraron continuamente en intervalos de 30 minutos. Las mediciones se llevaron a cabo en tres áreas de estudio de ecosistemas de arbolado disperso con clima mediterráneo y abarcaron más de dos años hidrológicos. Los resultados obtenidos mostraron que la cantidad de agua que alcanza el suelo procedente de la lluvia puede ser modificada temporalmente por las cubiertas, según las características de las precipitaciones y las condiciones ambientales antecedentes previas al evento pluviométrico. Las cantidades de lluvia que desencadenaron una respuesta hidrológica positiva del suelo disminuyeron a medida que las condiciones antecedentes se volvieron más secas, siendo más acentuadas debajo de las copas de los árboles. La frecuencia de los ciclos de re-humectación y los estados antecedentes sugirieron ser tan importantes o incluso más que la duración o la cantidad de precipitación.

Por tanto, el papel de la vegetación fue más decisivo bajo condiciones ambientales secas, donde los eventos inferiores de 6 mm y 2 mm nunca causaron respuesta hidrológica edáfica bajo la copa de los árboles ni en los espacios abiertos, respectivamente. Estas observaciones adquieren relevancia al considerar que las condiciones iniciales fueron independientes de la estacionalidad y que más de la mitad de todos los eventos de lluvia registraron cantidades menores a 5 mm. Si los cambios en los patrones de precipitación tienden hacia condiciones más secas, el predominio de tales situaciones podría tener importantes consecuencias ecohidrológicas en ecosistemas semiáridos.

**PALABRAS- CLAVE:** Humedad del suelo, cubierta vegetal, bosque abierto de encinas, dehesa, evento de lluvia, alta resolución temporal.

## 1 | INTRODUCCIÓN

La precipitación es a menudo la única fuente de humedad del suelo en ambientes con escasez hídrica, así como en zonas semiáridas de clima mediterráneo con cobertura arbórea dispersa. En estas regiones, la distribución espacial y temporal de la humedad del suelo es a la vez causa y consecuencia de la presencia de vegetación, la cual desempeña un papel clave porque evita la erosión y degradación del suelo, mantiene altos niveles de biodiversidad y proporciona alimento para el ganado (D'Odorico y Porporato, 2006; García-Estringana *et al.*, 2013; Moreno y Pulido, 2009; Rodríguez-Iturbe, 2000; Schnabel *et al.*, 2013a). La vegetación influye en la cantidad de agua de lluvia que llega al suelo a través de la interceptación, caída, flujo del tallo o factores bióticos que controlan la repelencia del agua del suelo (David *et al.*, 2006; Llorens y Domingo, 2007; Pereira *et al.*, 2009; Schnabel *et al.*, 2013b; Staelens *et al.*, 2006; Wang *et al.*, 2013). Sin embargo, el efecto de estos factores en el control de la humedad del suelo se ha estudiado tradicionalmente de manera separada (Doerr y Thomas, 2000; Gerrits *et al.*, 2013; Liang *et al.*, 2011), mientras que su influencia general sobre la humedad del suelo rara vez ha sido considerada. Por ejemplo, es común que los estudios sobre la interceptación de lluvia solo consideren la interceptación de árboles, sin tener en cuenta la de la capa de hojarasca, que puede ser tan alta o incluso mayor que aquella de los árboles (Gerrits *et al.*, 2007).

La interceptación de las copas de los árboles es un proceso importante del balance hídrico, cuyos resultados se expresan principalmente en mm año<sup>-1</sup> o como un porcentaje de la precipitación neta, y pueden representar entre el 15% y 50% de la precipitación anual, dependiendo de las características de la vegetación, tales como la composición de especies, la estructura de soporte o el clima (Gerrits *et al.*, 2007). En los bosques abiertos perennifolios de *Quercus ilex*, se estima que el 27,8% de la precipitación anual se pierde por la interceptación de los árboles (Llorens y Domingo, 2007), aunque su variabilidad estacional es un factor importante que rara vez se informa (Fathizadeh *et al.*, 2014, 2013). La interceptación por pastizales es difícil de cuantificar porque el follaje puede variar



fuertemente con respecto a la densidad y la altura, su estructura espacial parcheada, además de ser variable en el tiempo. En el clima mediterráneo semiárido de California, se estimó la interceptación entre el 8% y el 10% de la precipitación anual, pero variando según la estación y la cubierta vegetal (Corbett y Crouse, 1968; Swarowsky *et al.*, 2011). La interceptación del suelo del bosque puede derivarse de la hojarasca, la hierba muerta, musgos, ramitas o piedras. La cubierta de la capa de hojarasca debajo de la encina puede oscilar entre el 9,4% y el 60,4% de la superficie (Schnabel *et al.*, 2013b) y su período de descomposición puede durar hasta 3 años (Incerti *et al.*, 2011). En los bosques de hayas, la interceptación del suelo del bosque fue aproximadamente del 34% de la lluvia caída y puede llegar a ser incluso mayor que la interceptación de los árboles (Gerrits *et al.*, 2007). Sin embargo, este proceso hidrológico aún no se ha estudiado en bosques de árboles dispersos de *Q. ilex*. La repelencia del agua del suelo es un fenómeno relacionado con el tipo de cubierta vegetal, que es más alta debajo de las copas de las encinas que en los pastizales, siendo solo importante en condiciones secas y disminuyendo gradualmente a medida que el suelo se humedece (Doerr y Thomas, 2000; Schnabel *et al.*, 2013b).

Aunque la incidencia espacio-temporal de todos los factores antes mencionados sobre la humedad del suelo no suele ser considerada, las relaciones entre la humedad del suelo y las cubiertas de vegetación han sido bien documentadas en bosques abiertos mediterráneos (Cubera y Moreno, 2007a, 2007b; Joffre y Rambal, 1988, 1993 ) Sin embargo, una desventaja es que las mediciones se han tomado comúnmente con una resolución temporal mayor que la diaria, omitiendo por lo tanto los procesos hidrológicos en escalas de tiempo más cortas y sin tener en cuenta los factores que pueden causarlos (Gerrits *et al.*, 2013). Por lo tanto, en algunas regiones climáticas, estos procesos deben analizarse a alta resolución, ya que la naturaleza de los fenómenos es a corto plazo. En este sentido, los avances tecnológicos han permitido estudiar procesos hidrológicos con una resolución de tiempo muy detallada, como por ejemplo una escala de evento de lluvia o menor (Liang *et al.*, 2011; Lin y Zhou, 2008; Wang *et al.*, 2013; Zehe *et al.*., 2010; Zhang *et al.*, 2010). A pesar de esto, los sondeos que abordan la escala de tormentas de lluvia están frecuentemente condicionados por un corto período de estudio analizado, lo que resulta en un bajo número de eventos de lluvia o una falta de descripción en la definición de los criterios, lo cual es un factor importante porque su número y propiedades pueden influir en este último análisis (Dunkerley, 2008).

El objetivo general de este estudio es determinar el papel de las cubiertas vegetales en la dinámica espacio-temporal de la humedad del suelo a alta resolución temporal, identificar los factores que influyen en ello y definir la influencia de las condiciones meteorológicas previas en las variaciones de humedad del suelo. El estudio también se justifica por el hecho de que los procesos en estas escalas de tiempo todavía están poco investigados. Por lo tanto, se plantean las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es el papel que desempeñan las cubiertas vegetales en el aumento del agua

del suelo, en la escala de eventos de lluvia?

- ¿Cuáles son los principales factores que influyen en los procesos de humectación del suelo, en esta escala de tiempo?
- ¿Cómo afectan las condiciones meteorológicas previas en los aumentos de humedad del suelo, en diferentes cubiertas vegetales?
- ¿Existe un umbral de lluvia para producir un aumento de la humedad del suelo en función de la cubierta vegetal y las condiciones antecedentes?

Para responder a estas preguntas, se instaló un conjunto de sensores capacitivos que permiten el monitoreo continuo del agua del suelo en los perfiles del suelo de los pastizales y debajo de las copas de los árboles. Con el objetivo de registrar todas las posibles variaciones meteorológicas, las mediciones se llevaron a cabo durante dos años hidrológicos y medio, en tres diferentes áreas de estudio, representativas del ecosistema de bosque abierto mediterráneo.

## 2 | ÁREAS DE ESTUDIO

La investigación se realizó en la cuenca experimental de Parapuños y en dos granjas privadas (Cuartos y Naranjero) en la región española de Extremadura (Fig. 1 y Tabla 1). Estas áreas de estudio se seleccionaron porque son representativas de un sistema agrosilvopastoral llamado *dehesa* o *montado*, que consiste en pastizales con cubierta de árboles dispersos que resultan de la tala y el pastoreo de ganado. Estos ecosistemas seminaturales ocupan extensas áreas en la parte suroeste de la Península Ibérica y también se encuentran en otros países mediterráneos. Sus condiciones climáticas son típicas de los pastizales españoles, que comprenden condiciones semiáridas a subhúmedas secas.

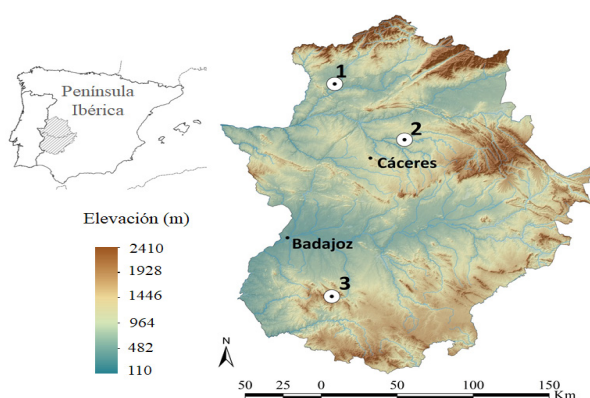


Fig. 1: Localización de las áreas de estudio en la región española de Extremadura. 1 = Cuartos; 2 = Parapuños; 3 = Naranjero.

Las áreas de estudio están ubicadas en antiguas superficies de erosión, formadas por esquisto y grauvaca de la edad precámbrica. El paisaje es suavemente ondulado. Los

suelos son poco profundos, con un espesor generalmente menor a 50 cm (Schnabel *et al.*, 2013a), tienen texturas limosas a arenosas y son pobres en materia orgánica (con valores inferiores al 3% en el horizonte A). Se clasifican como Cambisoles y Leptosoles (FAO, 2006). El contenido de materia orgánica es más alto debajo de la cubierta arbórea que en las áreas abiertas, pero las diferencias solo son significativas en los 5 cm superiores (Pulido-Fernández *et al.*, 2013). Las raíces se concentran en los primeros 10 cm de la capa superior del suelo, lo que explica la mayor porosidad en comparación con las capas más profundas. La densidad aparente es alta, con un valor medio de  $1,45 \text{ g cm}^{-3}$ . La capacidad de campo de los suelos es de aproximadamente  $0,3 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , mientras que el punto de marchitez es de aproximadamente  $0,15 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  o incluso valores más bajos. El clima es mediterráneo con influencia oceánica y continental, y la precipitación cae casi exclusivamente como lluvia, variando fuertemente, tanto estacional como interanualmente. La precipitación en las áreas de estudio varía con valores medios anuales de 518 mm en Parapuños, 631 mm en Naranjero y 594 mm en Cuartos (Tabla 1). El régimen de precipitaciones generalmente se caracteriza por eventos de lluvia frontal de larga duración (generalmente desde mediados de otoño hasta mediados de primavera) y tormentas convectivas de corta duración (principalmente desde fines de primavera hasta principios de otoño). La temperatura media anual es de alrededor de  $16 \text{ }^\circ\text{C}$ , con un mínimo promedio de  $3,1 \text{ }^\circ\text{C}$  en enero y un máximo promedio de  $34,2 \text{ }^\circ\text{C}$  en julio. La evapotranspiración potencial casi duplica la precipitación, lo que resulta en climas que van desde semiáridos a secos subhúmedos. La vegetación se puede clasificar en tres capas: árboles, arbustos y pastos (además de hierbas), que aparecen en diferentes combinaciones y con diferentes densidades (Tabla 1). Sin embargo, la capa de arbustos suele ser eliminada para facilitar el pastoreo. La especie arbórea dominante es la encina (*Q. ilex*), siendo el alcornoque (*Quercus suber*) menos frecuente. El índice de área foliar en *Q. ilex* puede oscilar entre  $2,6$  y  $6,0 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2}$ , dependiendo del crecimiento fenológico del árbol (Damesin *et al.*, 1998). La capa herbácea está compuesta principalmente por pastos anuales, como *Lolium sp.*, *Bromus sp.* y *Trifolium sp.* Los pastos y las hierbas presentan su máxima producción en primavera y un máximo secundario en otoño. Durante el invierno la producción es baja, siendo el verano un período no vegetativo.

