

Libros de **Cátedra**

# Micorrizas arbusculares

Biología y aplicaciones  
en el sector agro-forestal

Mario Carlos Nazareno Saparrat, Marcela Fabiana  
Ruscitti y Maria Cecilia Arango (coordinadores)

FACULTAD DE  
CIENCIAS AGRARIAS  
Y FORESTALES

FACULTAD DE  
CIENCIAS NATURALES  
Y MUSEO

**n**  
naturales

  
EDITORIAL DE LA UNLP



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE LA PLATA

# MICORRIZAS ARBUSCULARES

BIOLOGÍA Y APLICACIONES EN EL SECTOR AGRO-FORESTAL

Mario Carlos Nazareno Saparrat

Marcela Fabiana Ruscitti

Maria Cecilia Arango

(coordinadores)

Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales

Facultad de Ciencias Naturales y Museo



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE LA PLATA

  
Eduulp  
EDITORIAL DE LA UNLP

# Índice

<b>Prólogo</b>	8
<b>Capítulo 1</b>	
Introducción y generalidades	11
<i>Fabrizio Emanuel Valdés, Camila Abarca, Roxana Paula Colombo y Vanesa Analía Silvani</i>	
<b>Capítulo 2</b>	
¿Cómo se establece la simbiosis?	36
<i>Marcela Ruscitti y Mario Saparrat</i>	
<b>Capítulo 3</b>	
Hongos rizosféricos y el movimiento del fósforo en el suelo	52
<i>Mario Saparrat, Valeria Bernardo, Marcela Ruscitti, Lorena Elíades y Pedro Balatti</i>	
<b>Capítulo 4</b>	
Micorrizas arbusculares, aplicaciones en el sector agro-forestal	64
<i>Valeria Bernardo, Sebastián Garita, Juan Ignacio Ripodas, Matías Gonzalez, Cecilia Arango y Marcela Ruscitti</i>	
<b>Capítulo 5</b>	
Micorrizas arbusculares y la restauración de ecosistemas degradados	89
<i>Matias Gonzalez, Cecilia Arango, Graciela Pastorino y Marcela Ruscitti</i>	
<b>Capítulo 6</b>	
Tecnología de la inoculación	106
<i>Silvana Velazquez, Fabrizio Valdés y Camila Abarca</i>	

## **Capítulo 7**

Técnicas empleadas en el muestreo de hongos micorrícicos arbusculares \_\_\_\_\_ 115

*Valeria Bernardo, Sebastián Garita, Juan Ignacio Rípodas, Cecilia Arango,*

*Graciela Pastorino y Marcela Ruscitti*

**Los autores** \_\_\_\_\_ 130

# CAPÍTULO 6

## Tecnología de la inoculación

*Silvana Velazquez, Fabricio Valdés y Camila Abarca*

### Introducción

Entre los microorganismos benéficos del suelo se encuentran los hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA); los cuales se asocian simbióticamente con el 80% de las especies de plantas terrestres, incluyendo varios cultivos agrícolas (Wang y Qiu, 2006). En dichas asociaciones los HMA son simbioses obligados que establecen un vínculo clave entre la planta huésped y el suelo proporcionándole nutrientes minerales y agua a cambio de productos fotosintéticos (Smith y Read, 2008). El micelio externo de los hongos arbusculares que emerge del sistema radical puede adquirir nutrientes de zonas del suelo que son inaccesibles para las raíces (Smith et al., 2000). Además, las hifas fúngicas son mucho más delgadas que las raíces y, por lo tanto, pueden penetrar en poros más pequeños (Allen, 2011). El micelio interno de los hongos arbusculares coloniza exclusivamente la corteza radical y forma estructuras altamente ramificadas dentro de las células denominadas arbusculos, que son considerados como el sitio funcional de intercambio de nutrientes (Balestrini et al., 2015). Por lo tanto, los HMA pueden atenuar la limitación en el crecimiento de las plantas causado por un suministro inadecuado de nutrientes (Nouri et al., 2014). Además de un incremento en el suministro nutricional, las interacciones con HMA brindan otros beneficios a las plantas, entre ellos una mejor tolerancia a la sequía y a la salinidad (Augé et al., 2015) así como también mayor resistencia a las enfermedades (Pozo y Azcón-Aguilar, 2007) e incluso modificar las respuestas fitoquímicas a la herbivoría (Bennett et al., 2009).

En la actualidad se considera que, en un ambiente natural, una condición no micorrícica debe verse como anormal para la mayoría de las especies, aunque existe una marcada diversidad entre las comunidades de hongos arbusculares, dependiendo de la diversidad de especies vegetales, del tipo de suelo y estación, o una combinación de estos factores (Smith y Smith, 2012).

