



Micorrizas arbusculares en ecosistemas áridos y semiáridos

Arbuscular mycorrhizae in arid and semi-arid ecosystems

Noé Manuel Montaña Arias, Sara Lucía Camargo Ricalde,
Rosalva García Sánchez, Arcadio Monroy Ata. **EDITORES.**



MP

Micorrizas arbusculares en ecosistemas áridos y semiáridos

Arbuscular mycorrhizae in arid and semi-arid ecosystems

EDITORES/EDITORS:

Noé Manuel Montaña Arias

Centro de Investigaciones en Ecosistemas, Universidad Nacional Autónoma de México. Morelia, Michoacán, México.

Sara Lucía Camargo Ricalde

Departamento de Biología, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa. México, Distrito Federal, México.

Rosalva García Sánchez

Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México. México, Distrito Federal, México.

Arcadio Monroy Ata

Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México. México, Distrito Federal, México.



Grupo Mundi-Prensa

Mundi-Prensa México, S. A. de C. V.

Río Pánuco 141 - Col. Cuauhtémoc
06500 México, D. F.
Tel. 00 525 55 533 56 58 - Fax 00 525 55 514 67 99
E-mail: mundiprensa@mundiprensa.com.mx

Mundi-Prensa Libros, S. A.

Castelló, 37 - 28001 Madrid
Tel. +34 914 36 37 00 - Fax +34 915 75 39 98
E-mail: libreria@mundiprensa.es

Mundi-Prensa Barcelona Editorial Aedos, S. A.

Aptdo. de Correos 33388 - 08080 Barcelona
Tel. +34 629 26 23 28 - Fax +34 933 06 34 99
E-mail: barcelona@mundiprensa.es

TÍTULO DE LA OBRA:

Micorrizas arbusculares en ecosistemas áridos y semiáridos.
Arbuscular mycorrhizae in arid and semi-arid ecosystems

EDICIÓN ORIGINAL PUBLICADA POR:

- © Mundi Prensa México, S. A. de C. V.
- © Universidad Nacional Autónoma de México
- © Universidad Autónoma Metropolitana
- © Instituto Nacional de Ecología

EDITORES:

Noé Manuel Montaña Arias
Sara Lucía Camargo Ricalde
Rosalva García Sánchez
Arcadio Monroy Ata
1a. Edición, 2008

PROPIEDAD DE:

© Mundi Prensa México, S. A. de C. V.
Río Pánuco, 141, Col. Cuauhtémoc
06500 México, D. F.

Reservados todos los derechos. No se permite la reproducción, total o parcial de este libro ni el almacenamiento en un sistema informático, ni la transmisión de cualquier forma o cualquier medio, electrónico, mecánico, fotocopia, registro u otros medios sin el permiso previo y por escrito de los titulares del copyright.

ISBN 978-968-7462- 56-1

Forma sugerida para citar este libro/Citation:

Montaña NM, Camargo-Ricalde SL, García-Sánchez R, Monroy-Ata A. (Eds.) 2008. Micorrizas arbusculares en ecosistemas áridos y semiáridos (*Arbuscular mycorrhizae in arid and semi-arid ecosystems*). Mundi-Prensa SA de CV, Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAT, UAM-Iztapalapa, FES-Zaragoza-UNAM. Mexico, Distrito Federal, México.

Las opiniones expresadas en los textos son responsabilidad exclusiva de los autores y no reflejan necesariamente la opinión de los editores, revisores o de las instituciones titulares de los derechos de autor.

Impreso en México. *Printed in Mexico*

Corporación de Servicios Gráfico Rojo, S.A. de C.V.
Progreso No. 10 Col. Centro
Ixtapaluca, Edo. de México
Fecha: Abril 2008

Microbes are essential components of the Earth's biota since they catalyse unique and indispensable transformations in the biogeochemical cycles of the biosphere, and provide plants and animals with essential nutrients; arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) fall into this group, associating with the majority of land plants, providing them with nutrients, water and protection from a number of environmental stresses, as it happens in the arid and semi-arid ecosystems

Adapted from: Smith and Read 1997

Si de todos los organismos creados por Dios
los más pequeños y aparentemente menos útiles
fueran suprimidos, la vida se tornaría imposible,
ya que el regreso a la atmósfera
y al reino mineral de todo lo que dejó de vivir
sería bruscamente suprimido

Louis Pasteur

Este libro manifiesta el cómo se está actualizando constantemente el conocimiento sobre las micorrizas, señala que aún en ambientes estresantes como lo son las zonas áridas y semiáridas, las micorrizas juegan en ellos un papel muy importante en la absorción de nutrientes, en el crecimiento y propagación de las plantas, en el mantenimiento de la diversidad e incluso en el manejo de cultivos. Es una expresión también de la enriquecedora interacción institucional y refleja la intensidad de las actividades de investigación en varios países del mundo.

Francisco Javier Álvarez Sánchez
Facultad de Ciencias, UNAM, México
Sociedad Mexicana de la Simbiosis Micorrícica

This is the first book devoted entirely to the myriad ways in which arbuscular mycorrhizae (AM) fungi influence the ecology and biology of arid and semi-arid areas. It is a timely and important volume. Worldwide, fresh water supplies are diminishing, and irrigation water is becoming more saline; AM symbiosis also modifies plant resilience to soil salinity and sodicity. This book addresses critical roles of mycorrhizal colonization in deserts and in dryland farming, in such areas as functional diversity, nutrition, resource islands, and crop and ecosystem management. It identifies the AM fungi that inhabit roots of important arid plants, and it summarizes several case studies that provide important insights into ecosystem function.

Robert M. Augé
University of Tennessee, USA
International Mycorrhiza Society

Prefacio

Cualquier población en condiciones naturales, se ha adaptado a sobrevivir y crecer a las presiones del ambiente como parte de un complejo proceso evolutivo. En este contexto, las condiciones del ambiente y los recursos que en él puedan estar disponibles, se convierten en un factor crítico ante el cual los rasgos de historia de vida de los organismos se han modulado para hacer más eficientes los procesos de crecimiento, supervivencia, reproducción y almacenamiento de recursos.

Evolutivamente, las interacciones entre organismos son uno de los ejes que modulan la adecuación de las poblaciones, otorgando a sus individuos las posibilidades de un mejor desempeño. Una de las interacciones que proporcionan un beneficio mutuo a los participantes, es la mutualista. A final de cuentas, en el balance en términos ecológicos y evolutivos, la energía invertida en mantener la interacción, dejará un beneficio a ambas poblaciones en términos de su historia de vida. Por ello, la asociación micorrícica es una de las más extendidas; ahora sabemos que es muy importante en los ecosistemas naturales ya que incrementa la absorción de nutrientes, la formación de agregados del suelo que mejoran su estructura, aumenta las posibilidades de las plantas para crecer en ambientes estresantes, mejora las relaciones hídricas de la planta, inhibe las infecciones por parásitos, y ahora se está aportando mayor conocimiento el cual está permitiendo establecer que probablemente también determina la diversidad de las comunidades de plantas.

En la V Conferencia Internacional sobre las Micorizas llevada a cabo recientemente en Granada, España, se ha podido notar el creciente interés y capacidad de la comunidad internacional no sólo por aumentar el cúmulo de conocimientos sobre esta interacción mutualista, en diversas disciplinas como la fisiología, bioquímica, química, taxonomía, sistemática, biología molecular y ecología, sino también en otras en las cuales es muy claro que la comunidad científica está aportando los conocimientos necesarios para aplicarse en otras como la conservación, restauración, el manejo sustentable de los recursos naturales e incluso es notorio el potencial que existe para su uso comercial tendiente a aumentar el rendimiento de cultivos.

La comunidad científica estudiosa de las micorizas está creciendo y consolidándose. Las instituciones de investigación y educación superior deben seguir apoyando su desarrollo, y las instituciones que regulan la ciencia, verán compensados sus esfuerzos y políticas si aumentan su financiamiento en este campo.

Este libro es una expresión de esos logros. Manifiesta el cómo se está actualizando constantemente el conocimiento sobre las micorizas, señala que aún en ambientes estresantes como lo son las zonas áridas y semiáridas las micorizas juegan en ellos un papel muy importante en la absorción de nutrientes, en el crecimiento y propagación de las plantas, en el mantenimiento de la diversidad e incluso en el manejo de cultivos. Es una expresión también de la enriquecedora interacción institucional y refleja la intensidad de las actividades de investigación en varios países del mundo.

Los diversos actores en el ámbito científico, estamos obligados a continuar nuestros esfuerzos por aumentar el conocimiento sobre esta fascinante interacción micorrícica, formando paralelamente más y mejores recursos humanos, y a aportar los mayores recursos que sean posibles, sobre todo en las economías en desarrollo, para financiar las investigaciones básicas y aplicadas que se perfilan en el futuro. La valoración económica de los servicios ambientales de los cuales forman parte las micorizas es una tarea aún pendiente, sin olvidar que los beneficiarios potenciales que forman parte de la comunidad social, exigen que utilicemos responsablemente el conocimiento que puede ser aplicado.

Dr. Francisco Javier Álvarez Sánchez

Presidente de la Sociedad Mexicana de la Simbiosis Micorrícica

Profesor Titular "B" T.C. Definitivo

Departamento de Ecología y Recursos Naturales

Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México

Preface

Although root systems are usually mycorrhizal in most native and many crop lands, plants often grow nicely without their fungal symbionts when water and nutrients are abundant, in fertilized and irrigated fields, greenhouses and growth chambers.

But when soils and substrates are dry, substantial differences in performance or behavior between non-mycorrhizal and mycorrhizal plants often widen. Some nutrients become less mobile as soils dry, and mineral absorption by roots not having external scavenging hyphae may seriously lag that of mycorrhizal roots. Stimulative effects of arbuscular mycorrhizal (AM) symbiosis on stomatal behavior and leaf gas exchange often become more pronounced as soils dry. When water is limiting, AM symbiosis can result in altered rates of water movement into, through and out of host plants, with consequent effects on tissue hydration, leaf physiology and plant ecology. Physiological effects involve changes in hormonal and osmotic relations, photosynthesis, protein synthesis and enzyme activity, carbohydrate and amino acid metabolism, and various soil-root and within-plant hydraulic conductances. Ecological effects involve reproductive potential, biodiversity, biogeochemical cycling, carbon sequestration, plant fitness and competitiveness.

Recent work reveals that AM symbiosis can control aquaporin expression and regulate water flow in roots, as well as modify redistribution of water in soils via roots (“hydraulic lift”). AM fungi can have dramatic effects on antioxidant enzymes in droughted roots. Their ability to act as biocontrol agents can intensify during water deficit. We also now know that the moisture characteristics of soils themselves can be modified by AM symbiosis. Simply growing in mycorrhized soil a soil in which AM symbiosis has flourished previously and modified soil structure and biochemistry can alter the water relations of a nonmycorrhizal plant.

Water deficit continues to be perhaps the chief environmental constraint of plant productivity in natural and managed lands. Its control on plants is obvious in arid and semi-arid areas, but even in relatively moist places around the globe, transient drought can have devastating adverse effects on agriculture during summer months. In addition to native and agronomic field situations, AM symbiosis has been studied extensively in horticulture, where plants are typically given ample water throughout their cropping but may be exposed to water deprivation during shipping and marketing and after transplanting. Even here AM symbiosis may have important consequences on water balance.

This is the first book devoted entirely to the myriad ways in which AM fungi influence the ecology and biology of arid and semi-arid areas. It is a timely and important volume. Worldwide, fresh water supplies are diminishing, and irrigation water is becoming more saline; AM symbiosis also modifies plant resilience to soil salinity and sodicity. This book addresses critical roles of mycorrhizal colonization in deserts and in dryland farming, in such areas as functional diversity, nutrition, resource islands, and crop and ecosystem management. It identifies the AM fungi that inhabit roots of important arid plants, and it summarizes several case studies that provide important insights into ecosystem function.

Ph. D. Robert M. Augé

Institute of Agriculture, University of Tennessee, USA
2006 Steering committee, International Mycorrhiza Society
E-mail: auge@utk.edu

DIRECTORIO DE AUTORES

CONTRIBUTORS

Alejandro Alarcón

Área de Microbiología de Suelos, Especialidad de Edafología, Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados, Montecillo 56230, Estado de México, México.
Universidad de Texas A & M Departamento de Horticultura Collge Station, Texas, USA.
E-mail: alexala@colpos.colpos.mx

Andrés A. Estrada-Luna

Nursery and Plant Physiology Laboratory. Department of Horticultural Sciences. Texas A & M University. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, Instituto Politécnico Nacional. Unidad Irapuato. Km. 9.6 Libramiento Norte Carretera Irapuato-León. Apartado Postal # 629. Irapuato, Guanajuato, 36500, México.
E-mail: aestrada@ira.cinvestav.mx

Ángel Carrillo-García

Microbiología Ambiental, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), P.O. Box 128, La Paz, Baja California Sur, 23000, México.
E-mail: carrillo@cibnor.mx

Arcadio Monroy Ata

Laboratorio de Restauración Ecológica. Unidad de Investigación en Ecología Vegetal. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México. Fuerte de Loreto esq. Batalla del 5 de Mayo, Ejército de Oriente. C.P. 09230. México, D. F., México.
E-mail: arcadiom@servidor.unam.mx

Carlos Montaña

Departamento de Biología Evolutiva, Instituto de Ecología A.C. Km 2.5 Carretera Antigua a Coatepec No. 351 Congregación El Haya 91070 Xalapa Veracruz, México.
Tel. (228)842-1800
E-mail: montana@ecologia.edu.mx

Celerino Robles

Laboratorio de Suelos. CIIDIR-Instituto Politécnico Nacional, Unidad Oaxaca. Hornos 1003. Sta. Cruz Xoxocotlán. 71230 Oaxaca, México.
Tel. y fax: (+52 951) 5171199.
E-mail: crobles_38@yahoo.it

Christiane Charest

Department of Biology, University of Ottawa, Ontario K1N 6N5 Canada.
E-mail: ccharest@science.uottawa.ca

David Ward

University of KwaZulu-Natal, School of Biological and Conservation Sciences, P. Bag X1, Scottsville 3209, South Africa.