	Cuartos	Parapuños	Naranjero
Área (ha)	1.23	99.5	1.11
Altitud media (m snm)	349	396	531
Pendiente (°)	1.4	4.4	4.4
Orientación general	E-NE	SO-S	E-SE
Precipitación media Anual (mm)	594	518	631
ETP (mm)	1179	1129	1132
Temperatura media anual (°C)	15.9	16.0	15.3
Mínima temperatura mensual media (°C)	3.1	3.2	3.6

Máxima temperatura mensual media (°C)	33.9	34.2	32.0
Índice de aridez (IA)	Subhúmedo seco	Semiárido	Subhúmedo seco
Densidad de arbolado (árboles $ha^{-1}$ )	18.8	34.5	68.5
Cobertura vegetal (%)	13.5	16.0	37.9
DTP (cm)*	69.6 ± 23.7	38.1 ± 4.5	43.2 ± 15.3
Anchura de la copa del árbol (m)*	8.8 ± 2.1	8.1 ± 1.5	8.4 ± 2.1
Superficie de suelo desnudo bajo la copa del árbol y en pastizal (%) <sup>a</sup>	7.9 – 16.8	12.2 – 15.7	0.5 – 6.8

Tabla 1. Síntesis de las características generales de la cuenca experimental y de las parcelas de medición. IA se refiere al índice de aridez de la *UNEP* [1992]. ETP es Evapotranspiración Potencial Anual, y fue calculada con el método de *Turc* [1961]. DTP = Diámetro del tronco a la altura del pecho

### 3 | METODOLOGÍA

#### 3.1 Recopilación de datos

El período de estudio duró desde abril de 2010 hasta septiembre de 2012. El año hidrológico comienza el 1 de septiembre. El contenido de humedad del suelo (SM, por sus siglas en inglés, de *Soil Moisture*) se midió con sondas de tipo capacitancia (*Decagon Devices, Inc.*, modelo *EC-5*) que registraron continuamente el contenido volumétrico de agua ( $m^3 m^{-3}$ ) con una resolución temporal de 30 min. Esta configuración temporal puede considerarse suficiente para monitorear los procesos hidrológicos estudiados con alta precisión, ya que la naturaleza de estos fenómenos es con frecuencia a corto plazo. Se instalaron sensores a cuatro profundidades diferentes: 5, 10, 15 cm y la última a una profundidad mayor, dependiendo del grosor del suelo (Fig. 2A). La selección de las profundidades de los sensores se justifica porque los suelos son generalmente muy poco profundos y la mayoría de las raíces se concentran en la capa superior del suelo (Moreno *et al.*, 2005; Pulido-Fernández *et al.*, 2013; Schenk y Jackson, 2002). Para esto, se abrió una calicata y se instalaron sensores horizontalmente en la dirección de máxima pendiente del terreno, de forma escalonada, y con su borde de forma perpendicular con respecto al suelo (Martínez-Fernández y Ceballos-Barbancho, 2003; Martínez-Fernández y Ceballos-Barbancho, 2005), como se muestra en la figura 2A. Esto se justifica porque se evita la acumulación de agua en la superficie del sensor, el flujo vertical de agua hacia cada sensor no se ve influenciado por un sensor ubicado en una posición superior, y toman valores de cada capa de suelo en lugar de registrar valores medios en la profundidad del perfil. Durante la instalación, también se tomaron muestras de suelo de cada profundidad para su análisis. Finalmente, la calicata se rellenó cuidadosamente y se volvió a cerrar (Fig. 2A). Como se ha reportado que la precisión del sensor es de  $\pm 3-4\%$ , se realizó una calibración específica en el laboratorio siguiendo el método de Cobos y Chambers (2010), mejorando la precisión a  $\pm 1-2\%$  ( $r^2 = 0,98$ ;  $p = 0,000$ ). Los sensores se reunieron en

estaciones de humedad del suelo (SMS, por sus siglas en inglés, de *Soil Moisture Stations*) en dos situaciones contrastantes en cada granja: espacios abiertos (Pastizal) y debajo de las copas de los árboles (Árbol) (Fig. 2B y C), ambos considerando varias cubiertas de vegetación de manera integrada. La cubierta de Pastizal incluye plantas herbáceas anuales, hojarasca y musgos, mientras que la cubierta de Árbol incluye las primeras, pero también la cubierta del dosel. Se tuvo especial cuidado en situar las estaciones en la parte media de la ladera o al pie de la misma, y siempre evitando los rellenos sedimentarios de los fondos de los valles. Además, en el caso de las SMS debajo de las copas de los árboles, se posicionaron en el punto medio entre el tronco del árbol y el borde de la copa, con una orientación suroeste. Se instalaron y distribuyeron un total de ocho SMS entre las tres áreas de estudio, como se muestra en la Tabla 2.

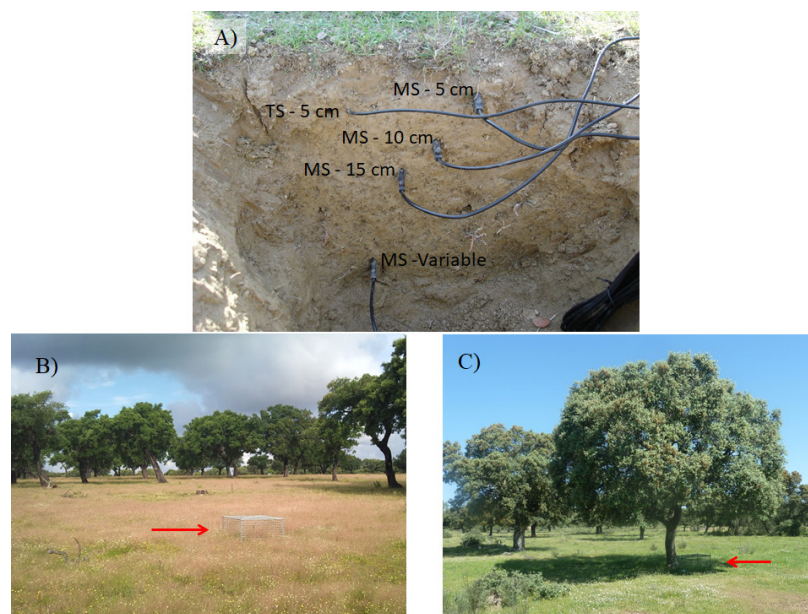


Fig. 2: A) Ejemplo de estación de humedad del suelo (SMS) con sensores de humedad y temperatura. B) SMS en espacio abierto; C) SMS bajo copa de árbol.

Para presentar las mediciones más contrastantes, los análisis se llevaron a cabo utilizando solo dos sensores en cada SMS, el más alto (5 cm), que es el más afectado por factores externos, y el más bajo. Aunque las mediciones de humedad del suelo tienen una alta resolución temporal, se puede argumentar que la resolución espacial es baja porque no se realizaron mediciones de réplica, es decir, había muy pocos sensores disponibles para representar las diferentes situaciones en cada granja. Por lo tanto, se realizaron mediciones adicionales, tomadas manualmente con un equipo *Reflectómetro de Dominio de Tiempo* (TDR, por sus siglas en inglés, de *Time Domain Reflectometer*), con el objetivo de mejorar la resolución espacial y validar las mediciones del sensor. Los resultados demostraron que las mediciones de los sensores fueron significativamente similares a las tomadas con el equipo manual en varios puntos alrededor de las SMS (datos no presentes aquí).

Área de estudio	Cobertura vegetal	SMS	Símbolo
Cuartos (C)	Grassland (G)	1	CG1
	Tree (T)	1	CT1
Parapuños (P)	Grassland (G)	3, 4	PG3, PG4
	Tree (T)	2	PT2
Naranjero (N)	Grassland (G)	1, 2	NG1, NG2
	Tree (T)	1	NT1

Tabla 2. Ubicación de cada estación de humedad del suelo (SMS) en cada área de estudio, cobertura vegetal que le afecta, y nomenclatura asignada.

La lluvia se midió con pluviómetros de cubeta basculante (*HOBO Data Logging Rain Gauge*, modelo *RG3*), que registraron con una resolución de 0,2 mm y a intervalos de 5 minutos. En cada área de estudio, se colocó un dispositivo cerca (<1 km) de los SMS, a 1,5 m sobre el nivel del suelo y en un área abierta. Las propiedades del suelo se determinaron para cada profundidad de sensor y se presentan en la Tabla 3. La porosidad total se calculó utilizando valores de densidad aparente, que se determinaron utilizando muestras no perturbadas de volumen conocido (~100 cm<sup>3</sup>) y tres réplicas. La materia orgánica del suelo se determinó mediante el método de Walkley y Black (1934) y la distribución del tamaño de grano siguiendo el de USDA (2004).

SMS	Profundidad (cm)	Arcilla (%)	Limo (%)	Arena (%)	Materia Orgánica (%)	Porosidad (%)
CG1	2.5 – 7.5	9.3	49.6	41.2	2.29	44.4
	27.5 – 32.5	14.1	50.0	35.9	1.30	39.0
CT1	2.5 – 7.5	8.5	55.1	36.4	1.86	41.9
	27.5 – 32.5	13.9	54.9	31.2	0.20	42.9
PG3	2.5 – 7.5	7.0	50.2	42.8	4.00	52.8
	27.5 – 32.5	13.1	59.2	27.7	1.00	39.1
PG4	2.5 – 7.5	4.8	38.9	56.3	1.37	35.3
	27.5 – 32.5	15.1	39.0	45.9	0.41	35.1
PT2	2.5 – 7.5	4.2	37.5	58.3	6.30	55.6
	12.5 – 17.5	8.3	57.3	34.5	1.20	41.5
NG1	2.5 – 7.5	7.1	54.1	38.9	2.43	47.1
	12.5 – 17.5	5.3	49.0	45.7	5.00	40.7
NG2	2.5 – 7.5	6.2	48.4	45.4	2.58	48.7
	22.5 – 27.5	10.3	47.9	41.8	0.83	40.0
NT	2.5 – 7.5	4.3	43.3	52.5	4.20	59.1
	17.5 – 22.5	8.4	47.4	44.2	1.52	45.2

Tabla 3. Propiedades físicas de los suelos de cada estación de humedad del suelo (SMS).