El proceso de restablecer la estructura natural de las comunidades de HMA representa una alternativa favorable a las prácticas de fertilización convencionales, con vistas a una agricultura sustentable, un objetivo clave para los productores que enfrentan la recesión mundial y deben tener una mayor conciencia del medio ambiente. La estrategia principal adoptada para lograr este objetivo es la reintroducción directa de los propágulos de HMA (inóculo) en el suelo. Sin embargo, la explotación de estos hongos requiere el conocimiento de cómo los HMA se adaptan

y reaccionan al ser introducidos en un nuevo ecosistema, cómo responden al manejo del suelo y de los eventos que llevan al establecimiento de una simbiosis funcional, incluidos los mecanismos involucrados en la transferencia de nutrientes. Es importante tener en cuenta que para la introducción de inóculo en un suelo degradado/estresado y/o para evitar el fracaso del proceso de revegetación es importante conocer previamente la biota nativa (Oliveira et al., 2005). Algunas especies de HMA han sido citadas por ser más tolerantes al estrés que otras, y generalmente se encuentran en suelos estresados y contaminados (Hildebrandt et al., 2007). Por lo tanto es posible que se obtengan resultados exitosos luego de una selección cuidadosa de las combinaciones favorables de huésped/nicho/hongo.

En el presente capítulo se desarrollarán algunas de las principales técnicas para cuantificar el potencial inóculo de HMA de los suelos, los métodos de propagación, su correcto almacenamiento, las estrategias de inoculación y los principales desafíos relacionados a la producción e implementación de inóculo micorrízico (**Figura 6.1**).



Figura 6.1: Secuencia de etapas desarrolladas en este capítulo.

## Determinación del potencial inóculo de HMA del suelo

Es un prerequisite conocer la diversidad y abundancia de las poblaciones nativas de HMA antes de agregar un inoculante formulado en base a estos microorganismos. Los métodos empleados con mayor frecuencia para determinar la cantidad de propágulos de HMA son los siguientes:

*I) Determinación de la densidad de esporas:* las esporas son estructuras que permiten la supervivencia de los hongos arbusculares. En determinadas circunstancias son los únicos propágulos infectivos del suelo (por ejemplo luego de que un suelo haya permanecido un largo período sin vegetación, o después de una larga estación seca) y por lo tanto el número de esporas/gramo de suelo seco o número de esporas/volumen de suelo revela la cantidad de propágulos fúngicos en el suelo objetivo. Bajo determinadas condiciones el número de esporas puede tener una correlación con el número total de propágulos infectivos del suelo, pero en otras circunstancias esta correlación no puede ser tan evidente a causa de algunas características intrínsecas de los HMA como son su viabilidad o la incapacidad que poseen algunas esporas viables de germinar bajo determinadas condiciones ambientales.

*II) Determinación del micelio externo de los HMA:* la biomasa de micelio puede ser cuantificada, aunque este procedimiento además de ser laborioso puede conducir a resultados erróneos

debido a la imposibilidad de separar el micelio de HMA de otros hongos saprótrofos o patógenos del suelo. Del mismo modo los métodos colorimétricos para determinar la quitina del suelo conllevan el mismo tipo de error. Una técnica más adecuada es la determinación de la longitud de las hifas (Abbott y Robson, 1984). Para aislar el micelio externo, se tamiza en húmedo una cantidad conocida de suelo, luego se centrifuga y se transfiere a un papel de filtro donde el micelio se tiñe con un colorante afin a la quitina. La longitud se mide bajo un microscopio compuesto usando una modificación del método de línea de intersección (Giovannetti y Mosse, 1980). Se han desarrollado además, métodos de fluorescencia para diferenciar entre hifas de HMA viables de no viables, los cuales son importantes porque sólo las hifas viables sirven como fuente de propágulos (Schubert et al., 1987)

*III) Porcentaje de colonización radical:* la infección radical es una condición necesaria para el establecimiento y funcionalidad de la simbiosis con HMA. La posibilidad de que un cultivo obtenga un nivel máximo de colonización radical depende de varios componentes como por ejemplo, las especies de plantas, las condiciones del suelo (contenido de nutrientes) y las especies de HMA. Por lo tanto, altos porcentajes de colonización podrían indicar un elevado potencial inóculo del suelo. Sin embargo los porcentajes de colonización constituyen una estimación relativa de la biomasa fúngica interna de la raíz, pero no brindan información acerca de la cantidad de propágulos de un sitio. Una de las técnicas más empleada para determinar los porcentajes de infección radical es la descrita por Giovannetti y Mosse (1980). Del mismo modo el porcentaje de raíz colonizada también puede arrojar resultados erróneos ya que está influenciado por diversos factores como la densidad radical de la especie vegetal, la etapa vegetativa y el estado nutricional de la planta, las condiciones climáticas, el tipo de suelo, etc.