Eduardo Chimal Sánchez

Unidad de Investigación en Ecología Vegetal. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México. Fuerte de Loreto esq. Batalla del 5 de Mayo s/n, Col. Ejército de Oriente, Iztapalapa C.P. 09230, México D.F., México.

Fabiana Pezzani

Unidad de Sistemas Ambientales. Facultad de Agronomía. Av. E. Garzón 780. Montevideo, Uruguay. C.P. 12900.
Tel. (005982) 354 28 48
E-mail: fabiana@fagro.edu.uy

Fabiola Morales Gómez

Unidad de Investigación en Ecología Vegetal. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México. Fuerte de Loreto esq. Batalla del 5 de Mayo s/n, Col. Ejército de Oriente, Iztapalapa C.P. 09230, México D.F., México.

Flor de Belem Monrroy-Díaz

Laboratorio de Suelos. CIIDIR-Instituto Politécnico Nacional, Unidad Oaxaca. Hornos 1003. Sta. Cruz Xoxocotlán. 71230 Oaxaca, México.
Tel. y fax. (+52 951) 5171199.

Fred T. Davies Jr.

Department of Horticultural Sciences, Texas A & M University. College Station, TX 77843-2133 USA.
E-mail: davies@tamu.edu

Gabor Bethlenfalvay

Microbiología Ambiental, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), La Paz, Baja California Sur, Mexico, and Horticultural Crops Research Center, U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Corvallis, Oregon (emeritus).
255 Hermosa Way San Luis Obispo, California 93405, USA.
E-mail: bethleng@charter.net

Genaro Ochoa de la Rosa

Unidad de Investigación en Ecología Vegetal. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México. Fuerte de Loreto esq. Batalla del 5 de Mayo s/n, Col. Ejército de Oriente, Iztapalapa, C.P. 09230, México D.F., México.
E-mail: gen_ochoa@yahoo.com

Gil Bohrer

Department of Civil and Environmental Engineering, Duke University, Box 90287, Durham, NC 27708-0287, United States American.
E-mail: gb16@duke.edu

Gilad Beck

Department of life Science, Ben Gurion University of the Negev, PO Box 653, Beer-Sheva, Israel.

Irma V. Rivas-Manzano

Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del Estado de México, Instituto Literario 100, Col. Centro, CP 50000, Toluca, Estado de México, México.

Jagdish C. Tarafdar

Central Arid Zone Research Institute, Jodhpur 342 003, Rajasthan, India.
Phone: 91-291 2740666; Fax +91 +2912740706
E-mail: tarafdar@cazri.res.in

Jean C. Stutz

Department of Plant Biology, Arizona State University, Tempe, Arizona, USA.
E-mail: jstutz@asu.edu

Jitendra Panwar

Biological Sciences Group. Birla Institute of Technology & Science (BITS) Pilani - 333 031, India.
Phone +91-1596-245073 ext. 273.
Fax +91-1596-244183
E-mail: jpanwar@bits-pilani.ac.in
E-mail: drjitendrapanwar@yahoo.co.in

Kizhaeral S. Subramanian

Department of Soil Science & Agricultural Chemistry,
Tamil Nadu Agricultural University,
Coimbatore 641 003, India.
E-mail: selvi@scientist.com
E-mail: kssubra2001@rediffmail.com

Katia C. Reyes-Quintanar

Área de Microbiología, IRENAT, Colegio de
Postgraduados, Montecillo, Estado de México, México.
E-mail: ckatiarq@correoweb.com

Laura Hernández

Laboratorio de Micorrizas, Centro de Investigaciones
en Ciencias Biológicas, Universidad Autónoma de
Tlaxcala, Tlaxcala, México.
E-mail: fungicuevas@hotmail.com

Luis I. Aguilera-Gómez

Facultad de Ciencias, Universidad Autónoma del
Estado de México, Instituto Literario 100, Col. Centro,
CP 50000, Toluca, Estado de México, México.
E-mail: luishalc@lycos.com

Ma. del Carmen A. González-Chávez

Área de Microbiología de Suelos, Especialidad de
Edafología, Instituto de Recursos Naturales, Colegio de
Postgraduados, Montecillo 56230, Estado de México,
México.
E-mail: carmeng@colpos.colpos.mx

Ma. de Lourdes Robles-Martínez

Laboratorio de Suelos. CIIDIR-Instituto Politécnico
Nacional, Unidad Oaxaca. Hornos 1003. Sta. Cruz
Xoxocotlán. 71230 Oaxaca, México.
Tel. y fax. (+52 951) 5171199.

Marcia Toro

Laboratorio de Estudios Ambientales, Instituto de
Zoología Tropical, Facultad de Ciencias, Universidad
Central de Venezuela. Apartado 47.058, Caracas
1041-A, Venezuela. Tel. 58-2-605 1305.
Fax. 58-2-605 1204.
E-mail: mtoro@strix.ciens.ucv.ve

Noé Manuel Montaña Arias

Centro de Investigaciones en Ecosistemas,
Universidad Nacional Autónoma de México. Antigua
Carretera a Pátzcuaro No. 8701, Col. Ex-Hda. de San
José de la Huerta. C.P. 58190; Morelia, Michoacán,
México.
E-mail: nmma@oikos.unam.mx

Nurit Roth-Bejerano

Department of life Science, Ben Gurion University,
PO Box 653, Beer-Sheva, Israel.

Omar Ocampo-Jiménez

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, IPN,
Unidad Irapuato, Km. 9.6 Libramiento Norte, Carretera
Irapuato-León. Apdo. postal 629, CP 36500, Irapuato
Guanajuato, México.
E-mail: ocampo@ira.cinvestav.mx

Roger Guevara

Departamento de Biología Evolutiva, Instituto de
Ecología A.C. Km 2.5 Carretera Antigua a Coatepec
No. 351 Congregación El Haya 91070 Xalapa,
Veracruz, México
Tel. (228)842-1800
E-mail: roger@ecologia.edu.mx

Ronald Ferrera Cerrato

Área de Microbiología de Suelos, Especialidad de Edafología, Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados, Montecillo 56230, Estado de México. México.
E-mail: ronaldfc@colpos.mx

Rosalva García Sánchez

Laboratorio de zonas áridas. Unidad de Investigación en Ecología Vegetal. Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México. Fuerte de Loreto esq. Batalla del 5 de Mayo s/n, Col. Ejército de Oriente, Iztapalapa C.P. 09230, México D.F., México.
E-mail: rosalsvags@correo.unam.mx

Salvador Rodríguez-Zaragoza

Facultad de Estudios Superiores Iztacala, UBIPRO, UNAM, Tlalnepantla Iztacala, Estado de México, México.
E-mail: srodrige@campus.iztacala.unam.mx

Sara Lucía Camargo-Ricalde

Departamento de Biología, División de Ciencias Biológicas y de la Salud, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Apdo. Postal 55-535, 09340, México, D. F. México, and University of Life Sciences (UMB), P.O. Box 5014, N-1432, Norway.
E-mail: slcr@xanum.uam.mx

Shawn C. Collier

Molecular Biology Program, New Mexico State University, Las Cruces, NM 880003, United States American.
Phone: 505-649-0203, fax. 505-646-3437
E-mail: shacolli@nmsu.edu

Varda Kagan-Zur

Institutes for Applied Research, Ben Gurion University, PO Box 653, Beer-Sheva, Israel.

Víctor Olalde-Portugal

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados, IPN, Unidad Irapuato, Km. 9.6 Libramiento Norte, Carretera Irapuato-León. Apdo. postal 629, CP 36500, Irapuato, Guanajuato, México.
E-mail: volalde@ira.cinvestav.mx

Yoav Bashan

Microbiología Ambiental, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste (CIBNOR), P.O. Box 128, La Paz, Baja California Sur 23000, México.
E-mail: bashan@cibnor.mx

ÁRBITROS REVISORES

REVIEWERS

Arcadio Monroy Ata

Profesor de la Carrera de Biología Titular A de T.C. Laboratorio de Restauración Ecológica. Unidad de Investigación en Ecología Vegetal. Facultad de Estudios Superiores, Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México. Fuerte de Loreto esq. Batalla del 5 de Mayo. Ejército de Oriente C.P. 09230. México, D. F. México.

Dora Trejo Aguilar

Investigadora especialista en Micorrizas Laboratorio de Organismos Benéficos. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad Veracruzana campus Xalapa. Circuito Aguirre Beltrán s/n, Zona Universitaria C.P. 91090 Xalapa, Veracruz, México.

Edmundo García-Moya

Investigador titular C de T.C. Programa de Botánica, Colegio de Postgraduados Montecillo, Estado de México, C.P. 56230, México.

Felipe García-Oliva

Investigador Titular B de T.C. Centro de Investigaciones en Ecosistemas, Universidad Nacional Autónoma de México. Antigua Carretera a Pátzcuaro No. 8701, Col. Ex-Hda. de San José de la Huerta. C.P. 58190, Morelia, Michoacán, México.

Gisela Cuenca

Investigador especialista en Micorrizas Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC). Centro de Ecología. AP- 21827, Caracas 1020A, Venezuela.

Irene Sánchez Gallén

Profesora de la Carrera de Biología y especialista en Micorrizas Departamento de Ecología y Recursos Naturales. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Circuito exterior, Ciudad Universitaria 04510 México, D.F. México.

Javier Álvarez Sánchez

Profesor-Investigador Titular B de T.C. Departamento de Ecología y Recursos Naturales. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. Circuito exterior, Ciudad Universitaria 04510 México, D.F. México.

John Larsen

Professor-Researcher Aarhus University, Faculty of Agricultural Sciences, Department of Integrated Pest Management, Research Centre Flakkebjerg DK-4200 Slagelse, Denmark.

Juan Manuel Ruiz-Lozano

Profesor-Investigador especialista en Micorrizas Departamento de Microbiología del Suelo y Sistemas Simbióticos. Estación Experimental del Zaidin (CSIC), Profesor Albareda No. 1, E-18008, Granada, España.

Juan Manuel Sánchez-Yáñez

Profesor-Investigador en Microbiología Laboratorio de Ecología Microbiana. Instituto de Investigaciones Químico Biológicas, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), Edificio B1, Ciudad Universitaria, Morelia Michoacán, México.

Ma. de Jesús Sánchez Colín

Profesora de la Carrera de Biología
Investigadora especialista en Micorrizas
Laboratorio de Microbiología y Edafología. Facultad
de Estudios Superiores Zaragoza, Universidad
Nacional Autónoma de México. Fuerte de Loreto esq.
Batalla del 5 de Mayo s/n, Col. Ejército de oriente,
Iztapalapa C.P. 09230, México D.F., México.

Maribel Nava Mendoza

Profesora de "Microbiología y Micología" en la Carrera
de Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás
de Hidalgo (UMSNH).
Técnico Académico titular A de T.C.
Centro de Investigaciones en Ecosistemas.
Universidad Nacional Autónoma de México. Antigua
Carretera a Pátzcuaro No. 8701, Col. Ex-Hda. de San
José de la Huerta. C.P. 58190, AP 27-3 Xangari 58089,
Morelia, Michoacán, México.

Mayra E. Gavito Pardo

Investigadora Asociada C de T.C.
Centro de Investigaciones en Ecosistemas,
Universidad Nacional Autónoma de México. Antigua
Carretera a Pátzcuaro No. 8701, Col. Ex-Hda. de San
José de la Huerta. C.P. 58190, Morelia Michoacán,
México.

Noé Manuel Montaña Arias

Candidato a Doctor en Ciencias
Centro de Investigaciones en Ecosistemas,
Universidad Nacional Autónoma de México. Antigua
Carretera a Pátzcuaro No. 8701, Col. Ex-Hda. de San
José de la Huerta. C.P. 58190, AP 27-3 Xangari 58089,
Morelia, Michoacán, México.

Patricia Guadarrama

Profesora de la Carrera de Biología y especialista en
Micorrizas
Departamento de Ecología y Recursos Naturales.
Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma
de México. Circuito exterior, Ciudad Universitaria
04510 México, D.F. México.

Sara Lucía Camargo-Ricalde

Profesora-Investigadora, especialista en Micorrizas
Departamento de Biología, Div. de C. B. S., Universidad
Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Apdo. Postal 55-
535, 09340, México, D. F. México.

Sonia Álvarez-Santiago

Maestra en Ciencias, especialista en Micorrizas.
Centro de Investigaciones en Ecosistemas,
Universidad Nacional Autónoma de México. Antigua
Carretera a Pátzcuaro No. 8701, Col. Ex-Hda. de San
José de la Huerta. C.P. 58190, Morelia Michoacán,
México.

Víctor J. Jaramillo Luque

Investigador titular B de T.C.
Centro de Investigaciones en Ecosistemas,
Universidad Nacional Autónoma de México. Antigua
Carretera a Pátzcuaro No. 8701, Col. Ex-Hda. de San
José de la Huerta. C.P. 58190, Morelia, Michoacán,
México.

Yazmín Carreón Abud

Profesora-Investigadora de la Carrera de Biología,
Laboratorio de Microbiología y Genética. Facultad de
Biología, Universidad Michoacana de San Nicolás de
Hidalgo (UMSNH), Edificio B4, Ciudad Universitaria,
Morelia, Michoacán, México.

Agradecimientos

Los compiladores agradecemos en primer lugar a todos los autores de cada capítulo por su interés en participar en la elaboración de este libro, por su esfuerzo en la preparación de sus contribuciones y especialmente por su enorme paciencia. Asimismo, agradecemos a los investigadores quienes desinteresadamente fungieron como revisores y críticos de cada uno de los capítulos que constituyen el presente libro. La calidad de todas las contribuciones fue mejorada sustancialmente gracias a su participación y arduo trabajo.

Agradecemos ampliamente a los Biólogos: Maribel Flores Estrada, Roberto Ramos González, Genaro Ochoa de la Rosa, César González Monterrubio y Susana Adriana Montaña Arias por su participación y ayuda en la organización de la información y en la edición de algunas partes de los capítulos, y al Biólogo Raúl Ahedo y al Ingeniero Heberto Ferreira (ambos del Centro de Investigaciones en Ecosistemas, UNAM, campus Morelia) por su asesoría con el equipo de cómputo durante el tiempo en que se llevó a cabo la compilación y revisión de los distintos manuscritos.