### 3.2 Procesamiento de datos y análisis estadístico

Los eventos de lluvia se definieron utilizando el Tiempo Mínimo Intereventos (MIT, por sus siglas en inglés, de *Minimum Inter-event Time*), es decir, el tiempo transcurrido sin

lluvia entre dos eventos consecutivos. En la literatura, este valor oscila entre 3 y 24 h, sin embargo, los valores más ampliamente aceptados son del orden de 6 a 8 h (Dunkerley, 2008). En este estudio, el criterio de separación utilizado fue de 6 h sin cantidades de lluvia mayores a 0,2 mm (Fig. 3). Se justifica porque los eventos de lluvia con espacios de más de 6 h son frecuentes, y porque con frecuencia ocurren registros aislados de 0,2 mm que no producen ningún cambio en la humedad del suelo. Con el fin de definir los factores que influyen en los procesos de humectación del suelo a escala de eventos en cada área de estudio, se definieron las propiedades del evento de lluvia, las condiciones anteriores al evento de lluvia y los valores de humedad del suelo asociados con el evento de lluvia (Tabla 4), como se ilustra en la Fig. 3.

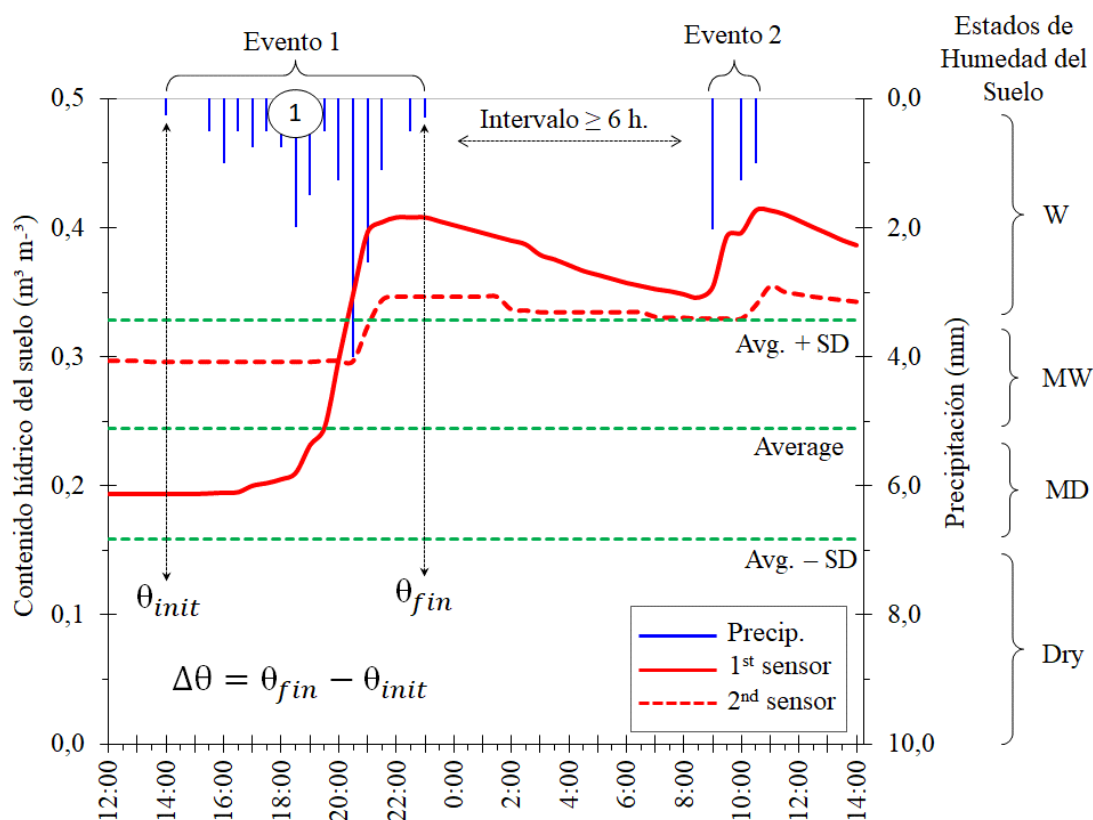


Fig. 3: Metodología utilizada para definir los valores de humedad del suelo para cada evento de lluvia y los estados de humedad del suelo. El número 1 alude a las propiedades de lluvia. SD = desviación estándar.  $\theta_{init}$  y  $\theta_{fin}$  = humedad inicial y final del suelo, respectivamente. MD y MW = estados secos y húmedos intermedios, respectivamente.

Como muestran otros autores, los cambios en la humedad del suelo están fuertemente influenciados por las condiciones antecedentes (Gómez-Plaza *et al.* (2001) o Lin y Zhou (2008)). Por esta razón, se definieron y calcularon cuatro diferentes condiciones o estados antecedentes de humedad del suelo mediante dos métodos diferentes, el método de los cuartiles y el método de desviación estándar media. Los dos métodos probados mostraron resultados muy similares, por lo tanto, el último fue finalmente seleccionado. Este enfoque se aplicó en cada SMS. La Fig. 3 ilustra la metodología utilizada, y la Tabla 5 resume

los valores de humedad del suelo (SM) correspondientes. Se definieron los siguientes estados de humedad del suelo:

- Seco (Dry) =  $SM < \text{promedio} - 1 \text{ desviación estándar}$ . (El estado Seco ocurre cuando el contenido de humedad del suelo registrado por un sensor dado es menor que el promedio de humedad del suelo calculado para el perfil del suelo, menos su desviación estándar).
- Húmedo (W) =  $SM > \text{promedio} + 1 \text{ desviación estándar}$ . (El estado Húmedo ocurre cuando el contenido de humedad del suelo registrado por un sensor dado es mayor que el promedio de humedad del suelo calculado para el perfil del suelo, más su desviación estándar).
- Medio Seco (MD) = SM entre promedio y Seco. (El estado Medio Seco ocurre cuando el contenido de humedad del suelo registrado por un sensor dado se encuentra entre el promedio de humedad del suelo calculado para el perfil del suelo y el estado seco).
- Medio Húmedo (MW) = SM entre promedio y Húmedo. (El estado Medio Húmedo ocurre cuando el contenido de humedad del suelo registrado por un sensor dado se encuentra entre el promedio de humedad del suelo calculado para el perfil del suelo y el estado húmedo).

<i><b>Símbolo</b></i>	<i><b>Descripción</b></i>	<i><b>Unidad</b></i>
Duración	Duración del evento	horas
Rainfall	Cantidad de lluvia del evento	mm
Max-5; 10; 30; 60	Máxima cantidad de lluvia acumulada en 5; 10; 30 y 60 minutos, respectivamente,	mm
TLE, TPE	Tiempo transcurrido desde el último ( <i>Time Last Event</i> ) y el penúltimo evento ( <i>Time Penultimate Event</i> ), respectivamente.	horas
AP	Precipitación acumulada desde el 1 de Septiembre	mm
AP 24h; 48h	Precipitación acumulada en las últimas 24 y 48 horas, respectivamente.	mm
AP 5; 15; 30; 45	Precipitación acumulada en los últimos 5, 15, 30 y 45 días, respectivamente	mm
AP/day	Precipitación antecedente dividida entre el día juliano. Ambas variables comienzan a contabilizarse a partir del 1 septiembre.	mm
PET 10; 30	Evapotranspiración potencial acumulada en los últimos 10 y 30 días, respectivamente. PET fue calculada con el método de <i>Turc</i> [1961].	mm

Tabla 4. Propiedades de los eventos de lluvia, condiciones anteriores al evento de lluvia y los valores de humedad del suelo asociados a eventos de lluvia, símbolos y unidades de medida.

Finalmente, las variaciones de humedad del suelo a escala de eventos de lluvia, en la capa superior y la más profunda del suelo, se analizaron de la siguiente manera:

$$\Delta\theta = \theta_{fin} - \theta_{init}$$

donde  $\Delta\theta$  es la variación de la humedad del suelo en la escala del evento de lluvia,  $\theta_{fin}$  y  $\theta_{init}$  son la humedad del suelo final e inicial registrada por un sensor al final y al comienzo del evento de lluvia, respectivamente.

Respecto a los errores de precisión del sensor, solo se consideraron para el análisis



las variaciones de humedad del suelo superiores a  $0,003 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  (0,3%). En la literatura se atribuyen valores similares al ruido del sensor, por ejemplo, Lin y Zhou (2008) que usaron  $0,002 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ . La base de datos final incluye 989 eventos, con más de 100 eventos para cada SMS, registrados entre el 1/4/2010 y el 31/8/2012.

SMS	Seco	Medio Seco (MS)	Promedio	Medio Húmedo (MH)	Húmedo
CG1	$\leq 0.171$	0.172 - 0.273	0.274	0.275 - 0.376	$\geq 0.377$
CT	$\leq 0.186$	0.187 - 0.276	0.277	0.278 - 0.368	$\geq 0.369$
PG3	$\leq 0.177$	0.178 - 0.283	0.284	0.285 - 0.391	$\geq 0.392$
PG4	$\leq 0.153$	0.154 - 0.234	0.235	0.236 - 0.316	$\geq 0.317$
PT2	$\leq 0.165$	0.166 - 0.267	0.268	0.269 - 0.370	$\geq 0.371$
NG1	$\leq 0.195$	0.196 - 0.292	0.293	0.294 - 0.389	$\geq 0.390$
NG2	$\leq 0.158$	0.159 - 0.243	0.244	0.245 - 0.328	$\geq 0.329$
NT	$\leq 0.093$	0.094 - 0.175	0.176	0.177 - 0.257	$\geq 0.258$

Tabla 5. Valores que definen los 4 estados de humedad edáfica en cada Estación de Humedad (SMS), y humedad media ( $\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) en cada SMS, desde abril 2010 hasta septiembre 2012.

Una vez que se definieron los estados de humedad del suelo para cada SMS, se realizó un análisis estadístico con el fin de establecer las condiciones antecedentes para la ocurrencia de un estado particular de humedad del suelo. Se utilizaron dos grupos de variables que influyen en los aumentos de humedad del suelo, aquellas relacionados con los eventos de lluvia y aquellas relacionadas con las condiciones antecedentes. Su rol en los aumentos de SM se exploró estadísticamente, tanto individualmente como de forma combinada. Finalmente, se usó la prueba estadística no-paramétrica de Mann-Whitney para determinar si se encontraron diferencias significativas en las variaciones de humedad del suelo entre las cubiertas vegetales.

## 4 | RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Características de la lluvia durante el período de estudio

Como se esperaba para el clima mediterráneo, la distribución de las lluvias anuales y estacionales fue bastante irregular entre los tres años hidrológicos, como se ilustra en la Fig. 4. Durante los primeros dos años, las cantidades de lluvia fueron más altas que los valores medios, especialmente en Parapuños, mientras que el tercer año hidrológico puede considerarse muy seco porque las precipitaciones constituyeron solo alrededor del 50% de los valores medios anuales. Los veranos fueron muy secos y alcanzaron más de 120 días sin lluvia. Lluvias muy escasas en verano constituyen la característica más regular de las muy variables precipitaciones de la región, un hecho también reportado por Joffre y Rambal (1993). Durante las estaciones lluviosas (otoño, invierno y primavera) las

precipitaciones fueron irregulares, por ejemplo, en el invierno de 2011–12 se registraron menos de 24 mm en las áreas de estudio, en contraste con el caso de 2009–10, donde el invierno fue excepcionalmente lluvioso. No obstante, la distribución de lluvias estacionales de las granjas de estudio fue similar (Fig. 4).

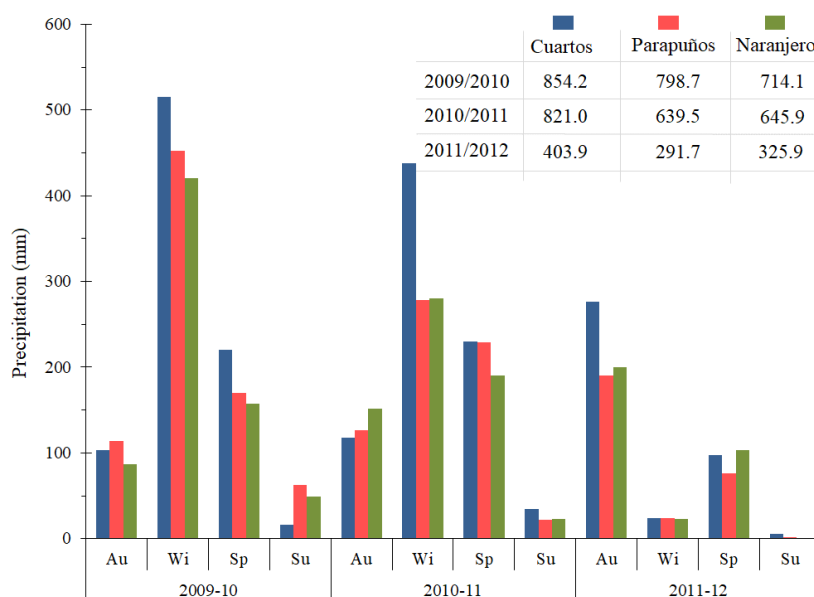


Fig 4. Precipitación (mm) para cada año hidrológico y en las diferentes fincas (arriba a la derecha) y lluvia estacional durante el período de estudio (Au = Otoño, Wi = Invierno, Sp = Primavera, Su = Verano).

Un total de 404 eventos de lluvia estuvieron disponibles para el período de estudio completo, distribuidos en las granjas de la siguiente manera: Cuartos 126, Parapuños 147 y Naranjero 131. Las propiedades del evento de lluvia se muestran en la Tabla 6, mientras que algunas de estas se muestran en la Fig. 5. El 80% de los días de lluvia produjo el 40% de la precipitación (Fig. 5A) y el porcentaje de días con eventos de lluvia inferiores a 10 mm fue cercano al 75% (Fig. 5B). El máximo evento de lluvia se registró en Cuartos con 73,3 mm, mientras que 53,6 y 50,0 mm fueron los registros máximos en Parapuños y Naranjero, respectivamente. La mitad de los eventos de lluvia registraron menos de 5 mm y solo el 25% recibió más de 10 mm en el caso de Naranjero y Parapuños, y más de 14,0 mm en el caso de Cuartos (Fig. 5C). La mayoría de los eventos registraron bajas intensidades, como por ejemplo las cantidades máximas en 60 minutos, que fueron en el 75% de los casos inferiores a 4,1 mm (Naranjero) hasta 5,6 mm (Cuartos) (Fig. 5D). La mitad de los eventos duró menos de 6 h, mientras que solo el 25% tuvo duraciones que excedieron de 9,5 h, en el caso de Naranjero, hasta 14 h, en Cuartos. El tiempo transcurrido desde el último evento de lluvia fue en el 50% de los casos mayor a un día (Tabla 6). Resumiendo, la mayoría de los eventos de lluvia fueron de corta duración, generalmente con cantidades bajas e intensidades bajas. Estas características son importantes porque determinarán la longitud de los espacios secos y los ciclos de rehumectación de las cubiertas vegetales.

Por lo tanto, la lluvia con alta intensidad y corta duración puede producir baja interceptación pero alta esorrentía, mientras que la lluvia continua con baja intensidad puede mostrar tanto una alta tasa de interceptación como de infiltración (Cerdá *et al.*, 1998; Crokford y Richardson, 2000).

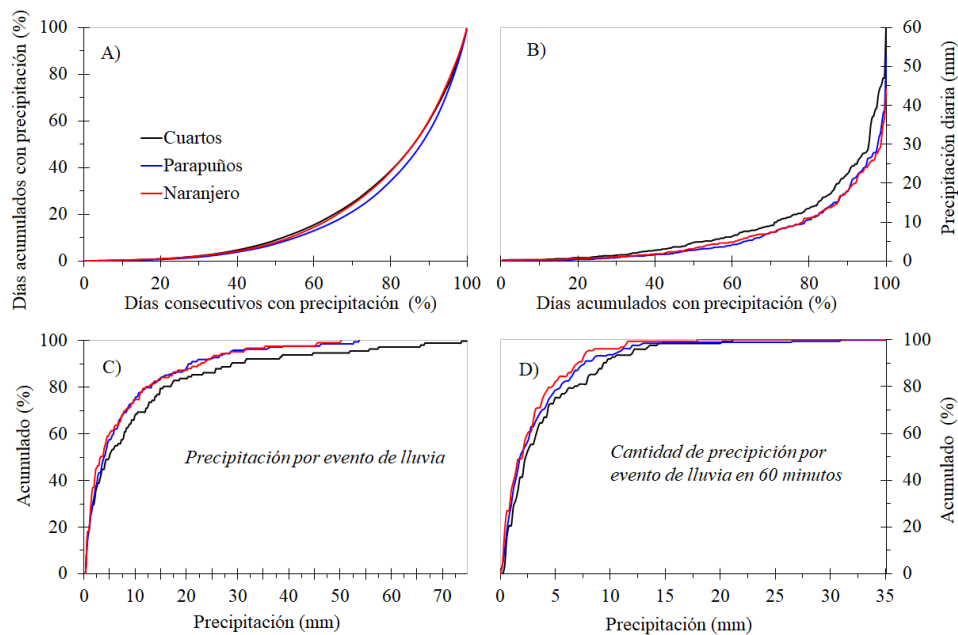


Fig. 5. Distribución de frecuencia relativa acumulada de las tres áreas de estudio durante el período de monitoreo: A) precipitación relativa acumulada en función de los días lluviosos, calculada por el método Martín-Vide (1989); B) precipitación diaria según días acumulados con precipitación; C) cantidades de eventos de lluvia, D) precipitación máxima de 60 min.

	25%			50%			75%		
	C	P	N	C	P	N	C	P	N
Duración	2.5	1.5	2.0	6.0	5.0	4.8	14.0	10.5	9.5
Precipitación	1.3	1.3	1.3	5.1	4.1	3.6	14.0	10.0	10.9
Max5	0.3	0.2	0.3	0.8	0.6	0.5	1.5	1.5	1.0
Max10	0.5	0.4	0.5	1.0	0.9	0.8	2.3	2.3	1.8
Max30	0.8	0.6	0.8	1.8	1.7	1.5	3.8	3.8	3.0
Max60	1.0	0.9	0.8	2.3	2.1	2.3	5.6	4.9	4.1
TLE	10.0	10.0	10.5	29.5	26.0	34.2	146.0	137.0	110.5
TPE	38.5	33.5	56.0	140.5	119.5	110.5	369.5	327.0	304.5
AP	213.1	128.8	170.2	378.0	284.9	283.3	668.6	540.6	493.8
AP/day	1.4	1.2	1.3	2.9	2.0	2.1	3.0	2.2	2.4
AP24h	0.0	0.0	0.0	0.3	0.2	0.3	5.3	4.1	4.3
AP48h	0.0	0.0	0.0	2.3	1.5	0.9	13.2	10.5	8.1
AP5	0.3	0.2	0.8	11.2	7.9	6.7	24.6	18.4	22.4
AP15	4.6	8.8	7.9	24.1	22.6	32.5	66.3	46.8	53.3
AP30	29.2	21.1	30.7	68.6	47.2	59.4	102.1	78.8	88.4
AP45	55.2	37.0	46.2	99.6	65.4	81.7	145.5	105.3	125.0

Tabla 6. Cuartiles de las propiedades del evento y condiciones antecedentes para cada área de estudio; Cuartos (C), Parapuños (P), Naranjero (N). Las abreviaturas y las unidades se explican en la Tabla 4.

## 4.2 Variaciones temporales de la humedad del suelo

Las variaciones de humedad del suelo a escala diaria mostraron una clara dependencia de factores tales como la precipitación y la demanda de evapotranspiración (Fig. 6). Esto generalmente resulta en cuatro períodos: (i) un período de humectación, caracterizado por un aumento de SM durante los meses de otoño, aunque siendo más o menos pronunciado debido a la variabilidad de la lluvia; (ii) un período húmedo, que generalmente coincide con los meses de invierno, durante los cuales el contenido de agua del suelo suele variar entre la capacidad de campo y la saturación; (iii) un período de secado, durante el cual la demanda de evapotranspiración desencadena una disminución de SM; y (iv) el período seco, caracterizado por una baja humedad del suelo, que alcanza su mínimo al final del verano debido a la falta de precipitación y a una alta demanda de evaporación.

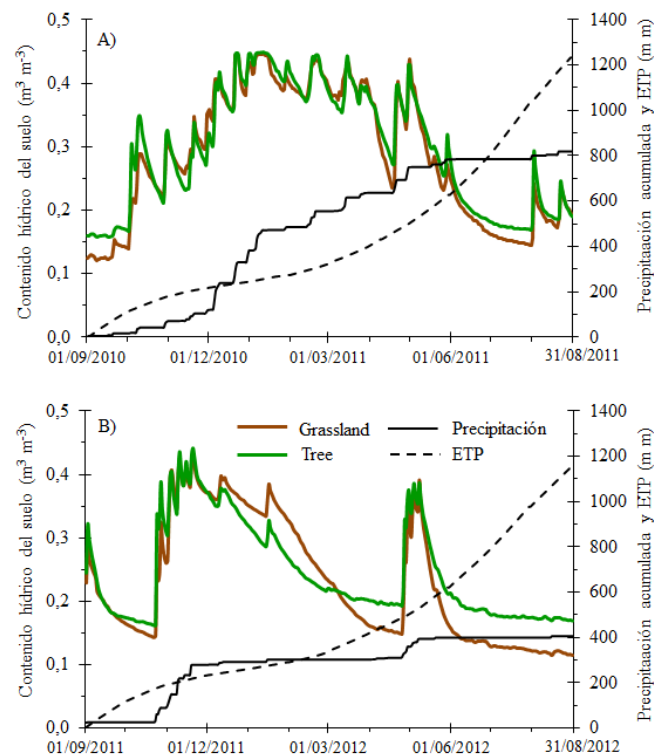


Fig. 6. Variaciones anuales de humedad del suelo a escala diaria en pastizales (CG1) y debajo de la cubierta arbórea (CT) en Cuartos, lluvia acumulada y PET para los años hidrológicos 2010-11, A); y 2011-12, B). Los valores de humedad del suelo representan la humedad promedio del perfil del suelo, mientras que el PET se estimó en intervalos de 10 días por el método de Turc (1961).

Se observaron diferencias notables en la dinámica de la humedad del suelo en diferentes años. Durante el año más húmedo 2010–11, el valor promedio anual de SM fue mayor para todas las áreas de estudio, y la dinámica de la humedad del suelo entre Árbol y Pastizal fue similar, registrando solo pequeñas divergencias (Fig. 6A). En Cuartos, las diferencias entre los valores medios de ambas cubiertas vegetales no fueron significativas ( $p = 0,163$ ), así como tampoco entre PT2 y PG3 ( $p = 0,762$ ). Sin embargo, se observaron diferencias significativas entre PT2 y PG4 ( $p = 0,000$ ) y entre todas las SMS de Naranjero

( $p = 0,000$ ). Durante el año seco 2011–12, el valor promedio anual de humedad del suelo fue menor que en el año húmedo, y las diferencias de SM entre las cubiertas fueron más pronunciadas, alcanzando diferencias máximas durante los períodos sin lluvia (Fig. 6B). Para este año, los valores medios de humedad del suelo entre las cubiertas de vegetación fueron significativamente diferentes en todos los casos. Aunque los períodos más húmedos tendieron a homogeneizar el SM, no se pudo detectar un patrón claro a favor o en detrimento del contenido de agua del suelo entre las cubiertas de vegetación, ya que se observaron varias situaciones en condiciones climáticas similares. Algunos autores han planteado la hipótesis de que el contenido de humedad del suelo puede variar dependiendo de las cubiertas de vegetación. Moreno (2008) sugiere que la hipótesis de un estado mejorado del agua del suelo debajo de los árboles no podría mantenerse en las dehesas más secas (precipitación anual de alrededor de 500 mm o menos), porque la interceptación y la transpiración pueden superar el efecto positivo de los árboles en la capacidad de retención de agua, lo que resulta en una disminución de la humedad del suelo, con un aumento de la aridez. Además, Gea-Izquierdo *et al.* (2009) afirman que las diferencias en el contenido de SM entre las cubiertas de vegetación pueden reducirse durante algunos períodos del año y, por lo tanto, no existe un comportamiento general asociado con la vegetación.