Agradecemos a la M. en C. Leonor Solís Rojas el espléndido trabajo fotográfico que hizo posible ilustrar la portada del libro con una foto panorámica de la Reserva de la Biósfera del Valle de Tehuacán-Cuicatlán en Puebla, uno de los ecosistemas semiáridos más importantes y considerado patrimonio natural de México. Otras fotografías de Leonor Solís aparecen en láminas de color, las cuales corresponden a las Reservas de la Biósfera de Tehuacán-Cuicatlán y de Mapimí, ecosistemas semiáridos, también patrimonio natural de México. Las fotografías de las esporas de micorrizas arbusculares corresponden a las regiones semiáridas del Valle de Mezquital en Hidalgo y del Valle de Tehuacán-Cuicatlán en Puebla, ambas de México. Estas fotos fueron proporcionadas por la M. en C. Rosalva García Sánchez, la Biól. Alejandra Hernández, el Biól. Mariano García Díaz, la Biól. Carolina Jiménez y la Dra. Sara Lucía Camargo Ricalde.

A Ramón Reverté y Judith Sandoval (Mundi Prensa México S.A de C. V.), a Raúl Marcó del Pont (Instituto Nacional de Ecología-México), a los Doctores Francisco Flores Pedroche y Miguel Ángel Armella Villalpando (Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa), a la Dra. Esther Matiana García-Amador, al M. en C. Manuel Rico Bernal (FES-Zaragoza, UNAM) y al C.D. Alfredo Sánchez Figueroa director de la FES-Zaragoza UNAM; así como a la Academia de Ecología y a la Carrera de Biología de la FES-Zaragoza-UNAM agradecemos infinitamente su interés y cooperación para llevar a buen y exitoso término la edición y publicación de este libro.

A los Doctores Robert M. Augé (Instituto de Agricultura, Universidad de Tennessee, EUA) y Francisco Javier Álvarez Sánchez (Facultad de Ciencias, UNAM), agradecemos la elaboración de la presentación de este libro.

N.M. Montaña agradece a la Dirección General de Estudios de Posgrado (DGEPE) de la UNAM y a la Fundación Telmex por las becas otorgadas del 2002 al 2004 para participar en la conformación de este libro, actividad realizada como trabajo complementario a sus estudios de doctorado en el Centro de Investigaciones en Ecosistemas de la UNAM.

Los editores

Noé Manuel Montaña
Sara L. Camargo-Ricalde
Rosalva García-Sánchez
Arcadio Monroy Ata

Acknowledgments

This book had its origin at FES-Zaragoza, Universidad Nacional Autónoma de México, where most of the editors freely discussed ideas about ecology of arid and semi-arid ecosystems in general and ecology of arbuscular mycorrhizae in particular. At that time, we considered that there was a gap in the ecological role of arbuscular mycorrhiza in desert ecosystems and that a first book synthesizing the information on mycorrhizal symbiosis in these ecosystems was badly needed. From the origin of the idea until completion of this book, we benefited from the help of many people. We are very grateful to the authors and co-authors for producing such high-quality chapters, for tolerating our multiple demands and for their patience until the publication of the book. We want to thank all reviewers who, with their anonymous work, assured the excellent quality of all the chapters.

We thank Maribel Flores Estrada, Roberto Ramos González, Genaro Ochoa de la Rosa, Susana Adriana Montaña Arias, Cesar González Monterrubio, Raúl Ahedo and Heberto Ferreira who contributed in many ways to the completion of this book. We wish to thank Leonor Solís Rojas who provided excellent photographic material used for cover illustration. Also, we thank Rosalva García-Sánchez, Alejandra Hernández, Mariano García-Díaz, Carolina Jiménez and Sara L. Camargo-Ricalde who provided excellent photographic material on spores of arbuscular micorrizae. We specially want to thank Ramón Reverté and Judith Sandoval (Mundi Prensa SA de CV), Raúl Marcó del Pont (Instituto Nacional de Ecología-México), Francisco Flores Pedroche and Miguel Ángel Armella Villalpando (Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, México), Manuel Rico Bernal, Esther M. García-Amador and Alfredo Sánchez Figueroa (FES Zaragoza, UNAM) as well as to both Academia de Ecología and Carrera de Biología in FES Zaragoza-UNAM for their excellent work on the edition of this book. Finally, we are very grateful to Robert M. Augé (Institute of Agriculture, University of Tennessee USA) and Francisco Javier Álvarez Sánchez (Facultad de Ciencias, UNAM) for the presentation of this book. N.M. Montaña acknowledges DGEP-UNAM and Fundación-TELMEX for scholarships to elaborate this book.

The editors

Noé Manuel Montaña
Sara L. Camargo-Ricalde
Rosalva García-Sánchez
Arcadio Monroy Ata

Índice

Index

vii	Prefacio
viii	Preface
ix	Prólogo
xi	Directorio de autores
xi	Contributors
xv	Árbitros revisores
xv	Reviewers
xvii	Agradecimientos
xviii	Acknowledgments
1	Introducción
1	Introduction

PARTE I

9	Micorrizas arbusculares: diversidad y función
9	Arbuscular mycorrhizae: diversity and function

Capítulo / Chapter 1

11	Biodiversidad funcional de los hongos micorrícicos arbusculares en zonas áridas y semiáridas
11	Functional biodiversity of arbuscular mycorrhizal fungi in arid and semi-arid areas
13	Resumen
13	Abstract
13	Introducción
14	Diversidad y distribución de los HMA en zonas áridas y semiáridas
16	Funcionalidad de la simbiosis micorrícica en zonas áridas y semiáridas
16	Nutrición y salud de la planta
17	Estructura del suelo
18	Dependencia micorrícica
19	Patógenos
19	Rehabilitación y recuperación de áreas erosionadas y perturbadas
21	Salinidad
21	Cactáceas
21	Conclusiones y nuevas direcciones
21	Agradecimientos
21	Referencias

Chapter/ Capítulo 2

- 25 Arbuscular mycorrhizal fungal diversity related to plant diversity
- 25 Diversidad de hongos micorrizógenos arbusculares asociada a la diversidad de plantas
- 27 Abstract
- 27 Resumen
- 27 Introduction
- 28 Fungal diversity
- 28 AMF evolution
- 29 Arbuscular mycorrhizal fungal diversity
- 30 Arbuscular mycorrhizal fungal (AMF) specificity
- 31 Arbuscular mycorrhizal fungal (AMF) contribution to plant community structure
- 32 Discussion
- 33 Acknowledgments
- 33 References

Capítulo / Chapter 3

- 39 Role of arbuscular mycorrhizae in P nutrition of plants under arid and semi-arid environments
- 39 El papel de las micorrizas arbusculares en la nutrición por P en plantas de ambientes áridos y semiáridos
- 41 Abstract
- 41 Resumen
- 42 Introduction
- 43 Materials and Methods
- 43 Study site and area
- 43 Laboratory/Pot experiment
- 44 Biochemical analysis
- 44 Statistical analysis
- 44 Results
- 46 Discussion
- 51 References

Chapter / Capítulo 4

- 55 Arbuscular mycorrhiza and drought management
- 55 Micorriza arbuscular y manejo bajo sequía
- 57 Abstract
- 57 Resumen
- 58 Introduction
- 58 Role of mycorrhiza in sustainable agriculture
- 58 Mechanisms involved in mycorrhiza-assisted drought tolerance
- 59 Hyphal transport of water
- 59 Host plant water relations
- 60 Metabolic changes in host plants
- 62 Nutritional changes in host plants
- 64 Morphological changes in host plants
- 64 Changes in soil characteristics
- 65 Influence of drought on AM fungi
- 65 Yield and quality of crops
- 66 Conclusion
- 66 References

Chapter / Capítulo 5

- 73 Review of potential factors influencing reduced mycorrhizal dependency among plants of northern Chihuahuan Desert
- 73 Revisión de los factores potenciales asociados a la dependencia micorrízica de plantas del norte del desierto Chihuahuense
- 75 Abstract
- 75 Resumen
- 75 Introduction
- 76 Biotic response to climate change in the recent Geologic Past
- 76 Present pattern of AM fungal dependence
- 77 Genetics of AM fungal exclusion and the non-mycorrhizal condition
- 78 Selection pressures against the mycorrhizal condition
- 79 Future research directions
- 80 Acknowledgments
- 80 References

PARTE II

- 83 Micorrizas arbusculares en los ecosistemas áridos y semiáridos: estudios de caso
- 83 Arbuscular mycorrhizae in arid and semi-arid ecosystems: case studies

Capítulo / Chapter 6

- 85 Los glomales de las planicies del desierto de Sonora
- 85 Glomalean fungi from the Sonoran Desert plains
- 87 Resumen
- 87 Abstract
- 87 Introducción
- 88 Material y métodos
- 88 Área de estudio
- 89 Método
- 89 Tratamientos
- 90 Evaluación de intercambio de gases, crecimiento de las plantas y desarrollo micorrícico
- 90 Resultados
- 90 Especies de hongos micorrícicos

- 91 Crecimiento
- 92 Intercambio de gases
- 92 Desarrollo micorrícico
- 92 Discusión
- 94 Agradecimientos
- 94 Referencias

Chapter / Capítulo 7

- 97 Mycorrhizae as biological components of resource islands in the Sonoran Desert
- 97 Las micorrizas como componentes biológicos de islas de recursos en el desierto de Sonora
- 99 Abstract
- 99 Resumen
- 100 Introduction
- 101 Materials and methods
- 101 Description of study area and vegetation
- 101 Mycorrhizae
- 101 Spore count, culture, propagule density, and plant response to AM fungi
- 102 Results
- 102 Mycorrhizal status of plants and of resource islands

- 104 Plant establishment, mycorrhizal status and soil characteristics
- 105 Test-plant growth and AM propagule density in nurse-plant soils
- 105 Discussion
- 106 Conclusions
- 106 References

Capítulo / Chapter 8

- 109 Interacciones micorrícicas en la Reserva de la Biosfera de Mapimí: hongos micorrizógenos arbusculares y su asociación con gramíneas del desierto Chihuahuense
- 109 Mycorrhizal interactions in Mapimi Biosphere Reserve: arbuscular mycorrhizae fungi associated with grasses from the Chihuahuan Desert
- 111 Resumen
- 111 Abstract
- 111 Introducción
- 111 Hongos micorrizógenos arbusculares y zonas áridas
- 112 Mosaicos de dos fases en zonas áridas
- 112 El mosaico de dos fases en la Reserva de la Biosfera de Mapimí

- 114 La sucesión vegetal y los HMA
- 114 Caso de estudio: los hongos micorrizógenos arbusculares en el mosaico de dos fases de la Reserva de la Biosfera de Mapimí
- 116 Conclusiones y Perspectivas
- 118 Agradecimientos
- 118 Referencias

Capítulo / Chapter 9

- 123 Hongos micorrizógenos arbusculares asociados a diferentes plantas y matorrales del Valle del Mezquital, Hidalgo, México
- 123 Arbuscular mycorrhizal fungi associated with different plants and xeric shrubs from the Mesquital Valley, Hidalgo, Mexico
- 125 Resumen
- 125 Abstract
- 125 Introducción
- 127 Zona de estudio
- 128 Métodos
- 128 Evaluación del número de esporas: método de tamizado en húmedo y decantación
- 128 Muestreo de raíces

- 128 Evaluación del porcentaje de colonización micorrícica
- 129 Resultados
- 133 Discusión
- 134 Conclusiones
- 134 Agradecimientos
- 134 Referencias

Capítulo / Chapter 10

- 137 Microorganismos asociados a la rizosfera de una población de *Neobuxbaumia tetetzo*, establecida en una zona árida del estado de Puebla, México
- 137 Microorganisms associated with the rhizosphere of a *Neobuxbaumia tetetzo* population, established in an arid zone of Puebla State, Mexico
- 139 Resumen
- 139 Abstract
- 140 Introducción
- 141 Materiales y métodos
- 141 Ubicación del área de estudio
- 141 Metodología de campo
- 141 Metodología para la cuantificación de los grupos microbianos

- 141 Colonización micorrícica
- 142 Conteo de esporas por 100 gramos de suelo
- 142 Análisis físico y químico del suelo
- 142 Análisis estadístico de los datos
- 142 Resultados y discusión
- 142 Características físicas y químicas del suelo de las zonas muestreadas
- 143 Análisis microbiológico: efecto del grado de perturbación de las zonas
- 144 Efecto de la estacionalidad climática sobre las poblaciones microbianas
- 145 Efecto de la interacción entre el grado de perturbación y la estacionalidad sobre la colonización micorrícica
- 147 Conclusiones
- 147 Referencias

Capítulo / Chapter 11

- 151 Micorrizas arbusculares en ecosistemas de sabana venezolanos
- 151 Arbuscular mycorrhizae in Venezuelan savanna ecosystems
- 153 Resumen
- 153 Abstract
- 153 Introducción

- 155 Las sabanas como un sistema oligotrófico
- 157 Micorrizas arbusculares en sabanas tropicales
- 158 Potencial infectivo de las MA en sabanas naturales y manejadas
- 159 Colonización por MA en gramíneas nativas de ecosistemas de sabanas
- 160 Evidencias sobre la factibilidad de manejo de suelos ácidos tropicales con MA
- 161 Prácticas de manejo sugeridas para ecosistemas de sabana
- 161 Conclusiones
- 162 Agradecimientos
- 162 Referencias

Chapter / Capítulo 12

- 165 Arbuscular micorrhizae–plant–environment interactions in a wild host, *Vangueria infausta*, from the Kalahari Desert, South Africa
- 165 Interacciones de micorrizas arbusculares-planta-ambiente en un hospedero silvestre, *Vangueria infausta*, del desierto del Kalahari, Sudáfrica
- 167 Abstract
- 167 Resumen

- 168 Introduction
- 168 Environmental preferences in AM and their ecological role
- 169 Host-symbiont interactions-evidence for host preferences by AM fungi
- 169 Testing for AM–host–environment interactions
- 170 Methods
- 170 Host species
- 170 Study sites
- 170 Environmental variables
- 171 Pot experiment
- 172 Assessment of mycorrhizal abundance
- 173 DNA analyses
- 173 Results
- 173 AM, host and environmental variables in the wild
- 174 Pot experiment
- 175 Genetic analysis
- 177 Discussion
- 177 Sampling wild populations
- 179 Genetic Analysis
- 180 Controlled experiment
- 180 Conclusions
- 180 Acknowledgments
- 180 References