#### 4.3 Factores que regulan los incrementos de la humedad del suelo

Para determinar los factores que influyen en el aumento de la humedad del suelo en la escala de eventos de lluvia, se realizó un análisis de correlación no-paramétrico entre las variaciones positivas de SM en las capas de suelo más superficiales y más profundas, y las variables relacionadas con los eventos de lluvia y las condiciones antecedentes. Los resultados, presentados en la Tabla 7, muestran que todas las variables explican significativamente los aumentos de SM a 5 cm de profundidad, presentándose la correlación estadística más fuerte entre las propiedades de la lluvia y la humedad inicial del suelo. A mayor profundidad, solo las variables asociadas con la lluvia mostraron coeficientes de correlación significativos y altos, mientras que las variables relacionadas con las condiciones antecedentes no ofrecieron correlación estadística. Los valores bajos obtenidos para las variables que se esperaba desempeñaran un papel más importante, como el PET o la precipitación antecedente, pueden explicarse por tener una influencia más fuerte en otra escala de tiempo (Crokford y Richardson, 2000), es decir, no influyen directamente en las variaciones de humedad durante los eventos de lluvia.

	5 cm	En profundidad
Duran	0.33*	0.40*
Rainfall	0.67*	0.60*
Max5	0.50*	0.42*

Max60	0.59*	0.51*
TLE	0.18*	-0.08
TPE	0.22*	-0.03
AP48h	-0.20*	0.04
AP5	-0.25*	0.04
AP15	-0.18*	0.05
AP30	-0.23*	-0.01
PET10	0.23*	0.01
PET30	0.26*	0.00
$\theta_{init}$ en 5 cm	-0.41*	-0.02
$\theta_{init}$ en profundidad	-0.20*	-0.02

Tabla 7: Coeficientes de correlación de rango de Spearman entre las propiedades del evento de lluvia, las condiciones antecedentes y la humedad del suelo aumenta a 5 cm y a mayor profundidad. \* p <0,001; n = 596.

Sin embargo, la forma en que estos factores influyen en los aumentos de SM puede variar temporalmente, dependiendo de las condiciones de humedad del suelo. Por lo tanto, se realizó un análisis estadístico para establecer las condiciones previas de los diferentes estados de SM. Los resultados se presentan en la Tabla 8, que muestra la mediana y la desviación estándar de las variables que definen las condiciones antecedentes. La combinación de variables en un momento dado da como resultado diferentes estados. Por ejemplo, una situación de Medio Seco (MS) ocurre cuando, por un lado, el valor medio para la evapotranspiración potencial durante los últimos 30 días (PET30) es de aproximadamente 95 mm, mientras que su desviación estándar oscila entre  $\pm 32,6$  mm, y, por otro lado, el valor medio de la precipitación antecedente en los últimos 30 días (AP30) es de aproximadamente 43 mm y su desviación estándar oscila entre  $\pm 23$  mm. Para que ocurrieran los casos Húmedos, fue necesaria una cantidad de lluvia de al menos dos veces el PET durante los 30 días anteriores al evento. En contraste, durante el estado Seco, el PET fue aproximadamente diez veces mayor que la lluvia antecedente en los 30 días previos al evento. Asimismo, la ocurrencia de un estado particular fue independiente de la temporada. Por ejemplo, durante el invierno y la primavera de 2011–2012, se produjo un período seco de 99 días en Parapuños, con solo 7,1 mm de lluvia y un PET de más de 208 mm. Esta situación podría explicar parcialmente el menor contenido de agua del suelo registrado este año, cercano (o igual) a un estado Seco (Fig. 6B). Se observaron situaciones similares en las otras áreas de estudio durante el mismo período, donde los contenidos de humedad del suelo estaban fueron Seco en Naranjero y cercano a Seco en Cuartos.

	Dry	MD	MW	Wet
TLE (h)	186.7 $\pm$ 529.6	48.2 $\pm$ 162.3	33.4 $\pm$ 141.7	14.8 $\pm$ 73.1
TPE (h)	434.7 $\pm$ 624.7	186.6 $\pm$ 251.1	100.8 $\pm$ 206.2	53.1 $\pm$ 123.2
AP24h (mm)	0.0 $\pm$ 1.2	0.1 $\pm$ 4.5	0.3 $\pm$ 7.6	2.7 $\pm$ 8.8
AP48h (mm)	0.0 $\pm$ 1.5	0.6 $\pm$ 6.5	1.8 $\pm$ 11.8	7.7 $\pm$ 15.8

AP5 (mm)	0.1 ± 1.9	5.1 ± 9.7	11.2 ± 16.1	19.6 ± 24.0
AP15 (mm)	3.8 ± 5.7	24.1 ± 13.1	33.6 ± 30.1	53.6 ± 37.1
AP30 (mm)	10.2 ± 18.6	42.9 ± 23.0	64.8 ± 39.1	84.6 ± 53.8
PET10 (mm)	33.5 ± 12.0	30.5 ± 13.4	20.5 ± 11.5	15.5 ± 9.4
PET30 (mm)	111.6 ± 35.8	94.7 ± 32.6	68.4 ± 31.3	44.8 ± 25.9

Tabla 8: Mediana ± desviación estándar de las variables que caracterizan las condiciones antecedentes de los estados de humedad del suelo calculados para el conjunto de datos completo. MD y MW = estados secos y húmedos medios, respectivamente.

Debido a que los factores individuales que controlan los aumentos de SM interactúan entre ellos y varían con el tiempo, se realizó un análisis no-lineal de regresión de mínimos cuadrados para considerar su influencia combinada en los aumentos de SM a 5 cm de profundidad en ambas cubiertas de vegetación y en dos estados contrastados (Seco y Húmedo). El análisis estadístico demostró que entre el 42% y el 72% de la varianza de los aumentos en SM en la escala de eventos de lluvia puede explicarse solo por tres variables (Tabla 9). Como se esperaba, la cantidad de lluvia y las condiciones iniciales de humedad del suelo fueron las variables más importantes para los estados Seco y Húmedo. Sin embargo, el rol de la precipitación fue más pronunciado en el estado Seco, tanto en Pastizal como en Árbol, explicando el 58% y 72% de la varianza, respectivamente. Durante el estado Seco, la tercera variable explicativa fue la intensidad de la lluvia, representada por Max60 en Árbol y por Max5 en Pastizal (Tabla 9). Esto podría enfatizar la necesidad de grandes cantidades de lluvia en poco tiempo para superar las cubiertas secas y producir una respuesta hidrológica del suelo. En condiciones húmedas, las terceras variables fueron PET30 y TLE, que contribuyeron a explicar el 59% y 42% de la varianza en Árbol y Pastizal, respectivamente. En este estado, la precipitación antecedente es alta y la evapotranspiración potencial es baja, como se destaca en la Tabla 8. Estos factores pueden influir controlando el tiempo de secado de las cubiertas e, indirectamente, determinando el espacio disponible de poros que permite la variabilidad del agua del suelo a escala de tormenta (Famiglietti et al., 1998; Lin et al., 2006).

Variables dependientes	Modelos	r <sup>2</sup>	Coefficiente	p-level	
Tree – Dry (n = 18)	$\Delta 5 = a * \text{Rainfall}^b * \theta_{\text{init}}^c * \text{Max } 60^d$	0.72	a	0.007	0.196
			b	0.954	0.013
			c	0.204	0.466
			d	0.246	0.541
Tree – Wet (n = 89)	$\Delta 5 = a * \text{Rainfall}^b * \theta_{\text{init}}^c * \text{PET } 30^d$	0.59	a	0.000	0.237
			b	0.667	0.000
			c	-2.491	0.000
			d	0.383	0.005

Grassland–Dry ( $n = 59$ )	$\Delta 5 = a * \text{Rainfall}^b * \theta_{\text{init}}^c * \text{Max } 5^d$	0.58	a	0.017	0.024
			b	0.443	0.000
			c	-0.309	0.006
			d	0.221	0.007
Grassland–Wet ( $n = 128$ )	$\Delta 5 = a * \text{Rainfall}^b * \theta_{\text{init}}^c * \text{TLE}^d$	0.42	a	0.000	0.127
			b	0.325	0.000
			c	-3.127	0.000
			d	0.107	0.008

Tabla 9: Resultados de la regresión no lineal de mínimos cuadrados en las variaciones de humedad del suelo a 5 cm en diferentes cubiertas de vegetación y estados de humedad del suelo.  $n$  = tamaño de muestra.

## 4.4 El rol de la cubierta vegetal en los incrementos de la humedad del suelo a escala de eventos de lluvia

### 4.4.1 Dinámica de humectación espacial y temporal de la capa superior del suelo

Se analizaron un total de 989 eventos, de los cuales solo el 60,3% produjo incrementos de agua del suelo en la capa superior del mismo. Considerando las SMS individualmente, el porcentaje de eventos con una respuesta hidrológica positiva del suelo fue siempre mayor que aquellos sin respuesta (Fig. 7), excepto para PT2 donde solo el 43% de los eventos registraron cambios en SM. Por cobertura vegetal, los sensores ubicados debajo de la copa de los árboles siempre registraron un porcentaje menor de aumentos que los situados en los espacios abiertos de su área de estudio correspondiente. Esto apunta al rol de la interceptación de lluvia y respalda los resultados obtenidos por otros estudios, que afirman que las áreas debajo de las copas de los árboles reciben menos agua que los espacios abiertos (David *et al.*, 2006; Mateos-Rodríguez y Schnabel, 2002).

Con el fin de facilitar la interpretación de los resultados, todos los eventos con una respuesta hidrológica positiva del suelo se reunieron en dos grupos de acuerdo con las condiciones anteriores: situaciones húmedas (MH y Húmeda) y más secas (MS y Seco). Así, el 73,1% de los eventos ocurrieron en zonas húmedas, mientras que solo el 26,9% del aumento de la humedad del suelo tuvo lugar en condiciones más secas. Dentro del primer grupo, el 65,8% ocurrió en Pastizal y el 34,2% en Árbol, mientras que para el segundo 76,9% fue en Pastizal y el 23,1% en Árbol. Esto indica que el efecto de la cubierta vegetal se describió más claramente en condiciones más secas que en condiciones húmedas (Fig. 7). Por otro lado, se observaron variaciones a mayor profundidad en el 32,4% de los 989 eventos, de los cuales 25,5% ocurrieron en condiciones más secas. En condiciones húmedas, fue difícil determinar si se produjo un aumento por una tormenta de lluvia o también por eventos anteriores, porque con frecuencia los eventos no podían separarse de los anteriores, estando conectados hidrológicamente.