Capítulo / Chapter 13

- 185 Micorrizas arbusculares de islas de fertilidad de mezquite en dos matorrales semiáridos: su efecto en la morfología de *Bouteloua curtipendula*
- 185 Arbuscular mycorrhizae in mesquite fertile islands in two semi-arid shrubs: their effect on *Bouteloua curtipendula* morphological development
- 187 Resumen
- 187 Abstract
- 188 Introducción
- 189 Materiales y métodos
- 189 Sitio de procedencia del suelo
- 189 Colecta, análisis del suelo y composición del inóculo de HMA en los suelos
- 189 Experimento en invernadero
- 190 Parámetros de respuesta evaluados durante y al final del experimento
- 191 Resultados y discusión
- 191 Colonización micorrícica y respuesta a la micorrización

- 193 Relación entre la micorrización y la respuesta morfológica de *B. curtipendula*
- 194 Respuesta morfológica de *B. curtipendula* en relación a distintos inóculos
- 198 Conclusiones
- 198 Agradecimientos
- 199 Referencias

Capítulo / Chapter 14

- 203 Estado nutrimental y crecimiento de plantas micropropagadas de nopal (*Opuntia albicarpa* Scheinvar cv. "Reyna") colonizadas con tres cepas seleccionadas de endomicorrizas
- 203 Nutrient status and growth of micropropagated prickly-pear cactus (*Opuntia albicarpa* Scheinvar cv. "Reyna") plantlets colonized with three-selected endomycorrhiza isolates
- 205 Resumen
- 205 Abstract

206	Introducción
207	Materiales y métodos
207	Material biológico y micropropagación
208	Transplante, inoculación, aclimatización, y condiciones de cultivo
209	Variables evaluadas
209	Diseño Experimental, tratamientos y análisis de datos
209	Resultados
211	Discusión
213	Agradecimientos
213	Referencias

Capítulo / Chapter 15

217	Crecimiento y nutrición del maguey mezcalero (<i>Agave angustifolia</i> Haw.) bajo condiciones de micorrización arbuscular
217	Growth and nutrition of the “maguey mezcalero” (<i>Agave angustifolia</i> Haw.) in presence of arbuscular mycorrhizae
219	Resumen
219	Abstract
220	Introducción
222	Materiales y Métodos
224	Resultados y Discusión
231	Agradecimientos
231	Referencias

Introducción

Introduction

INTRODUCCIÓN

El segundo grupo con mayor número de especies entre los seres vivos, después de los insectos, es el de los hongos. Se estima que existen cerca de 1.5 millones de especies de hongos, de las cuales sólo se han descrito 72 000; aunque, cada año se registran cerca de 1500 nuevas especies. Los hongos son, por lo tanto, uno de los reinos biológicos menos conocido.

Además de la megadiversidad de las especies fúngicas, es importante tomar en cuenta que este grupo de organismos es básico para el bienestar humano debido a su utilización en campos tan diversos como la producción de alimentos, la micología industrial, la salud humana, la agricultura, la biorremediación y la biodegradación (e.g. plásticos), entre otras aplicaciones; así como por ser actores activos fundamentales dentro de los procesos ecosistémicos. Ejemplo de su importancia funcional dentro de los ecosistemas es la capacidad que tienen para degradar los residuos orgánicos y contribuir a la mineralización de la materia orgánica (hongos saprobios). Otros grupos funcionales con papeles fundamentales en las comunidades vegetales son los hongos parásitos y los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA); estos últimos formadores de las llamadas micorrizas arbusculares (MA).

Los HMA surgieron antes de la colonización del medio terrestre por las plantas (fotótrofos) de hábitat acuático, ya que el origen de los HMA se ha establecido durante el Ordovícico, hace ca. 460 millones de años. Asimismo, el hecho de que más del 90% de las plantas terrestres (fitobiontes) tengan uno o más de estos hongos asociados (micobiontes), muestra la eficiencia de esta asociación mutualista, su globalidad y la estrecha coevolución planta-hongo micorrízico, así como su relevancia en el reino vegetal.

Los HMA establecen una asociación mutualista con las raíces de las plantas formando las micorrizas arbusculares (gr. *mykes*, hongo y *rhiza*, raíz) (MA). En esta asociación, el hongo ofrece un beneficio a su hospedero a cambio de recibir otro, es decir, hay un beneficio mutuo producto de un intercambio bidireccional “hongo-planta”: la planta suministra al hongo fuentes de carbono procedentes de la fotosíntesis (proceso que el hongo no puede realizar) y le brinda protección; mientras que el hongo le facilita a la planta la absorción de agua y nutrientes, recursos del suelo que en condiciones extremas la planta difícilmente obtendría eficientemente sin la ayuda del hongo. Las MA bien podrían representar el segundo componente más grande en biomasa en muchos ecosistemas terrestres. Se ha encontrado que los HMA asociados con las plantas, reciben entre el 60% y el 90% del carbono de los árboles, pudiendo ser un sumidero importante del carbono de la comunidad.

Las MA se caracterizan porque el hongo que coloniza la raíz desarrolla una estructura en forma de un diminuto arbolillo en las células del parénquima radical, estructura llamada “arbusculo” que es el sitio de intercambio entre la planta y el hongo. Además, el sistema micorrízico está formado por un conjunto de hifas (micelio) que están conectadas con el tejido de la raíz y que salen de ella ramificándose en el suelo. El micelio que se encuentra en el suelo forma una red de hifas capaces de interconectar a las raíces de las plantas y de permitir el flujo de agua y nutrientes entre las raíces de éstas.

Recientemente, las MA han acrecentado su importancia en diversas ramas de la ciencia y de la tecnología, como es el caso de la comprensión de la dinámica vegetal y de la sucesión ecológica con fines ecológicos y de restauración ambiental, y en la obtención de biofertilizantes no contaminantes. En esta primera década del siglo XXI, se conocen con cierta precisión los servicios que brindan los HMA en los ecosistemas y en la agricultura, tales como la formación de suelo (disolución de rocas, enlace de partículas, etc.), fertilización del sustrato, estructuración de la comunidad vegetal (interacción planta-planta), producción secundaria (como fuente de alimento; e.g. esporas consumidas por nemátodos), modificación de contaminantes edáficos y el almacenamiento de carbono mediante glomalinas (proteína sintetizadas por los HMA). Por su efecto sobre las plantas de interés agrícola o forestal, los HMA se usan como inoculantes de aplicación práctica en la agricultura y en programas de reforestación de los bosques. Al respecto, se ha documentado que las plantas micorrizadas resisten mejor las condiciones adversas en el suelo, como son la falta de agua, de nutrientes

esenciales como el fósforo (P) y el nitrógeno (N) (los HMA proporcionan hasta un 80% y 25% del P y N requeridos por las plantas), el ataque de microorganismos fitopatógenos e, incluso, pueden proteger a sus hospederos de efectos nocivos producidos por contaminantes tóxicos. Por ejemplo, los HMA estimulan en las plantas hospederas un mayor tamaño y producción de semillas, a través de la incorporación de P y de otros nutrientes, pero también favorecen la resistencia a plagas y a la sequía. En el suelo, el micelio de los HMA participa en la formación de agregados por medio de la adhesión de partículas debida a la glomalina, contribuyendo con esto a dar estructura y estabilidad al suelo, reduciendo la erosión y mejorando la capacidad de retención del agua por el suelo. Los efectos de las MA a nivel edáfico y sobre las comunidades vegetales, son importantes para el mantenimiento de la diversidad vegetal y de los microorganismos del suelo, de la productividad y para la restauración de ecosistemas perturbados.

Por otra parte, con aportes de la biología molecular, principalmente de las secuencias genómicas mitocondriales y las secuencias del gene que codifica la subunidad pequeña del RNAr, se han agrupado a los HMA en un nuevo *Phylum*: Glomeromycota, separado de su anterior clasificación como parte del *Phylum* Zygomycota. En la figura se presenta una sinopsis reciente (2006) de la clasificación de los HMA. No obstante, gran parte de la diversidad de los HMA no ha sido inventariada. Actualmente, sólo se han descrito ca. 200 especies de HMA. Asimismo, se considera que la diversificación de las ca. 300 mil especies vegetales existentes hoy en día, fue de manera simultánea con sus asociados fúngicos respectivos.

Dado lo anterior, es importante conocer más acerca de la biología, ecología y evolución de los HMA y, por ende, de las MA, especialmente en zonas áridas y semiáridas, debido a la extensión de estas zonas secas en el mundo, las cuales abarcan aproximadamente un tercio de la superficie terrestre, y también por el potencial de aprovechamiento de estos ambientes en la producción agrícola.

En ecosistemas áridos y semiáridos, los HMA exploran grandes volúmenes de suelo a mayores profundidades y distancias de lo que lo hacen las raíces de las plantas, para suministrar agua y nutrientes a sus asociados vegetales. Por ello, en algunos desiertos, quizás la lluvia total anual, por sí misma, no puede explicar los altos niveles alcanzados en la producción primaria de los ecosistemas locales. Asimismo, se ha demostrado que gracias a sus micobiontes, numerosas especies de plantas de zonas secas adquieren beneficios nutrimentales y de protección contra parásitos y sustancias alelopáticas; igualmente, se ha mostrado el papel funcional de los HMA en la construcción de una red hifal que conecta físicamente a las plantas que conforman una comunidad o un “parche” de vegetación, en donde se aprovechan los recursos disponibles con alta eficiencia. En ambientes áridos, con elevada presión de selección para las plantas, el enunciado que señala que “en la naturaleza sólo lo óptimo sobrevive”, adquiere una vigencia continua.

Haciendo énfasis en que la vegetación de los ecosistemas áridos y semiáridos soporta condiciones adversas como largos periodos de sequía, intensas temperaturas y evaporación, suelos con alto contenido de sales, suelos arenosos con alto grado de erosión, suelos con bajos niveles de nutrientes y de agua, entre los factores principales, lleva a pensar que las MA son un factor que permite a las plantas resistir estas condiciones adversas. En estas condiciones, las hifas de los HMA son fisiológicamente más efectivas para la absorción de agua y nutrientes que las raíces mismas. Esta característica incrementa la tolerancia de las plantas a la sequía y a la captación de nutrientes que son relativamente inmóviles como el P y, por lo tanto, son necesarias para el crecimiento y supervivencia de las plantas en el desierto. Por ejemplo, en pastos (*Bouteloua gracilis*), cactus (*Ferocactus acanthodes*) y magueyes (*Agave deserti*) se ha documentado que las MA afectan procesos fisiológicos como relaciones hídricas, comportamiento estomacal y la captación de bióxido de carbono (CO₂), los cuales determinan el crecimiento de estas plantas.

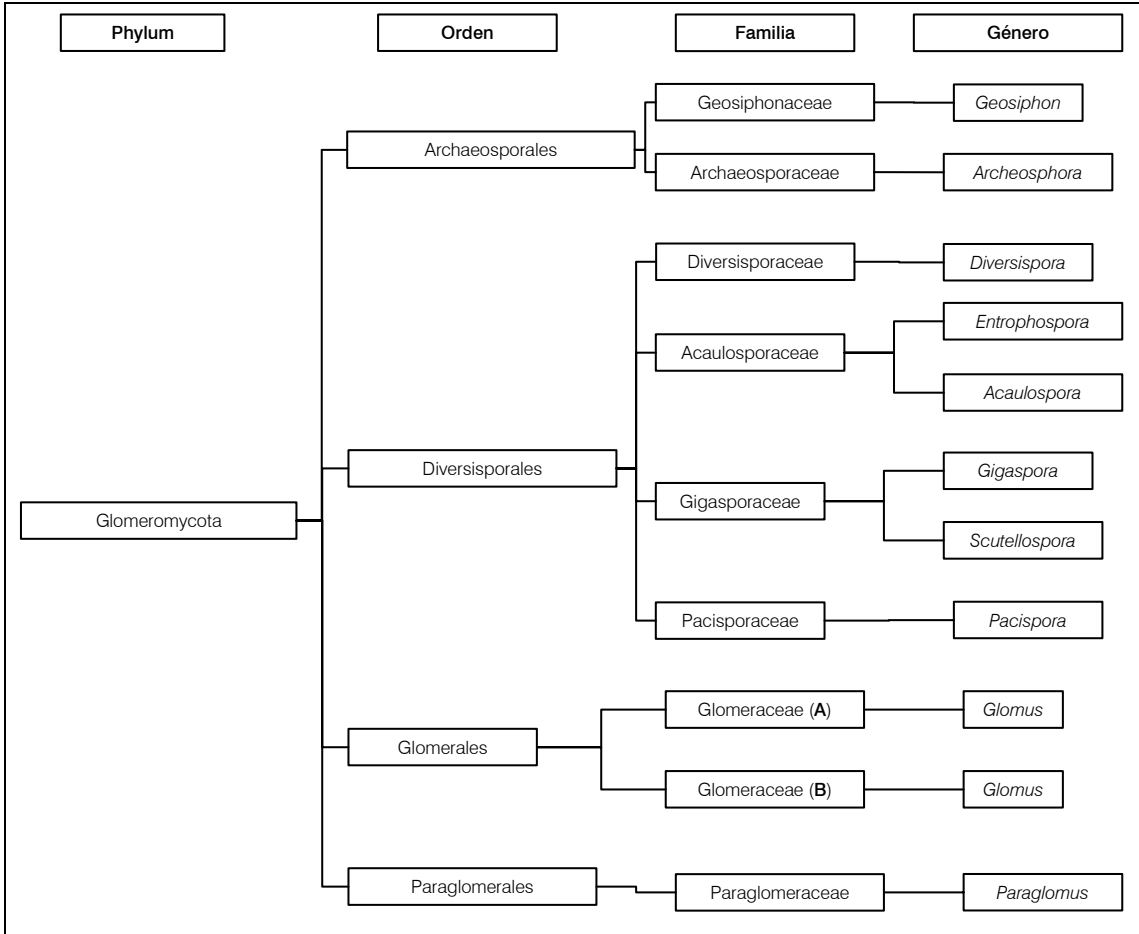
Por lo anterior, el estudio de las MA de ecosistemas desérticos es crucial, ya que ellos albergan importantes bancos de inóculos de HMA que pueden ser usados para incrementar la supervivencia de las plantas en suelos de baja fertilidad y con escasez de agua, como las áreas secas degradadas y los suelos agrícolas. Además de un posible impacto industrial y a nivel de producción agrícola, el uso de las MA características de estos ecosistemas tiene también un impacto ecológico importante. Por ejemplo, los HMA pueden ser utilizados como inóculo en las plantas para lograr su establecimiento en condiciones naturales de estrés hídrico y nutrimental, siendo especialmente útiles en prácticas de restauración ambiental de ecosistemas degradados

o en proceso de desertificación. Asimismo, es innegable que tanto los HMA como las MA requieren mayor atención, particularmente en los países intertropicales, los cuales albergan un elevado número de endemismos vegetales (el primer lugar lo ocupa Sudáfrica y el segundo México) y en países con megadiversidad biológica donde nuevamente aparece México, país cuyos ecosistemas áridos y semiáridos cubren ca. el 60% del territorio nacional y son depositarios de aproximadamente 6000 especies de plantas y de elevados niveles de endemismos.

Con base en lo anterior, el presente libro adquiere una importancia fundamental por ser el primero de su tipo en México y por presentar trabajos de revisión y originales de estudios sobre investigaciones en torno a las MA en los ambientes áridos y semiáridos en diferentes países como Venezuela, Sudáfrica, Estados Unidos, India y México. Este libro no intenta presentar una revisión total de todos los estudios realizados en estos ecosistemas. Sin embargo, es una primera síntesis de la información sobre las MA, por lo que proporciona ejemplos claros de cómo se han abordado preguntas de investigación para comprender el papel de las MA en los ecosistemas áridos y semiáridos.

Los editores

Diagrama sinóptico de la clasificación de los hongos micorrícicos arbusculares (basado en Brundrett M. 2004. Diversity and classification of mycorrhizal associations *Biol. Rev.* 79: 473-495; Schwarzott D., Walker Ch., Schüßler A. 2001. *Glomus*, the largest genus of the arbuscular mycorrhizal fungi (Glomales), is nonmonophyletic *Mol. Phylogenet. Evol.* 21(2): 190-197; elaborado por el Biól. César González Monterrubio).



INTRODUCTION

Fungi are a group of organisms that has approximately 1.5 million species, of which 72 000 have only been described; although, every year ca. 1500 new species are registered. Nevertheless, the Fungi Kingdom is one of the less well-known. Besides the megadiversity of the fungi species, it is important to consider that these organisms are essential for the human well-being, due to their applications in food production, medical industries, human health, agriculture, bioremediation, biodeterioration (e.g. plastics) and ecosystem processes, among other uses. Fungi are also important for the environmental services that they offer to ecosystems. For example, some saprophytic fungi are in charge of the organic residuals degradation, since they take part in the organic matter mineralization process. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), whose phylogeny goes back to 460 million years, are another important functional group for plant community. These AMF are associated with ca. 90% of living terrestrial plants.

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) establish mutualistic symbiosis with plant roots forming arbuscular mycorrhizae (gr. *mykes*, fungi and *rhiza*, root) (AM). Both, plant and fungi, symbionts are benefited from the reciprocal exchange of mineral and organic resources. In exchange for carbon from host plants, these fungi facilitate plant uptake and transport of soil water and less mobile soil nutrients (such as phosphorus), which are resources that the plant would difficultly obtain from the soil under stress conditions. AMF are a widespread component of most terrestrial ecosystems.

Arbuscular mycorrhizae (AM) are characterized for a very small structure resembling a tree; these structures are located in the plant-root parenchyma cells. These structures, called “arbuscules” are the sites where the reciprocal exchanges take place. AM fungal hyphae will expand and branch as long as conditions for growth are adequate to form a mycelium or hyphal network. Through the mycelium, the mycorrhizal plant explores and exploits the soils to obtain soil water and nutrients. In addition, the mycelium can link the roots of different plants, where nutrients and carbon can consequently move from one plant to another via root-hyphae connection.

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) play a multifunctional role in many diverse aspects of science and technology, such as plant community dynamics and in plant succession, and in the production of biofertilizers for agriculture; for instance, AMF are used as inoculums in agricultural and forestry plants, as well as in agriculture and reforestation programs. AMF facilitate plant nutrient uptake and improve plant-soil water relations for a wide range of species affecting both productivity and relative abundance of plants, for instance, these fungi can facilitate plant uptake and transport of less mobile soil nutrients such as phosphorus (they provide until 80% and 25% of the P and N required by the plants), enhance drought tolerance, reduce pathogenic infections and favors the growth and establishment of plants in disturbed conditions, and ultimately influencing plant species diversity. In addition, they also have a great effect on soil structure, contributing to improve its aggregation (e.g. because of the AMF synthesis of the glomalin protein), which favors water and gases fluxes, and nutrients into the soil, and, at the same time, AMF reduce soil erosion. Therefore, AMF are important to maintain plant diversity-primary production and for ecological restoration of disturbed ecosystems.

On the other hand, with contributions of molecular biology, mainly the analysis of the mitochondrial DNA, RNAr subunit, AMF has been grouped in a new *Phylum*: Glomeromycota, separated from the previous Zygomycota lineage. In the figure, a recent classification of the AMF (2006) is showed. However, more information is still required to completely understand the phylogeny of these fungi. In spite of this, the great diversity of the AMF species has not yet been recorded. Nowadays, only ca. 200 species of AMF has been described. It has been considered that that the ca. 300 000 plant species diversification took place simultaneously with their respective fungal associates.

Because of what we have mentioned before, it is relevant to know and understand more about HMA biology, ecology and evolution and, therefore, of the AM, especially of those that establish in arid and semi-arid regions, due to the extension of these dry zones in the world which have ca. one third of the terrestrial surface and because of the potential profit of these habitats for agricultural production, particularly in the inter-tropical countries, which have high number of endemic plants (the first place is South Africa and the second one is Mexico), as well as in great biological diversity countries, such as Mexico again. Mexico's arid and semi-arid ecosystems cover about 60% of its surface and support a plant diversity of ca. 6 000 species, with a great amount of endemics.

In arid and semi-arid ecosystems AMF are critical, due to their role in stress alleviation. The mycelium of these fungi is capable of exploring large volumes of soil at high depths and long distances, allowing thus the root-fungal association to up-take soil water and nutrients from very long distances; AMF also interconnect root systems of adjacent plants facilitating water and nutrients exchange between plants, contributing to plant growth. AMF function is relevant taking into account that of arid and semi-arid vegetation supports adverse conditions such as severe drought, high temperatures and evapo-transpiration, high salt contents, sandy soils with severe erosion, low soil fertility, among the main factors. Therefore, AMF are recognized as an essential component of plant-soil systems of deserts, since they allow plants to resist these adverse conditions; for example, in grasses (*Bouteloua gracilis*), cactus (*Ferocactus acanthodes*) and magueyes (*Agave deserti*), it has been documented that AM affects physiologic processes as water relations and reception of carbon-dioxide (CO₂), which favors plant growth.

Since desert soils have AM fungal inoculums that can be used to increase plant survival in low fertility soils, with severe drought, the study of AMF in desert ecosystems is crucial. It has been tested that AMF can be used as inoculum on plants to achieve their establishment in natural conditions under water and nutrient stress, being of great utility for ecological restoration practices in degraded or desertified ecosystems.

Thus, this book acquires a fundamental importance because it is the first one of its type in Mexico and because it provides revision and original studies on researches about AMF in arid and semi-arid ecosystems in different countries, such as Venezuela, South Africa, United States, India and Mexico. This book does not intend to provide a complete review of all the studies carried out in these ecosystems and that could contribute to the understanding of AMF role in desert ecosystems; rather, it is designed to provide a first approach and information synthesis on AM, as well as to present examples of how some of most important questions about these symbionts are being answered in different arid and semi-arid ecosystems. We expect that this book will provide a great motivation to researchers who wish to study AMF biology, ecology and evolution roles related to desert ecosystems.

The editors

PARTE II

Micorrizas arbusculares
en los ecosistemas áridos y
semiáridos: estudios de caso

**Arbuscular mycorrhizae
in arid and semi-arid
ecosystems: case studies**



Interacciones micorrícicas en
la Reserva de la Biosfera de
Mapimí: hongos micorrizógenos
arbusculares y su asociación
con gramíneas del
desierto Chihuahuense

**Mycorrhizal interactions in Mapimi
Biosphere Reserve: arbuscular
mycorrhizae fungi associated with
grasses from the Chihuahuan Desert**

**Fabiana Pezzani,
Roger Guevara,
Laura Hernández-Cuevas
y Carlos Montaña**

RESUMEN

A manera exploratoria se presentan datos de campo que documentan el contexto edáfico en el cual se desarrollan los arcos de vegetación (mosaico de dos fases) en la Reserva de la Biosfera de Mapimí, en el desierto Chihuahuense. Se describen los patrones de abundancia y riqueza de especies de esporas de hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) del mosaico de dos fases de Mapimí. Asimismo, se compara el porcentaje de colonización por HMA de gramíneas nativas características de las etapas temprana y tardía del proceso sucesional de los arcos de vegetación, así como de la especie introducida *Pennisetum ciliare*.

Palabras clave: Gramíneas, micorrizas arbusculares, mosaico de dos fases, sucesión.

ABSTRACT

We report soil data from vegetation patches of two-phase mosaics of the Mapimí Biosphere Reserve (Chihuahuan Desert), and we describe patterns of species richness and abundance of spores of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) of these two phase mosaics. We also compare the AMF colonization percentage of native grasses of early and late successional stages occurring in these vegetation patches, and of the exotic grass *Pennisetum ciliare*.

Key words: Grasses, arbuscular mycorrhizal fungi, two-phase mosaic, succession.

INTRODUCCIÓN

HONGOS MICORRIZÓGENOS ARBUSCULARES Y ZONAS ÁRIDAS

La simbiosis micorrícica se refiere a la asociación interespecífica entre hongos y plantas, siendo de entre las endomicorrizas, la micorriza arbuscular la interacción que se establece entre Glomeromycetes y las raíces de las plantas de un gran número de familias (Brundrett, 2004). Aproximadamente el 95% de las especies de plantas angiospermas, algunas gimnospermas, como *Taxus*, *Sequoia* y *Ginko* (Bonfante-Fasolo y Fontana, 1985), así como hepáticas y pteridofitas (Werner, 1992; Smith y Read, 1997), forman asociaciones micorrícicas arbusculares, distinguiéndose como familias prácticamente no micótrofas: Cyperaceae, Brassicaceae, Chenopodiaceae (Werner, 1992) y Lamiaceae (Frank, 1993). No obstante, se han encontrado especies de familias típicamente no micótrofas, colonizadas por HMA bajo condiciones limitantes (Neeraj *et al.*, 1991).

Los hongos micorrizógenos se encuentran ampliamente distribuidos en las zonas áridas y semiáridas, siendo los del tipo arbuscular (HMA) la forma más abundante (Allen, 1989). En estas zonas, donde hay una marcada escasez de agua y nutrientes en el suelo, los HMA son reconocidos como un componente esencial en el sistema planta-suelo, como lo sugieren los estudios realizados en el desierto de California (Bethlenfalvay *et al.*, 1984), en la estepa patagónica Argentina (Fontenla *et al.*,

2001), en la zona desértica Simpson en Australia (O'Connor *et al.*, 2001) y en el desierto Mojave en Estados Unidos (Titus *et al.*, 2002).

En México, trabajos recientes realizados en el desierto de Sonora (Carrillo-García *et al.*, 1999, Aguilera-Gómez *et al.*, Bethlenfalvay *et al.*, Capítulos 6 y 7 de este libro), en el valle de Tehuacán-Cuicatlán (Camargo-Ricalde *et al.*, 2003; Camargo-Ricalde y Dhillion, 2003; Reyes *et al.*, Capítulo 10 de este libro), y en el desierto Chihuahuense (Collier *et al.*, 2003; Collier, Capítulo 5 de este libro) han mostrado que la mayoría de las plantas de esas comunidades vegetales están asociadas con HMA. Sin embargo, el grado de colonización que presentan las diferentes especies vegetales es muy variable, dependiendo de factores tales como el ambiente físico donde crecen las plantas (Bethlenfalvay *et al.*, 1984), la asociación vegetal (Carrillo-García *et al.*, 1999) y algunos atributos de historia de vida de las plantas como el ciclo de vida y la morfología radical (Collier *et al.*, 2003).

MOSAICOS DE DOS FASES EN ZONAS ÁRIDAS

En algunas zonas áridas y semiáridas del mundo, la cubierta vegetal se distribuye de forma discontinua, formando un mosaico de dos fases en el cual se presentan parches de vegetación que se disponen en una matriz de escasa o nula cobertura (Clos-Arceduc, 1956; Greig-Smith, 1979). Estos patrones vegetales se pueden caracterizar de acuerdo con el tamaño y forma de los parches y se reconocen en general dos tipos: vegetación en bandas y vegetación en manchas, aunque se han observado casos intermedios (Valentin *et al.*, 1999). Se ha reportado que estos sistemas (en bandas o en manchas), a pesar de sus diferencias morfológicas y de su lugar de ocurrencia, presentan grandes similitudes en sus dinámicas hidrológicas y vegetales, así como en los mecanismos que explican el origen y mantenimiento de la estructura de la vegetación (Aguir y Sala, 1999).

Valentin *et al.* (1999) presentaron un listado con 82 trabajos publicados entre los años de 1946 y 1999 que se refieren a sistemas con mosaicos de vegetación en bandas. La mayoría de estos sistemas han sido descritos en África, Australia y Norte América.

Sin embargo, no se han realizado trabajos sobre la presencia de HMA en estos sistemas y su posible relación con la vegetación y la dinámica sucesional que en ellos se presenta (*cf.* Tongway *et al.*, 2001).