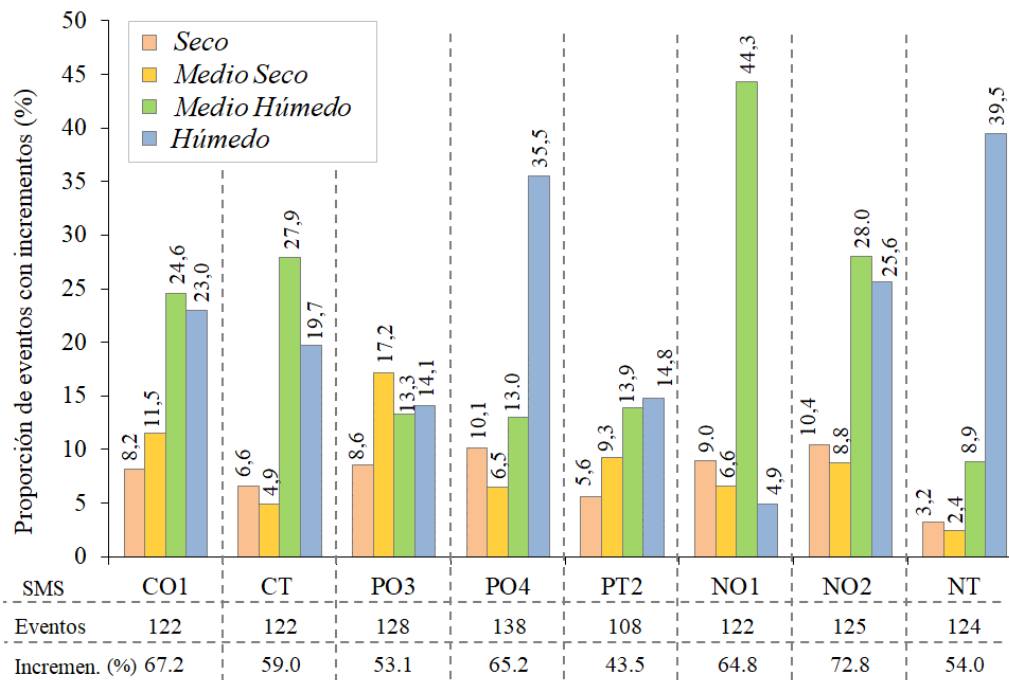


Fig. 7. Proporción de eventos que producen humedad del suelo aumenta a 5 cm para cada estación de humedad del suelo (SMS) y bajo diferentes estados iniciales de humedad del suelo. La tabla presenta el número total de eventos y los porcentajes correspondientes que produjeron aumentos. MD y MW = estados secos y medio húmedos, respectivamente.

#### 4.4.2 Umbrales de lluvia para la respuesta hídrica del suelo

La Fig. 8 muestra los incrementos de SM en la capa superior del suelo en función de la precipitación y los estados antecedentes de humedad del suelo, tanto para Pastizal (A) como para Árbol (B). Durante las condiciones iniciales correspondientes a Seco y MS, solo los eventos de lluvia superiores a 6 mm desencadenaron aumentos de SM debajo de la copa de los árboles, mientras que en pastizales solo fue necesaria una cantidad de 2 mm (Fig. 8A y B). Del mismo modo, el aumento promedio de SM bajo las condiciones Seco y MS fue ligeramente mayor en Pastizal ( $0,100 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) que en Árbol ( $0,088 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ). Es importante tener en cuenta que, debido a que más de la mitad de todos los eventos de lluvia registraron menos de 5 mm de lluvia, una gran cantidad de eventos nunca causaron aumentos del agua del suelo debajo de la cubierta arbórea en los estados iniciales de Seco y MS.

Durante las condiciones Húmeda y MH, las tormentas muy pequeñas (<3 mm) eran propensas a provocar aumentos de agua en el suelo en ambas cubiertas vegetales (Fig. 8). Sin embargo, los incrementos promedio de SM siempre fueron inferiores a  $0,2 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ , mientras que las condiciones más secas pueden registrar mayores variaciones. Las diferencias en los aumentos de SM entre las cubiertas fueron muy bajas o ausentes en los estados iniciales húmedos. Por lo tanto, los aumentos medios de SM mostraron solo pequeñas diferencias entre los pastizales ( $0,039 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ) y la cubierta arbórea ( $0,037 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ). Los suelos saturados, como se esperaba, no mostraron respuestas hidrológicas

positivas. A mayores profundidades, y en condiciones secas, fue necesaria una lluvia de más de 11 mm para producir cambios. En condiciones húmedas no fue posible caracterizar la respuesta de SM debido a la dificultad de separar los eventos hidrológicos.

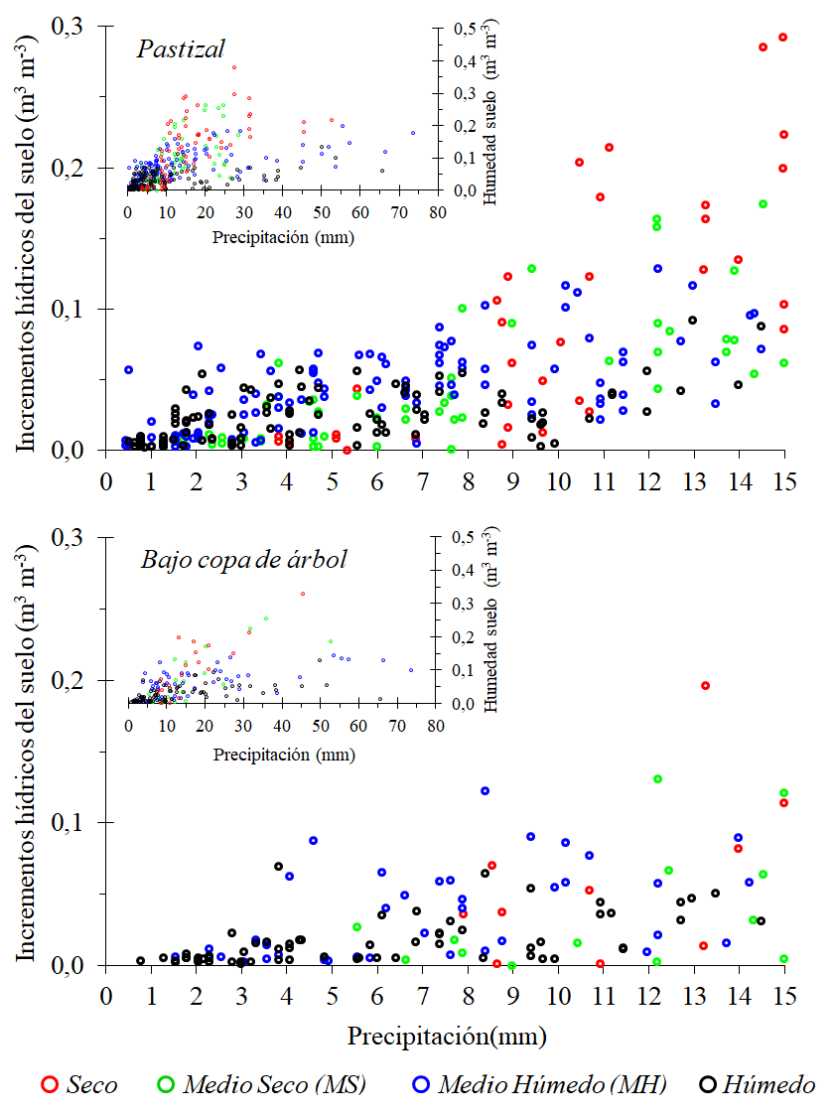


Fig. 8. Diagrama de dispersión entre la precipitación y la humedad del suelo aumenta a 5 cm de profundidad y bajo diferentes estados iniciales de humedad del suelo, en pastizales A) y debajo de la cubierta arbórea B). Las parcelas más pequeñas en la parte superior izquierda representan todos los eventos de lluvia, mientras que las parcelas más grandes se limitan a eventos de lluvia <15 mm.

Este estudio demuestra que la cantidad de lluvia que llega al suelo puede ser modificada temporalmente por las cubiertas, de acuerdo con las condiciones del evento antecedente. En la capa superior del suelo, el porcentaje de eventos de lluvia con respuestas hidrológicas positivas disminuyó en condiciones iniciales más secas, acentuándose más por debajo de las copas de los árboles. Esto resalta el rol de la interceptación del dosel bajo tales condiciones. Muchos autores han informado de casos en los que la pérdida de interceptación bruta por las copas de los árboles aumenta con el aumento de la lluvia, mientras que la pérdida de interceptación relativa por los árboles disminuye a medida que aumenta la cantidad de lluvia (ver artículos de revisión de Crokford y Richardson (2000) o

Llorens y Domingo (2007)). Sin embargo, los patrones temporales en tales afirmaciones se observaron en este estudio. En estados húmedos, incluso los eventos de lluvia más pequeños (<3 mm) pueden producir una respuesta hidrológica del suelo, tanto en *Árbol* como en *Pastizal* (Fig. 8), lo que significa que no se interceptan por completo. Resultados similares fueron observados por Cantón *et al.* (2004) en un estudio desarrollado en el sureste semiárido de España, que informa que los eventos de lluvia de menos de 3 mm pueden o no tener un impacto en los procesos de humectación, dependiendo de los antecedentes de humedad del suelo. Esto puede explicarse porque en condiciones húmedas la evaporación de las superficies es menor debido a la disponibilidad limitada de energía. Además, los patrones de precipitación generalmente presentan eventos de lluvia más sucesivos que permiten una humectación más rápida de las cubiertas, lo que da lugar a que las copas alcancen un mayor grado de saturación y goteen durante más tiempo (Crokford y Richardson, 2000; Perrier y Tuzet, 2008). En situaciones más secas, los eventos de lluvia suelen ser discontinuos y la demanda de evaporación durante los intervalos secos es más fuerte. Además, la repelencia al agua del suelo se vuelve más importante, disminuyendo gradualmente a medida que el suelo se humedece (Doerr y Thomas, 2000; Schnabel *et al.*, 2013b). En consecuencia, en tales estados se necesitan mayores cantidades o intensidades para que el agua de lluvia llegue al suelo. Por lo tanto, la frecuencia de los ciclos de rehumectación o, de la misma manera, las condiciones antecedentes parecen ser más importantes que la duración o la precipitación (David *et al.*, 2006; Ward y Robinson, 2000). Como resultado, el papel de la vegetación en la cantidad de agua de lluvia que llega al suelo podría ser más decisivo en condiciones más secas.

#### 4.4.3 Efectos de la cubierta vegetal sobre la respuesta hidrológica del suelo

Para comparar las respuestas hidrológicas de la capa superior del suelo entre *Pastizal* y *Árbol*, se seleccionaron varios eventos de lluvia para los diferentes estados de humedad del suelo y cada área de estudio (Fig. 9). Bajo los estados *Seco* y *MS*, se necesitaron altas cantidades de lluvia o intensidades para producir un aumento de *SM* en ambas cubiertas de vegetación. Sin embargo, debajo de los árboles se observaron mayores retrasos en la humectación del suelo y menores incrementos de *SM* en comparación con los espacios abiertos. Esto puede deberse al efecto combinado de factores como la repelencia al agua por parte del suelo o la interceptación por las cubiertas, cuya influencia puede variar con el tiempo (Doerr y Thomas, 2000; Gerrits *et al.*, 2013). En condiciones iniciales de *Húmedo* y *MH*, mayores cantidades de lluvia fueron propensas a provocar aumentos de agua del suelo en ambos tipos de vegetación, porque las cubiertas estaban previamente mojadas, lo que da lugar a la saturación de su capacidad de almacenamiento y produce un goteo más rápido del agua de lluvia. La mayoría de las veces, los procesos de humectación fueron más lentos debajo de los árboles debido al efecto de amortiguación de su dosel

(Fig. 9). Por otro lado, nuestras observaciones cuestionan el intervalo de tiempo de uso frecuente de 6 h (o menos) para separar los eventos de lluvia. Esto se basa en el tiempo de secado de la copa de los árboles, ya que la corona y el tronco probablemente no siempre se secan por completo entre los eventos, lo que concuerda con las observaciones realizadas por Llorens *et al.* (2014).