EL MOSAICO DE DOS FASES EN LA RESERVA DE LA BIOSFERA DE MAPIMÍ

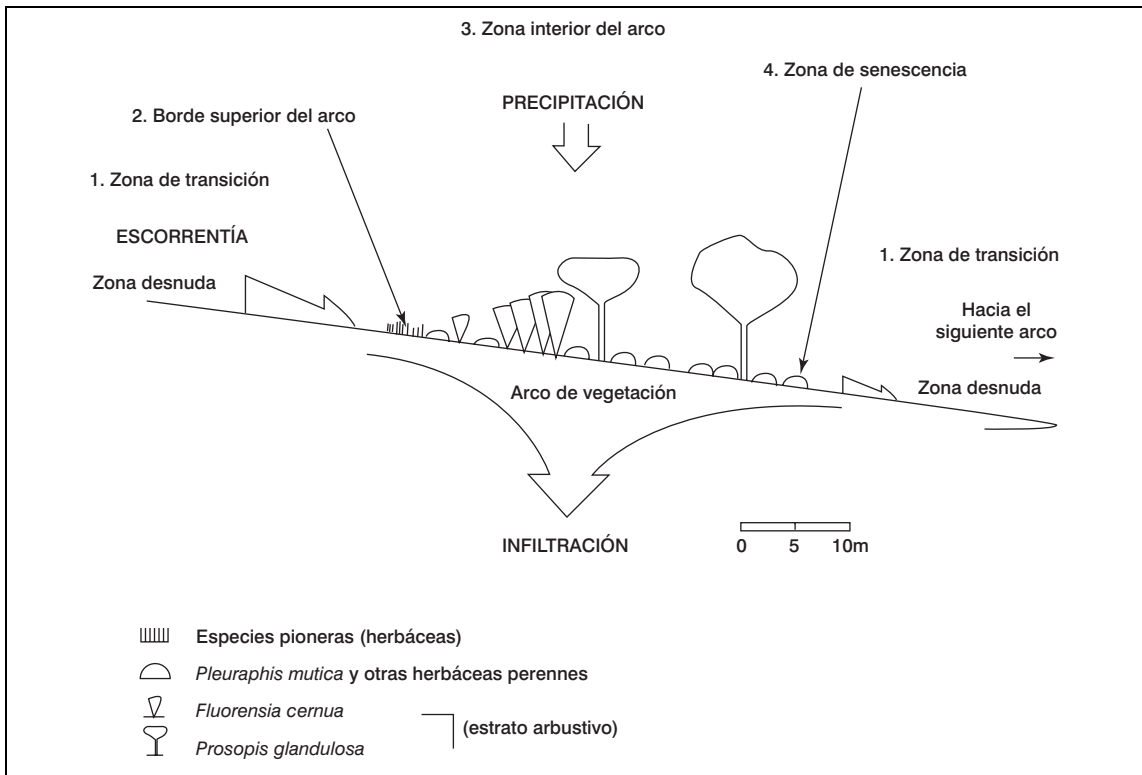
En el desierto Chihuahuense (México), una porción de la vegetación de la Reserva de la Biosfera de Mapimí (RBM) aparece formando un mosaico de dos fases (arcos de vegetación, AV, paralelos que alternan con zonas descubiertas; Foto 8.1). Este patrón vegetal cubre el 32% de las 172,000 ha correspondientes a la RBM y su área de influencia (Montaña, 1988). Los AV se disponen perpendiculares a la pendiente y son resultado de la combinación de factores climáticos, geomorfológicos y edáficos, aunque se enfatiza que el factor que estructura estas comunidades es el proceso de redistribución del agua de lluvia a través de escorrentía en manto (Cornet *et al.*, 1992). Los AV oscilan entre 30 y 60 metros de ancho y entre 200 y 300 metros de largo, y se separan por zonas desnudas de 150 a 250 metros.

En el mosaico de dos fases de Mapimí se pueden identificar cuatro zonas (modificado de Cornet *et al.*, 1988; Figura 8.1).

Foto 8.1. Vista aérea del mosaico de dos fases de la Reserva de la Biosfera de Mapimí. Los arcos de vegetación son las bandas oscuras paralelas que aparecen insertas en la matriz de suelo desnudo, de color claro (Foto: J.P. Esparza, 2005).



Figura 8.1. Representación esquemática de un transecto perpendicular a un arco de vegetación del mosaico de dos fases de la Reserva de la Biosfera de Mapimí. En el texto se describen las zonas representadas en esta figura, las principales especies presentes en cada zona y los procesos del ciclo del agua (adaptado de Mauchamp, 1992).



1. Una zona de transición entre los arcos, con suelo desnudo en su mayoría o escasa cubierta vegetal.
2. El borde superior de los arcos (pendiente arriba), que presenta un importante depósito de material fino en la superficie, el cual origina grietas y costuras poligonales, y es colonizado por vegetación escasa, caracterizada por herbáceas de corta vida, entre las que se encuentran gramíneas como *Chloris virgata* Sw., *Dasyochloa pulchella* (Kunth) Willd ex Rybd. (sinónimo *Tridens pulchellus*) y *Scleropogon brevifolius* Phil.
3. El interior de los arcos; una franja de pastizal caracterizado por la presencia de *Pleuraphis mutica* Buckley (sinónimo *Hilaria mutica*) y *Trichloris crinita* (Lag.) Parodi, bajo un dosel arbus-

tivo compuesto por *Flourensia cernua* DC.; *Prosopis glandulosa* Torr. var. *torreyana* (L.D.Benson) M.C.Johnst., *Lippia graveolens* Kunth. y *Larrea tridentata* (Sessé y Moc. ex DC.) Coville.

4. Una zona de senescencia (pendiente abajo) que converge en una zona de suelo desnudo, constituida por un matorral abierto con cactáceas, así como arbustos viejos y/o muertos, junto con una cubierta herbácea de *P. mutica*, que presenta macollos muertos.

Las modificaciones de las propiedades físicas del suelo debidas a la presencia de vegetación tienen implicaciones en la dinámica del agua. Así, en la zona desnuda (parte superior de los arcos) la profundidad de infiltración y la cantidad de agua que

puede almacenarse es muy escasa debido a la baja permeabilidad del sustrato. El escurrimiento superficial en esta zona es muy importante. En la zona de pioneras (borde superior de los arcos) la presencia de vegetación disminuye la velocidad del agua de escorrentía y favorece la infiltración. De esta manera, los AV reciben en promedio 1.5 a 2.5 veces la cantidad de agua correspondiente a la precipitación anual (264 mm) debido al aporte que obtienen de la escorrentía. El agua de escorrentía raramente alcanza la zona posterior de la banda, donde la vegetación es escasa y casi exclusivamente recibe el agua de lluvia. La zona desnuda que se ubica detrás de los AV es similar a la que se encuentra en la parte superior, con escasa infiltración y alto escurrimiento (Cornet *et al.*, 1992).

Se ha propuesto que la dinámica de la vegetación en los AV representa un proceso sucesional (Montaña, 1992). En dicho proceso, se postula que las especies colonizadoras modifican las condiciones del suelo (porosidad y percolación) y posibilitan el establecimiento de las especies tardías. Así, las especies pioneras son reemplazadas por herbáceas perennes y leñosas a medida que la colonización de la zona descubierta avanza (Cornet *et al.*, 1992).

LA SUCESIÓN VEGETAL Y LOS HMA

Se han propuesto diferentes modelos que relacionan la sucesión vegetal con el grado de micorrización que presentan las plantas de los diferentes estadios serales (Janos, 1980; Allen, 1991; Allen y Allen, 1992; Gemma y Koske, 1992). Dichos modelos comparten el planteamiento que dada una secuencia sucesional, las plantas presentan un continuo desde aquellas que no se micorrizan o en las que la micorrización es limitada (micorrizas facultativas *sensu* Janos, 1980) en los primeros estadios serales, hasta las muy micorrizadas (obligadas *sensu* Janos, 1980) de las etapas tardías del proceso sucesional. Allen y Allen (1984, 1990) sostienen que las micorrizas pueden estar influyendo en el proceso sucesional regulando la competencia (inter e intra-específica) entre las plantas: las plantas micorrizadas poseen mayores habilidades competitivas y desplazan a las no micorrizadas de los primeros estadios serales.

CASO DE ESTUDIO: LOS HONGOS MICORRIZÓGENOS ARBUSCULARES EN EL MOSAICO DE DOS FASES DE LA RESERVA DE LA BIOSFERA DE MAPIMÍ

El mosaico de dos fases en Mapimí representa un sistema interesante para investigar la presencia de HMA y el posible papel que las interacciones micorrizadas podrían tener en la dinámica sucesional de los AV.

En los AV se encuentran especies de gramíneas tanto en la zona frontal como en el interior, y en general, esta familia es una de las mejor representadas en la vegetación de la Reserva (62 especies de un total de 403 reportadas por García-Arévalo, 2002). Si bien la gran mayoría de las especies de esta familia son nativas, existen cuatro especies (*Cynodon dactylon* (L.) Pers., *Echinochloa colonum* (L.) Link, *Eragrostis cilianensis* (All.) Vignolo ex Janch y *Pennisetum ciliare* (L.) Link) que han sido introducidas (García-Arévalo, 2002), algunas con fines forrajeros, y que actualmente se encuentran en sitios cercanos a los AV. Particularmente, *P. ciliare* (perenne, originaria de África) ha colonizado varios sitios desde su introducción en la década de los 80 y aunque aún no se ha encontrado en la comunidad vegetal de los AV, aparece en sitios muy cercanos a éstos en las laderas del cerro San Ignacio, considerándose una invasora potencial de la comunidad de los arcos.

En general los suelos del mosaico de dos fases de Mapimí son alcalinos ($\text{pH} > 8$), pobres en materia orgánica (menos de 2%), y con bajo contenido de nitrógeno (Cuadro 8.1 y Caja 8.1). Sin embargo, existen diferencias significativas (ANOVA de una vía, para cada factor por separado) en casi todos los parámetros analizados (menos en el pH), siendo los suelos del interior de los arcos más ricos en nutrientes (N, P y K) en relación con los suelos de las demás zonas analizadas.

De forma similar, la abundancia de esporas de HMA es mayor en el interior de los AV con respecto a las otras tres zonas (Kruskall-Wallis, $H_c = 13.12$, $p < 0.001$, Caja 8.2 y Cuadro 8.2, Pezzani *et al.*, aceptado). Si bien en la zona entre arcos la abundancia de esporas de HMA es mayor con respecto a la de las zonas de los bordes superior e inferior de los AV, las diferencias observadas no fueron estadísticamente significativas (prueba de Nemenyi).

Cuadro 8.1. Caracterización química de suelos procedentes de cuatro zonas del mosaico de dos fases de la Reserva de la Biosfera de Mapimí (media \pm error estándar). Las letras indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las zonas.

PARÁMETRO QUÍMICO	ZONA DE PROCEDENCIA DEL SUELO			
	ENTRE ARCOS	BORDE SUPERIOR (COLONIZACIÓN)	INTERIOR ARCOS	BORDE INFERIOR (SENESCENCIA)
pH	8.5 \pm 0.04 ^a	8.45 \pm 0.03 ^a	8.39 \pm 0.04 ^a	8.48 \pm 0.04 ^a
Materia orgánica total (%)	0.64 \pm 0.03 ^a	1.07 \pm 0.05 ^b	1.44 \pm 0.07 ^c	0.83 \pm 0.02 ^d
Nitrógeno total (%)	0.05 \pm 0.006 ^a	0.088 \pm 0.003 ^b	0.13 \pm 0.004 ^c	0.066 \pm 0.004 ^a
Fósforo extractable (mg kg ⁻¹)	2.67 \pm 0.35 ^a	4.17 \pm 0.22 ^b	3.95 \pm 0.19 ^b	2.35 \pm 0.5 ^a
Potasio extractable (mg kg ⁻¹)	1.09 \pm 0.1 ^a	1.45 \pm 0 ^b	2.25 \pm 0 ^c	1.7 \pm 0.24 ^b

CAJA 1. ANÁLISIS QUÍMICOS DE SUELO

Los análisis químicos de suelo se realizaron para cada una de las cuatro zonas del mosaico de dos fases de Mapimí (zona entre los arcos, borde superior e inferior de los AV e interior de los AV). En cada zona se tomaron al azar cinco muestras de 200 g cada una, en el conjunto de arcos de vegetación que se disponen en la ladera del Cerro San Ignacio. El pH se midió a través de una solución estándar 1:2 de suelo en agua destilada. La materia orgánica se estimó con el método de Walkley y Black (Nelson y Sommers, 1982). El nitrógeno total se estimó a partir del método micro-Kjeldahl (Bremmer, 1965; Bremmer y Mulvaney, 1982). El fósforo disponible se extrajo con NaHCO₃ y se estimó a partir del método de amonio-molibdato (Olsen y Sommers, 1982). El potasio se extrajo con una solución 1N de acetato de amonio y se analizó mediante fotometría de flama (Knudsen *et al.*, 1982).

CAJA 2. DETERMINACIÓN DE LA ABUNDANCIA Y RIQUEZA DE ESPORAS DE HMA

En mayo de 2003 (época seca) se tomaron diez muestras de suelo de cada una de las cuatro zonas del mosaico de dos fases de Mapimí (borde superior e inferior de los AV, interior de los AV y zona entre los arcos) en el conjunto de arcos de vegetación que se disponen en la ladera del Cerro San Ignacio (Mapimí). Se pesaron 100 g de suelo seco de cada muestra donde se realizó la separación de las esporas por el método de gradiente de densidad propuesto por Menge (Daniels y Skipper, 1982). Se contabilizaron todas las esporas de HMA en un estereomicroscopio y posteriormente las esporas se montaron en preparaciones semipermanentes con PVLG y PVLG + Reactivo de Melzer (Koske y Tèssier, 1983). Las esporas fueron observadas con un microscopio con contraste de interferencia de Nomarski, Nikon Optiphot II, con reglilla micrométrica acoplada al ocular. La determinación de las especies se realizó considerando descripciones especializadas de las especies de los diferentes géneros (Ames y Schneider, 1979; Gerdemann y Trappe, 1974; Janos y Trappe, 1982; Koske, 1985; Koske y Walter, 1986; Koske *et al.*, 1986; Morton, 1986; Morton, 1996; Morton *et al.*, 1997; Morton y Redecker, 2001; Rose y Trappe, 1980; Schenck y Smith, 1982; Schenck *et al.*, 1984; Schüßler *et al.*, 2001; Trappe, 1977; Walker, 1982; Walker y Koske, 1987; Walker *et al.*, 1986; Walker y Vestberg, 1988).

La riqueza de esporas de HMA, al igual que su abundancia, también es mayor en el interior con respecto a las demás zonas de los AV (Cuadros 8.2 y 8.3, Pezzani *et al.*, aceptado). Considerando las cuatro zonas, se encontraron en total 25 morfoespecies de HMA, 13 de las cuales pertenecen al género *Glomus*, 10 pertenecen al género *Acaulospora* y se encontraron una especie del género *Entrophospora* y una de *Gigaspora*. Ocho morfoespecies de HMA son exclusivas del interior de los AV, lo cual podría relacionarse con la cubierta vegetal más densa y más diversa que presenta esta zona del mosaico de dos fases. La presencia de esporas de HMA en las zonas con suelo desnudo o con escasa vegetación podría explicarse en gran medida por el arrastre de material debido al proceso de escorrentía.

En relación a la colonización micorrícica de las plantas en los AV, se obtuvieron datos para seis especies de gramíneas, todas asociadas con HMA. Sin embargo, hay diferencias significativas (ANOVA

Cuadro 8.2. Abundancia y riqueza de esporas de HMA en 100 g de suelo seco (media \pm e.e.) de cuatro zonas del mosaico de dos fases de la Reserva de la Biosfera de Mapimí. Las letras indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las zonas.

ZONA DE PROCEDENCIA DEL SUELO	NÚMERO ESPORAS HMA	NÚMERO ESPECIES HMA
Entre arcos	48.5 \pm 6.7 ^b	7
Borde superior (colonización)	30.6 \pm 3.3 ^b	12
Interior arcos	202 \pm 22.6 ^a	21
Borde inferior (senescencia)	34.4 \pm 11.9 ^b	6

de una vía) en los porcentajes de colonización entre especies ($F_{5,54} = 23.4$, $p < 0.0001$, Cuadro 8.4 y Caja 3). *D. pulchella* (una de las tres especies colonizadoras) fue la especie con menor colonización por HMA, mientras que *P. ciliare* (la especie introducida) mostró la mayor presencia de HMA en sus raíces. Sólo en tres de los diez individuos analizados de la especie colonizadora *D. pulchella* se observó evidencia de colonización por HMA, siendo esta especie diferente significativamente del resto (prueba *post-hoc* de Fisher). En las otras cinco especies, todos los individuos presentaron colonización, aunque el porcentaje y las estructuras que estaban presentes fueron muy variables entre individuos. La mayoría de los registros de HMA fueron hifas y vesículas, indicando la presencia de reservas, ya que el muestreo de raíces se realizó durante la época de secas (abril – mayo de 2003).

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

En el presente capítulo se analizó la presencia de HMA en el mosaico de dos fases del desierto Chihuahuense (Reserva de la Biosfera de Mapimí, México), y su asociación con gramíneas dominantes de la comunidad vegetal de dicho mosaico. De acuerdo con nuestro conocimiento, es la primera vez que se reportan datos sobre interacciones micorrícicas en una comunidad vegetal de un mosaico de dos fases.

Encontramos una diversidad importante de HMA, tanto en abundancia de esporas como en riqueza de especies de esporas presente en los suelos de las distintas zonas del mosaico de dos fases. En particular, la cantidad de esporas presentes en suelo del interior de los AV (202 ± 22.6 esporas en 100 g de suelo seco) es mayor que la encontrada en otras zonas áridas: en el Valle de Tehuacán, Camargo-Ricalde y Dhillion (2003) encontraron 152 esporas en 100 g de suelo seco en promedio, en suelo bajo el dosel de leguminosas arbustivas en la estación de secas; para el Desierto de Sonora, Carrillo-García *et al.* (1999) estimaron 28 esporas en 100 g de suelo seco procedente de una comunidad de arbustos y cactáceas columnares. Esto podría indicar un grado de dependencia importante de la comunidad vegetal de los AV de Mapimí de las interacciones micorrícicas, o también que las especies de HMA presentes tengan la capacidad de producir un gran número de esporas.

Las seis especies de gramíneas estudiadas presentaron colonización de sus raíces por HMA, indicando la presencia de interacciones micorrícicas. De acuerdo con los modelos clásicos que relacionan la sucesión vegetal con la asociación con HMA (Janos, 1980; Allen, 1991; Allen y Allen, 1992; Gemma y Koske, 1992), no podemos concluir para este sistema que las gramíneas pioneras o colonizadoras sean menos micorrícicas que las de estadios sucesionales tardíos. Encontramos que dos de las tres especies colonizadoras estudiadas presentaron altos porcentajes de colonización por HMA (*C. virgata* y *S. brevifolius*), y sólo una se podría ajustar a lo propuesto por los modelos (*D. pulchella*), ya que la presencia de estructuras de HMA en sus raíces fue nula o muy baja ($2.6 \pm 1.8\%$). Si bien en este trabajo no analizamos las interacciones micorrícicas a nivel funcional, por ejemplo a través de un índice de respuesta a la micorrización (Plenchette *et al.*, 1983; Wilson y Hartnett 1998), para determinar si efectivamente las plantas presentan algún grado de dependencia con respecto a los HMA, los resultados sugieren que la relación entre plantas de estadios sucesionales diferentes y su asociación con HMA no es tan simple como lo proponen los modelos más conocidos (Janos, 1980; Allen, 1991; Allen y Allen, 1992; Gemma y Koske, 1992). Resulta interesante conocer si otras especies de plantas, no-gramíneas, presentes en las diferentes zonas de los AV de

CAJA 3. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE COLONIZACIÓN POR HMA

Se tomaron muestras de raíces de diez individuos de cada una de las seis especies de gramíneas (Tabla 4) para observar la colonización por HMA. Para ello las raíces fueron teñidas según la técnica propuesta por Koske y Gemma (1989). Las raíces se observaron en el microscopio óptico con el objetivo de 10X para observar y cuantificar las estructuras fúngicas (McGonigle *et al.*, 1990). Cada segmento de raíz fue observado en tres secciones: arriba, en medio y abajo. Esto se hizo para 30 segmentos de cada individuo, totalizando 90 campos analizados por individuo y 900 campos por especie.

Cada vez que un segmento de la raíz fue atravesada por el campo óptico y contenía alguna estructura fúngica, se le daba un valor de uno y con base en el número de observaciones, se estimó el porcentaje de colonización micorrícica mediante la fórmula:

$$\% \text{ de colonización} = \frac{\text{número de segmentos colonizados}}{\text{número de segmentos totales}} \times 100$$

Cuadro 8.4. Porcentaje de colonización radicular por hongos micorrícicos arbusculares (media \pm e.e.) de gramíneas en los arcos de vegetación. Colonizadoras (*Chloris virgata*, *Dasyochloa pulchella* y *Scleropogon brevifolius*), tardías (*Pleuraphis mutica* y *Trichloris crinita*) y de una gramínea introducida (*Pennisetum ciliare*). Se realizaron pruebas estadísticas solo para el porcentaje de colonización total. Las letras indican diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las especies.

ESPECIE	TOTAL	HIFAS	VESÍCULAS	ESPORAS
<i>Chloris virgata</i>	27.8 \pm 3.6 ^b	96.3 \pm 1.5	14.9 \pm 2.8	0.8 \pm 0.6
<i>Dasyochloa pulchella</i>	2.6 \pm 1.8 ^a	72.2 \pm 7.9	54.3 \pm 23.8	0
<i>Scleropogon brevifolius</i>	52.1 \pm 8.7 ^c	87.9 \pm 5.7	24.3 \pm 5.5	3.0 \pm 1.2
<i>Pleuraphis mutica</i>	37.8 \pm 7.1 ^{bc}	88.1 \pm 4.5	30.9 \pm 5.7	2.1 \pm 1.2
<i>Trichloris crinita</i>	22.3 \pm 5.1 ^b	95.3 \pm 2.5	10.7 \pm 4.4	0.8 \pm 0.4
<i>Pennisetum ciliare</i>	70.7 \pm 8.3 ^c	100 \pm 0	13.5 \pm 4.2	0

Mapimí, se asocian con HMA, y en dado caso analizar si dicha asociación es mutualista o parasítica, o si oscila en un gradiente mutualista-parasítico dependiendo de la fenología de las plantas y de las condiciones ambientales (Johnson *et al.*, 1997). En este mismo sentido, otro aspecto interesante a investigar es conocer la dinámica de las interacciones micorrícicas en condiciones de mayor disponibilidad de agua (época de lluvias) ya que en esa época las gramíneas se encuentran en etapa reproductiva, y por lo tanto los beneficios o costos de una asociación con HMA pueden variar en relación a los encontrados durante la época de secas.

Otro resultado interesante es el alto porcentaje de colonización encontrado en la especie introducida *P. ciliare*. Como se mencionó, esta especie no se encuentra aún en la comunidad vegetal de los AV, sino que aparece en sitios muy cercanos a éstos en las laderas del cerro San Ignacio, considerándose una invasora potencial de la comunidad de los arcos. En este sentido, se ha propuesto que los hongos micorrizógenos pueden influir en las interacciones competitivas entre plantas invasoras y locales (Bray *et al.*, 2003; Callaway *et al.*, 2004). En este caso, desconocemos el efecto de los HMA sobre el desempeño de *P. ciliare*. Considerando el posible riesgo de invasión de la comunidad de los AV por esta especie, resulta interesante conocer la influencia que los hongos micorrizógenos puedan tener sobre la inhibición o la promoción del proceso de invasión.

En el contexto de la dinámica sucesional de los AV es predecible que en el borde inferior, donde las plantas están muertas o senescentes, existió una estructura de vegetación similar a la del interior de

los arcos y por lo tanto con una comunidad de HMA semejante a la observada en el interior de los arcos. Sin embargo, el análisis de la distribución de especies de HMA en las diferentes zonas de los arcos muestra que, tanto en la zona desnuda como en el borde inferior, todas las especies de HMA con excepción de una morfoespecie, *Acaulospora morrowae*, corresponden al género *Glomus*, mientras que en el interior de los arcos se encuentran varias especies de *Acaulospora*, así como *Entrophospora infrequens* y *Gigaspora decipiens*. Este patrón sugiere que las esporas de *Glomus* son mucho más persistentes en el ambiente en comparación con las especies de *Acaulospora*, *Entrophospora* y *Gigaspora*. Se ha encontrado que algunas especies de *Glomus* se producen en mayor número y más rápido que las de otros géneros (Jarsfer y Sylvia, 1995), lo que favorecería (sólo por número) su persistencia ante ciertas condiciones ambientales. Pero también se ha encontrado que algunas especies de este género, como *G. etunicatum* (encontrada en Mapimí), son más tolerantes a sequía que otras, p.e. *Acaulospora morrowae* (sinónimo *A. longula*; Sylvia y Schenck, 1983). De acuerdo a los resultados de Klironomos y Hart (2002), las estrategias de colonización (tipo de propágulo que utilizan los hongos como fuente de inóculo: esporas, hifas, etc.) pueden ser diferentes entre las especies de HMA. En este sentido, varias especies de *Acaulospora* pueden colonizar nuevos hospederos sólo a partir de micelio producido por germinación, razón por la cual no sería extraño no encontrar esporas en buen estado si ya pasaron por este proceso y pierden rápidamente su infectividad (Safir, 1987). No contamos con evidencia sobre los posibles factores

que regulan la persistencia de las esporas de HMA en el suelo de los AV, pero sin duda la resistencia a las oscilaciones diarias en las condiciones ambientales (particularmente temperatura), el parasitismo producido en las esporas por diversos hongos micoparásitos, así como la depredación de esporas por artrópodos o quizá nemátodos, son dos posibilidades que deben ser estudiadas así como sus implicaciones en los procesos de sucesión.

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro sincero agradecimiento a la familia Herrera por su colaboración en el trabajo de campo en la Reserva de la Biósfera de Mapimí. Agradecemos a Rocío M. Vega por su valiosa ayuda en el trabajo de laboratorio. Los análisis de suelos fueron realizados por Ninfa Portilla en el Laboratorio de Suelos del INECOL. F.P. agradece a la Universidad de la República, Uruguay, por el apoyo logístico durante la realización de su doctorado en México, y a la Red Latinoamericana de Botánica por la beca para realizar el doctorado en el INECOL (RLB-01-D1 – Tyler Prize 2004). El presente trabajo fue parcialmente financiado por RLB-01-D1 (F.P.), CONACYT-36642-V (C.M.) y el Laboratorio de Ecología de Hongos y Suelos (R.G.) del INECOL.