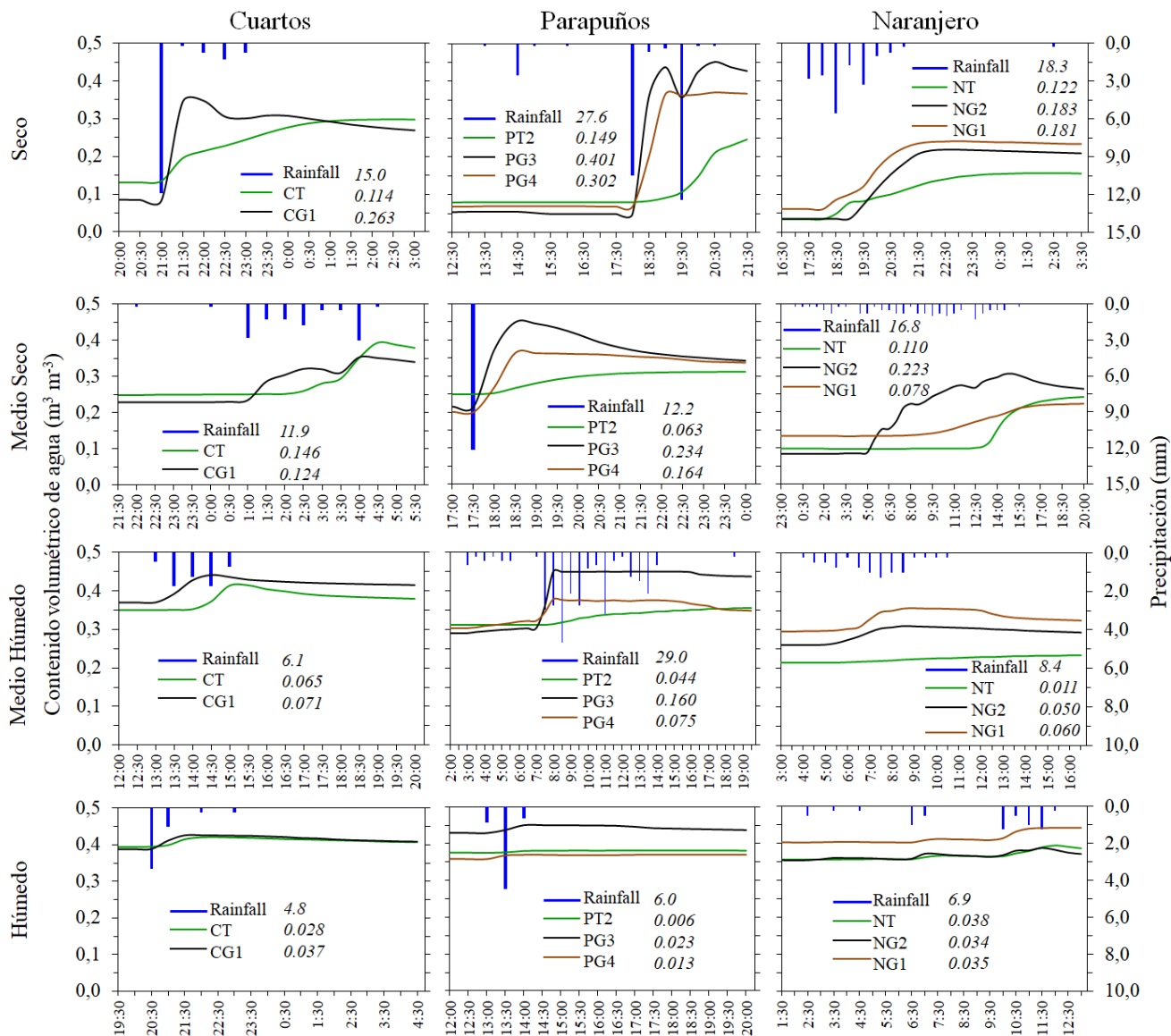


Fig. 9. Respuesta hidrológica del suelo a eventos de lluvia en la capa superior del suelo y bajo diferentes cubiertas de vegetación, considerando diferentes estados iniciales de humedad del suelo. Los acrónimos dentro del gráfico hacen referencia a las estaciones de humedad del suelo y los números a la variación de humedad del suelo.

Para probar las diferentes respuestas descritas anteriormente, se realizó una prueba no-paramétrica entre las variaciones de SM en Pastizal y Árbol, para diferentes profundidades y para cada área de estudio (Tabla 10). Los resultados mostraron diferencias significativas entre los dos tipos de cobertura para las variaciones de humedad de la capa superior del suelo en cada área de estudio, pero no se observaron diferencias significativas a mayor profundidad del suelo.

	n	C Grassland		P Grassland		N Grassland	
		5 cm	30 cm	5 cm	30 cm	5 cm	30 cm
<b>C-Tree</b>	244	5 cm	*				
	244	30 cm		ns			
<b>P-Tree</b>	279	5 cm		*			
	294	30 cm			ns		
<b>N-Tree</b>	366	5 cm				**	
	366	30 cm					ns

Tabla 10. Prueba U de Mann-Whitney calculada con variaciones de humedad del suelo a diferentes profundidades, 5 y 30 cm, bajo diferentes cubiertas de vegetación. C = Cuartos; P = parapuños; N = Naranjero

Es importante contemplar los resultados obtenidos en este estudio dentro del marco global del cambio climático, que predice cambios en los patrones de precipitación. Esto puede permitir una mejor comprensión de la variabilidad espacio-temporal de los recursos hídricos, permitiendo a su vez una mejor gestión de los ecosistemas, así como mejorar el diseño de modelos para predicciones hidrológicas. Los análisis recientes de la tendencia temporal de la lluvia han puesto de manifiesto una disminución significativa de la precipitación anual y de los días de lluvia, un aumento de la variabilidad anual y estacional, y una mayor frecuencia e intensidad de los períodos secos, junto con un aumento de la temperatura del aire (Ceballos-Barbancho *et al.*, 2004; Giorgi y Lionello, 2008; González-Hidalgo *et al.*, 2001; IPCC, 2013; Philandras *et al.*, 2011; Piervitali y Colacino, 2003). Estos factores pueden aumentar la intensidad y la duración de las sequías, exacerbando los déficits de agua del suelo, así como realizando la demanda de evaporación e incrementando la capacidad de almacenamiento de agua por coberturas. De manera similar, la frecuencia e intensidad de los eventos de precipitación intensa, como las precipitaciones diarias extremas, ha aumentado en Europa (Alpert *et al.*, 2002; IPCC, 2013), lo que puede conducir a un aumento de la escorrentía y la erosión del suelo, y a una disminución de la humedad del mismo (Cerdá *et al.*, 1998). Estas circunstancias podrían influir en la cantidad de agua que llega al suelo, con el consiguiente impacto en los ecosistemas muy sensibles al agua.

## 5 | CONCLUSIONES

El rol de las cubiertas vegetales en el aumento de la humedad del suelo a alta resolución temporal se determinó en tres áreas de estudio durante 2,5 años hidrológicos. La cantidad de agua de lluvia que pasa por las cubiertas de vegetación y llega al suelo fue modificada por las condiciones ambientales anteriores (de seco a húmedo) y por las propiedades de precipitación. Sin embargo, en condiciones iniciales más secas, las intensidades de lluvia desempeñaron un papel clave, mientras que en estados más

húmedos las variables influyentes se asociaron con la disponibilidad de espacio de los poros.

Los eventos de lluvia interceptados por coberturas aumentaron cuando los estados iniciales se volvieron más secos, acentuándose más por debajo de las copas de los árboles. Por lo tanto, la frecuencia de los ciclos de rehumectación o los estados antecedentes parecen ser tan importantes o más que la duración o la cantidad de precipitación. Por lo tanto, el papel de la vegetación fue más decisivo en condiciones ambientales más secas.

En general, los incrementos de la humedad del suelo bajo las copas de los árboles fueron más lentos y más pequeños que en los pastizales. La interceptación de las lluvias por parte de los árboles provocó una mayor reducción, así como un retraso en la llegada del agua de lluvia a la superficie del suelo, en comparación con los pastizales. El umbral de lluvia para producir una respuesta hidrológica positiva del suelo bajo la cubierta arbórea, y en condiciones ambientales más secas, fue de 6 mm, mientras que en los pastizales fue de solo 2 mm. Esto es importante porque las condiciones iniciales fueron independientes de la estacionalidad, y porque más de la mitad de todos los eventos de lluvia registraron cantidades menores a 5 mm. Por lo tanto, un cambio climático en las regiones semiáridas, según lo predicho por el IPCC (2013), podría afectar el régimen de precipitación y temperatura, realzando los períodos de sequía y la demanda de evaporación, causando un aumento de la capacidad de interceptación de la vegetación y, en consecuencia, afectando los procesos ecológicos.

## REFERENCIAS

- Alpert, P. et al., 2002. The paradoxical increase of Mediterranean extreme daily rainfall in spite of decrease in total values. *Geophysical Research Letters*, 29(X): 1-4.
- Cantón, Y., Solé-Benet, A., Domingo, F., 2004. Temporal and spatial patterns of soil moisture in semiarid badlands of SE Spain. *Journal of Hydrology*, 285(1-4): 199–214.
- Ceballos-Barbancho, A., Martínez Fernández, J., Luengo-Ugidos, M.A., 2004. Analysis of rainfall trends and dry periods on a pluviometric gradient representative of Mediterranean climate in the Duero Basin, Spain. *Journal of Arid Environments*, 58: 215-233.
- Cerdá, A., Schnabel, S., Ceballos, A., Gómez-Amelia, D., 1998. Soil hydrological response under simulated rainfall in the dehesa land system (Extremadura, SW Spain) under drought conditions. *Earth Surface Processes and Landforms*, 23: 195-209.
- Cobos, D.R., Chambers, C., 2010. Calibrating ECH2O Soil Moisture Sensors. Decagon Device. Application Note. [www.decagon.com](http://www.decagon.com).
- Corbett, E.S., Crouse, R.P., 1968. Rainfall interception by annual grass and chaparral . . . losses compared. Berkeley, California, Pacific SW. Forest & Range Exp. U.S.D.A. Forest Service Research Paper, 48: 12.
- Croford, R.H., Richardson, D.P., 2000. Partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception: effect of forest type, ground cover and climate. *Hydrological Processes*, 14(16-17): 2903-2920.