REFERENCIAS

- Aguiar M. y O. Sala 1999. Patch structure, dynamics y implications for the functioning of arid ecosystems. *Trends in Ecology and Evolution* 14: 273-277.
- Allen E.B. y M.F. Allen 1984. Competition between plants of different successional stages: mycorrhizae as regulators. *Canadian Journal of Botany* 62: 2625-2629.
- Allen E.B. y M.F. Allen 1990. The mediation of competition by mycorrhizae in successional and patchy environments. *En: Grace, J.B. y D. Tilman (Eds). Perspectives on Plant Competition*. Academic Press, Inc., San Diego, USA, 367-389.
- Allen E.B. 1989. The restoration of disturbed arid landscapes with special reference to mycorrhizal fungi. *Journal of Arid Environments* 17: 279-286.
- Allen M.F. 1991. *The ecology of mycorrhizae*. Cambridge, UK, University Press.
- Allen M.F. y E.B. Allen 1992. Development of mycorrhizal patches in a successional arid ecosystem. *En: Read D.J., Lewis D.H., Fitter A.H. y I.J. Alexy (Eds). Mycorrhizas in Ecosystems*. Cab International, Wallingford, 164-170.
- Ames R.N. y R.W. Schneider 1979. *Entrophospora*, a new genus in the Endogonaceae. *Mycotaxon* 8: 347-352.
- Bethlenfalvay G.J., Dakessian S. y R.S. Pacovsky 1984. Mycorrhizae in a southern California desert: ecological implications. *Canadian Journal of Botany* 62: 519-524.
- Bray S.R., Kitajima K. y D.M. Sylvia 2003. Mycorrhizae differentially alter growth, physiology, and competitive ability of an invasive shrub. *Ecological Applications* 13: 565-574.
- Bremner J.M. 1965. Total nitrogen. *En: Black C.A. (Ed). Methods of Soil Analysis*. Part 2. American Society of Agronomy, Madison, USA, 1149-1178.
- Bremner J.M. y C.S. Mulvaney 1982. Nitrogen – total. *En: Page A.L., Millar R.H. y D.R. Keeney (Eds). Methods of Soil Analysis*. Part 2. American Society of Agronomy, Madison, USA, 595-624.
- Brundrett M. 2004. Diversity and classification of mycorrhizal associations. *Biological Reviews* 79: 473-495.
- Callaway R.M., Thelen G.C. Rodríguez, A. y W.E. Holben. 2004. Soil biota and exotic plant invasion. *Nature* 427: 731-733.
- Camargo-Ricalde S.L., Dhillon S.S. y C. Jiménez-González 2003. Mycorrhizal perennials of the “matorral xerófilo” and the “selva baja caducifolia” communities in the semi-arid Tehuacán-Cuicatlán Valley, México. *Mycorrhiza* 13: 77-83.
- Camargo-Ricalde S.L. y S.S. Dhillon 2003. Endemic *Mimosa* species can serve as mycorrhizal “resource islands” within semi-arid communities of the Tehuacán-Cuicatlán Valley, México. *Mycorrhiza* 13: 129-136.
- Carrillo-García A., León de la Luz J.L., Bashan Y. y G.J. Bethlenfalvay 1999. Nurse plants, mycorrhizae, and plant establishment in a disturbed area of the Sonoran Desert. *Restoration Ecology* 7:321-335.

- Clos-Arceuduc M. 1956. Etude sur photographies aériennes d'une formation végétale sahélienne: la brousse tigrée. *Bulletin FAN Serie A 7*: 677-684.
- Collier S.C., Yarnes C.T. y R.P. Herman 2003. Mycorrhizal dependency of Chihuahuan Desert plants is influenced by life history strategy and root morphology. *Journal of Arid Environments* 55: 223-229.
- Cornet A.F., Delhoume J.P. and C. Montaña 1988. Dynamics of striped vegetation patterns and water balance in the Chihuahuan Desert. *En: During H.J., Werger M.J. and J.H. Willens (Eds.). Diversity and Pattern in Plant Communities*. SPB Academic Publishing. The Hague, 221-231.
- Cornet A.F., Montaña C., Delhoume J.P. y J. Lopez-Portillo 1992. Water flows and the dynamics of desert vegetation stripes. *En: Hansen A.J. y F. Di Castri (Eds). Lyscape Boundaries. Consequences for Biotic Diversity y Ecological Flows*. Springer-Verlag. New York, USA, 327-345.
- Daniels B. y H. Skipper 1982. Methods for the recovery and quantitative estimation of propagules from soil. *En: Schenck N. (Ed). Methods and Principles of Mycorrhizal Research*. St Paul Minnesota, USA, 29-37.
- Fontenla S., Puntieri J. y J.A. Ocampo 2001. Mycorrhizal associations in the Patagonian steppe, Argentina. *Plant and Soil* 233: 13-29.
- Frank L.J. 1993. Interactions of nematodes with mycorrhizae and mycorrhizal fungi. *En: Kahn M.W. (Ed.). Nematode interactions*. Chapman & Hall. Londres, 203-216.
- García-Arévalo A. 2002. Vascular plants of the Mapimí Biosphere Reserve, México: a checklist. *SIDA* 20: 797-807.
- Gemma J.N. y R.E. Koske 1992. Are mycorrhizal fungi present in early stages of primary succession? *En: Read D.J., Lewis D.H., Fitter A.H. y I.J. Alexy (Eds). Mycorrhizas in Ecosystems*. Cab International. Wallingford, 183-189.
- Gerdemann J.W. y J.M. Trappe 1974. The Endogonaceae in the Pacific Northwest. *Mycologia Memoir* 5: 76.
- Greig-Smith P. 1979. Pattern in vegetation. *Journal of Ecology* 67: 755-779.
- Gryndler M. 2000. Intercations of arbuscular mycorrhizal fungi with other soil organisms. *En: Kapulnik Y. (Ed.). Arbuscular mycorrhizas: physiology and function*. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht, 239-262.
- Janos D.P. 1980. Mycorrhizae influence tropical succession. *Biotropica* 12: 56-64.
- Janos D.P. y J.M. Trappe 1982. Two new *Acaulospora* species from tropical America. *Mycotaxon* 15: 515-522.
- Jarstfer A.G. y D.W. Sylvia. 1995. Aeroponic culture of VAM fungi. *En: Varma A. y B. Hock (Eds.). Mycorrhiza: structure, function, molecular biology and biotechnology*. Springer-Verlag. Berlin, 421-427.
- Johnson N.C., Graham J.H. y F.A. Smith 1997. Functioning of mycorrhizal associations along the mutualism-parasitism continuum. *New Phytologist* 135: 575-585.
- Klironomos J.N. y M.M. Hart 2002. Colonization of roots by arbuscular mycorrhizal fungi using different sources of inoculum. *Mycorrhiza* 12: 181-184.
- Knudsen D., Peterson G.A. y P.F. Pratt 1982. Lithium, sodium and potassium. *En: Page A.L., Millar R.H. y D.R. Keeney (Eds). Methods of Soil Analysis. Part 2*. American Society of Agronomy. Madison, USA, 225-246.
- Koske R.E. 1985. *Glomus aggregatum* emended: A distinct taxon in the *Glomus fasciculatum* complex. *Mycologia* 77: 619-630.
- Koske R.E. y Tessier B. 1983. A convenient, permanent slide mounting medium. *Mycological Society of America Newsletter* 4: 59.
- Koske R.E. y C. Walker 1986. Species of *Scutellospora* (Endogonaceae) with smooth-walled spores from maritime sand dunes: two new species and a redescription of the spores of *Scutellospora pellucida* y *Scutellospora calospora*. *Mycotaxon* 27: 219-235.
- Koske R.E., Gemma J.N. y P.D. Olexia 1986. *Glomus microaggregatum*, a new species in the Endogonaceae. *Mycotaxon* 26: 125-132.
- Koske R. y J. Gemma 1989. A modified procedure for staining roots to detect VA mycorrhizas. *Mycological Research* 92: 486-505.
- Mauchamp A. 1992. L'hétérogénéité spatiale, sa dynamique et ses implications dans une mosaïque de végétation en zone aride. Doctoral Thesis, USTL-Montpellier II University, Montpellier, Francia.

- McGonigle T.P., Miller M.H., Evans D.G., Fairchild G.L. y Swan J.A. 1990. A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist* 115: 495-501.
- Montaña C. 1988. Vegetación y sus relaciones con el ambiente. En: C.Montaña (Ed). *Estudio Integrado de los Recursos Vegetación, Suelo y Agua en la Reserva de la Biósfera de Mapimí. I. Ambiente Natural y Humano*. Instituto de Ecología A.C. México D.F., 199-223.
- Montaña C. 1992. The colonization of bare areas in two-phase mosaics of an arid ecosystem. *Journal of Ecology* 80:315-327.
- Morton J.B. 1986. Three new species of *Acaulospora* (Endogonaceae) from high aluminium, low pH soils in West Virginia. *Mycologia* 78: 641-648.
- Morton J.B. 1996. Redescription of *Glomus caledonium* based on correspondence of spore morphological characters in type specimen and a living reference culture. *Mycorrhiza* 6: 161-166.
- Morton J.B., Bever J.D. y F.L. Pfeleger 1997. Taxonomy of *Acaulospora gerdemanii* y *Glomus leptotichum*, synanamorphs of one anamorphic fungus in Glomales. *Mycological Research* 101: 625-631.
- Morton J. y D. Redecker. 2001. Two new Families of Glomales, Archaeosporaceae and Paraglomaceae, with two new genera *Archaeospora* y *Paraglomus*, based on concordant molecular y morphological characters. *Mycologia* 93: 181-195.
- Neeraj S.A., J. Mathew y A. Varma. 1991. Ocurrence of VA mycorrhizae within Indian semi-arid soils. *Biological Fertilizer Soils*. 11: 140-144.
- Nelson D.W. y L.E. Sommers 1982. Total carbon, organic carbon and organic matter. En: Page A.L., Millar R.H. y D.R. Keeney (Eds). *Methods of Soil Analysis*. Part 2. American Society of Agronomy. Madison, USA, 539-580.
- O'Connor P.J., Smith S.E. y F.A. Smith 2001. Arbuscular mycorrhizal associations in the southern Simpson Desert. *Australian Journal of Botany* 49: 493-499.
- Olsen S.R. y L.E. Sommers 1982. Phosphorous. En: Page A.L., Millar R.H. y D.R. Keeney (Eds). *Methods of Soil Analysis*. Part 2. American Society of Agronomy. Madison, USA, 403-430.
- Pezzani F., Montaña C. y R. Guevara 2005. Associations between arbuscular mycorrhizal fungi and grasses in the successional context of a two-phase mosaic in the Chihuahuan Desert. *Mycorrhiza* (aceptado).
- Plenchette C., Fortin J.A. y V. Furlan 1983. Growth responses of several plant species to mycorrhizae in a soil of moderate P-fertility. I. Mycorrhizal dependency under field conditions. *Plant and Soil* 70: 199-209.
- Rose S.L. y J.M. Trappe 1980. Three new endomycorrhizal *Glomus* spp. associated with actinorrhizal shrubs. *Mycotaxon* 10: 413-420.
- Safir G. 1987. *Ecophysiology of VA mycorrhizal plants*. Michigan State University, Michigan.
- Schenck N.C. y G.S. Smith 1982. Additional new and unreported species of mycorrhizal fungi (Endogonaceae) from Florida. *Mycologia* 74: 77-92.
- Schenck N.C., Spain J.L., Sieverding E. y R.H. Howeler 1984. Several new and unreported vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi (Endogonaceae) from Colombia. *Mycologia* 76: 685-699.
- Schüßler A., Schwarzott D., y C. Walker 2001. A new fungal Phylum, Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycological Research* 105: 1413-1421.
- Smith S.E. y D.J. Read 1997. *Mycorrhiza symbiosis*. 2da. edición. Academic Press. San Diego. USA.
- Sylvia D.W. y N. Schenck. 1983. Germination of chlamydospores of three *Glomus* species as affected by soil matric potential and fungal contamination. *Mycologia* 75: 30-35.
- Titus J.H., Titus P.J., Nowak R.S. y S.D. Smith 2002. Arbuscular mycorrhizae of Mojave Desert plants. *Western North American Naturalist* 62: 327-334.
- Tongway D., Valentin C. y J. Seghier 2001. Banded Vegetation Patterning in Arid and Semi Arid Environments. *Ecological processes and consequences for management*. Springer Verlag. New York, USA.
- Valentin C., d'Herbes J.M. y J.Poesen 1999. Soil and water components of banded vegetation patterns. *Catena* 37: 1-24.
- Trappe J.M. 1977. Three new Endogonaceae: *Glomus constrictus*, *Sclerocystis clavispora*, y *Acaulospora scrobiculata*. *Mycotaxon* 6: 359-366.

- Walker C. 1982. Species in the Endogonaceae: a new species (*Glomus occultum*) and a new combination (*Glomus geosporum*). *Mycotaxon* 15: 49-61.
- Walker C. y R.E. Koske. 1987. Taxonomic concepts in the Endogonaceae. IV. *Glomus fasciculatum* redescribed. *Mycotaxon* 30: 253-262.
- Walker C., Pfeiffer C.M. y H.E. Bloss. 1986. *Acaulospora delicata* sp. nov. – an endomycorrhizal fungus from Arizona. *Mycotaxon* 25: 621-628.
- Walker C. y M. Vestberg. 1988. Synonymy amongst the arbuscular mycorrhizal fungi: *Glomus claroideum*, *G. maculosum*, *G. multisubstensum* y *G. fistulosum*. *Annals of Botany* 82: 601-524.
- Werner D. 1992. *Symbiosis of plants and microbes*. Chapman & Hall. Londres.
- Wilson G.W. y C. Hartnett 1998. Interspecific variation in plant responses to mycorrhizal colonization in tallgrass prairie. *American Journal of Botany* 85: 1732-1738.

Este libro manifiesta el cómo se está actualizando constantemente el conocimiento sobre las micorrizas, señala que aún en ambientes estresantes como lo son las zonas áridas y semiáridas las micorrizas juegan en ellos un papel muy importante en la absorción de nutrientes, en el crecimiento y propagación de las plantas, en el mantenimiento de la diversidad e incluso en el manejo de cultivos. Es una expresión también de la enriquecedora interacción institucional y refleja la intensidad de las actividades de investigación en varios países del mundo.

Francisco Javier Álvarez Sánchez

Facultad de Ciencias UNAM, México

Sociedad Mexicana de la Simbiosis Micorrícica

This is the first book devoted entirely to the myriad ways in which arbuscular mycorrhizae (AM) fungi influence the ecology and biology of arid and semi-arid areas. It is a timely and important volume. Worldwide, fresh water supplies are diminishing, and irrigation water is becoming more saline; AM symbiosis also modifies plant resilience to soil salinity and sodicity. This book addresses critical roles of mycorrhizal colonization in deserts and in dryland farming, in such areas as functional diversity, nutrition, resource islands, and crop and ecosystem management. It identifies the AM fungi that inhabit roots of important arid plants, and it summarizes several case studies that provide important insights into ecosystem function.

Robert M. Augé

University of Tennessee, USA

International Mycorrhiza Society

Universidad Autónoma Metropolitana - Iztapalapa
Facultad de Estudios Superiores Zaragoza
Universidad Nacional Autónoma de México
Instituto Nacional de Ecología
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Academia de Ecología de la FES Zaragoza, UNAM
Editorial Mundi-Prensa México

ISBN 978-968-7462-56-1