- Cubera, E., Moreno, G., 2007a. Effect of land use on soil water dynamic in dehesas of Central-Western Spain. *Catena*, 71: 298-308.
- Cubera, E., Moreno, G., 2007b. Effect of single *Quercus ilex* trees upon spatial and seasonal changes in soil water content in dehesas of central western Spain. *Annals of Forest Science*, 64: 355-364.
- D'Odorico, P., Porporato, A., 2006. Soil moisture dynamics in water-limited ecosystems. In: D'Odorico, P., Porporato, A. (Eds.), *Dryland Ecohydrology*. Springer, Dordrecht (Netherlands), pp. 31-46.
- Damesin, C., Rambal, S., Joffre, R., 1998. Co-occurrence of trees with different leaf habit: a functional approach on Mediterranean oaks. *Acta Oecologica*, 19(3): 195-204.
- David, T.S. et al., 2006. Rainfall interception by an isolated evergreen oak tree in a Mediterranean savannah. *Hydrological Processes*, 20(13): 2713–2726.
- Doerr, S.H., Thomas, A.D., 2000. The role of soil moisture in controlling water repellency: new evidence from forest soils in Portugal. *Journal of Hydrology*, 231-232: 134–147.
- Dunkerley, D., 2008. Identifying individual rain events from pluviograph records: a review with analysis of data from an Australian dryland site. *Hydrological Processes*, 22: 5024-5036.
- Famiglietti, J.S., Rudnicki, J.W., Rodell, M., 1998. Variability in surface moisture content along a hillslope transect: Rattlesnake Hill, Texas. *Journal of Hydrology*, 210: 259-281.
- FAO, 2006. World reference base for soil resources. World Soil Resources Re-ports No. 103. FAO, Roma, 109 pp.
- Fathizadeh, O. et al., 2014. Spatial heterogeneity and temporal stability of throughfall under individual *Quercus brantii* trees. *Hydrological Processes*, 28(3): 1124–1136.
- Fathizadeh, O., Attarod, P., Pypker, T.G., Darvishsefat, A.A., Amiri, G.Z., 2013. Seasonal variability of rainfall interception and canopy storage capacity measured under individual oak (*Quercus brantii*) trees in Western Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 15(1): 175-188.
- García-Estringana, P., Latron, J., Llorens, P., Gallart, F., 2013. Spatial and temporal dynamics of soil moisture in a Mediterranean mountain area (Vallcebre, NE Spain). *Ecohydrology*, 6(5): 741–753.
- Gea-Izquierdo, G., Montero, G., Cañellas, I., 2009. Changes in limiting resources determine spatio-temporal variability in tree–grass interactions. *Agroforestry Systems*, 76: 375-387.
- Gerrits, A.M.J., Hopp, L., Savenije, H.H.G., Pfister, L., 2013. The effect of spatial throughfall patterns on soil moisture patterns at the hillslope scale. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17: 1749-1763.
- Gerrits, A.M.J., Savenije, H.H.G., Hoffmann, L., Pfister, L., 2007. New technique to measure forest floor interception – an application in a beech forest in Luxembourg. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11: 695-701.
- Giorgi, F., Lionello, P., 2008. Climate change projections for the Mediterranean region. *Global and Planetary Change*, 63: 90-104.
- Gómez-Plaza, A., Martínez-Mena, M., Albadalejo, J., Castillo, V.M., 2001. Factors regulating spatial distribution of soil water content in small semiarid catchments. *Journal of Hydrology*, 253: 211-226.
- González-Hidalgo, J.C., De Luis, M., Raventós, J., Sánchez, J.R., 2001. Spatial distribution of seasonal rainfall trends in a western mediterranean area. *International Journal of Climatology*, 21: 843–860.

- Incerti, G. et al., 2011. Litter decomposition in Mediterranean ecosystems: Modelling the controlling role of climatic conditions and litter quality. *Applied Soil Ecology*, 49: 148-157.
- IPCC, 2013. *Climate Change 2013. Summary for Policymakers*. In: Stocker, T.F. et al. (Eds.), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 33 p.
- Joffre, R., Rambal, S., 1988. Soil water improvement by trees in the rangelands of southern Spain. *Oecologia Plantarum*, 9(4): 405-422.
- Joffre, R., Rambal, S., 1993. How tree cover influences the water balance of mediterranean rangelands. *Ecology*, 74(2): 570-582.
- Liang, W.-L., Kosugi, K.i., Mizuyama, T., 2011. Soil water dynamics around a tree on a hillslope with or without rainwater supplied by stemflow. *Water Resources Research*, 47: W02541.
- Lin, H. et al., 2006. *Hydropedology: Synergistic integration of pedology and hydrology*. *Water Resources Research*, 42(5): W05301.
- Lin, H., Zhou, X., 2008. Evidence of subsurface preferential flow using soil hydrologic monitoring in the Shale catchment. *European Journal of Soil Science*, 59: 34-49.
- Llorens, P., Domingo, F., 2007. Rainfall partitioning by vegetation under Mediterranean conditions. A review of studies in Europe. *Journal of Hydrology*, 335: 37-54.
- Llorens, P., Domingo, F., García-Estringana, P., Muzylo, A., Gallart, F., 2014. Canopy wetness patterns in a Mediterranean deciduous stand. *Journal of Hydrology*, 512(6): 254–262.
- Martín Vide, J., 1989. Precipitaciones torrenciales en España. *Norba Revista de Geografía*, 6-7: 63-79.
- Mateos, B., Schnabel, S., 2002. Rainfall interception by holm oaks in Mediterranean open woodland. In: García-Ruiz, J.M., Jones, J.A.A., Arnaez, J. (Eds.), *Environmental change and water sustainability*. CSIC and University of La Rioja, La Rioja. Spain, pp. 31-42.
- Moreno, G., 2008. Response of understory forage to multiple tree effects in Iberian dehesas. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 123: 239-244.
- Moreno, G., Obrador, J.J., Cubera, E., Dupraz, C., 2005. Fine root distribution in Dehesas of Central-Western Spain. *Plant and Soil*, 277: 153-162.
- Moreno, G., Pulido, F.J., 2009. The Functioning, Management and Persistence of Dehesas. In: Rigueiro-Rodríguez, A., McAdam, J., Mosquera-Losada, M.R. (Eds.), *Agroforestry in Europe: current status and future prospects*. Springer, Florida, USA, pp. 127-160.
- Pereira, F.L. et al., 2009. Modelling interception loss from evergreen oak Mediterranean savannas: Application of a tree-based modelling approach. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149: 680-688.
- Perrier, A., Tuzet, A., 2008. Evaporation. In: Trimble, S.W. (Ed.), *Encyclopedia of Water Science*. 2nd ed. Taylor & Francis Group, New York, pp. 307-310.
- Philandras, C.M. et al., 2011. Long term precipitation trends and variability within the Mediterranean region. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 11: 3235–3250.



- Piervitali, E., Colacino, M., 2003. Precipitation scenarios in the Central-Western Mediterranean Basin. In: Hans-Jürgen, B. (Ed.), *Mediterranean Climate: variability and trends*. Springer Berlin Heidelberg, Germany, pp. 245-258.
- Pulido-Fernández, M., Schnabel, S., Lavado-Contador, J.F., Miralles-Mellado, I., Ortega-Pérez, R., 2013. Soil organic matter of Iberian open woodland rangelands as influenced by vegetation cover and land management. *Catena*, 109: 13-24.
- Rodríguez-Iturbe, I., 2000. Ecohydrology: A hydrologic perspective of climate-soil-vegetation dynamics. *Water Resources Research*, 36(1): 3-9.
- Schnabel, S., Dahlgren, R.A., Moreno, G., 2013a. Soil and water dynamics. In: Campos, P. et al. (Eds.), *Mediterranean oak woodland working landscapes. Dehesas of Spain and ranchlands of California*. Springer-Verlag, New York, pp. 91-121.
- Schnabel, S., Pulido Fernández, M., Lavado-Contador, J.F., 2013b. Soil water repellency in rangelands of Extremadura (Spain) and its relationship with land management. *Catena*, 103: 53-61.
- Staelens, J., Schrijver, A.D., Verheyen, K., Verhoest, N., 2006. Spatial variability and temporal stability of throughfall water under a dominant beech (*Fagus sylvatica* L.) tree in relationship to canopy cover. *Journal of Hydrology*, 330(3-4): 651-662.
- Swarowsky, A., Dahlgren, R.A., Tate, K.W., Hopmans, J.W., O'Geen, A.T., 2011. Catchment-scale soil water dynamics in a Mediterranean-type oak woodland. *Vadose Zone Journal*, 10: 800-815.
- Turc, L., 1961. Estimation of irrigation water requirements, potential evapotranspiration: A simple climatic formula evolved up to date. *Ann. Agron.*, 12: 13-49.
- UNEP, 1992. *World Atlas of Desertification*. United Nations Environmental Programme, Roma.
- USDA, 2004. *Soil Survey Laboratory Methods Manual, Soil Survey Investigations*. USDA-NCRS, Lincoln, USA.
- Walkley, A., Black, L.A., 1934. An examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37: 29-38.
- Wang, S., Fu, B., Gao, G., Liu, Y., Zhou, J., 2013. Responses of soil moisture in different land cover types to rainfall events in a re vegetation catchment area of the Loess Plateau, China. *Catena*, 101: 122–128.
- Ward, R.C., Robinson, M., 2000. *Principles of hydrology*. Mc Graw-Hill. 4 th Edition, London, 395 pp.
- Zehe, E., Graeff, T., Morgner, M., Bauer, A., Bronstert, A., 2010. Plot and field scale soil moisture dynamics and subsurface wetness control on runoff generation in a headwater in the Ore Mountains. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14: 873-889.
- Zhang, Y. et al., 2010. The response of soil moisture content to rainfall events in semi-arid area of Inner Mongolia. *Procedia Environmental Sciences*, 2: 1970–1978.

## ÍNDICE REMISSIVO

### A

Agência nacional de vigilância sanitária 58  
Agroindústria 104, 105, 107  
Artesão 4, 5  
Aterro sanitário 67, 70, 72, 73, 75, 80, 81

### B

Banana 8, 185, 186, 192, 194, 213

### C

Certificação ambiental 32, 43  
Ciclo hidrológico 124  
Coeficiente de determinação 70, 79  
Comercialização ilegal 195, 197  
Compostagem 61, 64  
Condições climáticas 72, 95, 98, 255, 257  
Corredor central da mata atlântica 230  
Cubierta vegetal 125, 126, 127, 141, 144, 151, 155

### D

Diagramas 45  
Doenças respiratórias 248, 257

### E

Emoções 290, 291  
Escalas temporales 124  
Estiagens 1, 8, 10  
Eutrofização 261

### F

Feijão bravo 178, 179, 182  
Fitofisionomias 95, 98, 197, 206  
Flora 106, 183, 204, 206, 207, 235, 279, 280, 285  
Fossa negra 16, 21, 23, 25, 27, 28, 30  
Frota de veículos 247

## I

Incineração 61, 64

Insumos farmacêuticos 61

## L

La cuenca experimental 127, 129, 153, 154, 155, 169

Latossolo amarelo distrófico 170, 172

Linguagem universal 288

## P

Padrões de qualidade do ar 250

Parques nacionais 84

Parque zoobotânico 178, 180

Pegada ecológica 107

Península ibérica 127, 151, 152, 153

Planalto conquistense 236, 237

Polinização 197, 236, 238, 240, 241, 245

Precipitações pluviais 273

Problemas fitossanitários 184, 185

Protagonismo juvenil 236, 245

## R

Raízes de macrófitas 260, 261, 265

Reciclagem 32, 33, 34, 35, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 60, 61, 62, 63, 65

Rede entomológica 208, 213, 225

Régua linimétrica 269, 271

Reservatório bolonha 259, 260

## S

Sabedoria popular 267, 268, 276

Segurança alimentar 1, 9, 115, 116, 285

Sensores 124, 127, 129, 130, 141, 151, 154, 156, 160, 161, 162, 164, 165, 167

Simulações 82, 93

Sistema de plantio direto 170, 172, 175, 176

Software 21, 74, 75, 76, 84, 85, 94, 95, 96, 99, 100, 188, 267, 268, 271

## V

Vida útil 33

## Z

Zonas rurais 18, 19, 278

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

 @atenaeditora

 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

# **O MEIO AMBIENTE E A INTERFACE DOS SISTEMAS SOCIAL E NATURAL 2**

 Atena  
Editora

**Ano 2020**

 [www.atenaeditora.com.br](http://www.atenaeditora.com.br)

 [contato@atenaeditora.com.br](mailto:contato@atenaeditora.com.br)

 [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)

 [www.facebook.com/atenaeditora.com.br](https://www.facebook.com/atenaeditora.com.br)

# **O MEIO AMBIENTE E A INTERFACE DOS SISTEMAS SOCIAL E NATURAL 2**

 **Atena**  
Editora

**Ano 2020**