*IV) Determinación de la infectividad micorrícica del suelo:* el nivel de propágulos se determina mediante un bioensayo basado en el trabajo de Plenchette et al. (1989). Las muestras de suelo proveniente de los sitios objetivos se secan al aire y luego se pasan por un tamiz de 2 mm de malla. Se realizan diluciones mezclando el suelo original en distintas proporciones (por ejemplo, 100, 30, 10 y 3%) con el mismo suelo esterilizado para proveer una escala logarítmica de concentración. Se llenan macetas plásticas con 150 ml de suelo con cada dilución y se realizan 4 repeticiones. Luego se trasplantan plántulas hospedadoras a cada maceta. Las plantas crecen en invernadero con condiciones controladas de luz y temperatura. Las plántulas se colonizarán dependiendo del nivel de inóculo de cada tratamiento de suelo. Cuatro semanas luego del trasplante las plantas son cosechadas y entonces se evalúa la colonización radical. La infectividad micorrícica del suelo se calcula utilizando un análisis de regresión y las pendientes b resultantes son comparadas utilizando la prueba LSD con una significancia del 0,05.

*V) Evaluación mediante técnicas moleculares:* durante las últimas décadas, se han desarrollado varias técnicas de metagenómica para caracterizar molecularmente comunidades completas de Glomeromycota (Borriello et al., 2012; Davison et al., 2012) o de inóculos de HMA (Berruti et al., 2013). Estas metodologías también permiten monitorear el HMA inoculado dentro de la planta huésped durante el ciclo de cultivo y verificar los niveles de colonización en las plantas inoculadas.

## Método de propagación del inóculo de HMA

Como mencionamos anteriormente los HMA son simbioses obligados y no pueden reproducirse en cultivos puros sin la presencia de plantas hospedadoras. Esta característica restrictiva hace que la producción a gran escala de inóculos constituya un complejo desafío.

Los inóculos de micorrizas pueden obtenerse a partir de tres fuentes de propágulos:

I) el suelo rizosférico de una planta que contenga HMA puede usarse como inóculo, ya que normalmente contiene fragmentos de raíces colonizadas, esporas e hifas de hongos arbusculares. Sin embargo, a menos que se disponga de información precisa sobre la abundancia, la diversidad y la infectividad de esta fuente de propágulos, los inóculos de suelo resultan poco confiables porque conllevan el posible riesgo de transferir patógenos y semillas de malezas;

II) las esporas extraídas del suelo pueden usarse para iniciar la producción de un inóculo puro o mixto. Para la producción de este inóculo es necesario que los HMA se cultiven junto a una planta trampa (es decir, una planta que puede ser colonizada masivamente por muchas especies de HMA) en un medio inerte óptimo para la propagación de estos microorganismos. Este es el tipo de inóculo más utilizado para la inoculación de cultivos a gran escala, ya que generalmente contiene un conjunto más concentrado del mismo tipo de propágulos que el que se encuentra en los inóculos del suelo;

III) los fragmentos de raíz infectados que se han separado de un cultivo o de una planta trampa también pueden servir como fuente de inóculo. Este tipo de inóculo no es recomendable debido a que puede introducir microorganismos patógenos al sistema.

El método más extendido para la propagación de HMA es el uso de plantas trampa y, solo escasamente se aplican otros métodos. Los cultivos con planta trampa pueden iniciarse a partir de alguna de las tres fuentes de propágulos antes mencionadas. Para la elaboración de una planta trampa se dispone de un recipiente (aproximadamente de 250 ml), con un sustrato estéril (con diferentes proporciones de perlita:vermiculita; suelo:arena; suelo:perlita:vermiculita, entre otros), al cual se le adicionan los propágulos fúngicos. Se introducen semillas previamente esterilizadas de una planta hospedadora para que se establezca la simbiosis y multiplicar los propágulos infectivos. Las plantas que se emplean deben ser micotróficas, tener un rápido crecimiento vegetativo, las semillas deben estar libres de patógenos y no haber sido tratadas con fungicidas. Frecuentemente se realiza un cultivo consociado de una leguminosa y una gramínea (Brundrett y Abbott, 1995).

Existen algunas otras alternativas al uso de plantas trampa en macetas. Los sistemas de cultivo sin suelo, como la aeroponía y la hidroponía, conducen a la producción de esporas puras y limpias y potencian el crecimiento de la planta huésped (Ijdo et al., 2011).

El cultivo monoxénico de raíz es otro método que permite la propagación exitosa de HMA a gran escala que se puede utilizar directamente como inóculo. El método consiste en cultivar raíces inoculadas (las llamadas raíces pilosas) que han adquirido la capacidad de proliferar sin

ninguna porción epigea, después de la transformación con el plásmido Ri (inductor de raíz) de *Agrobacterium rhizogenes* (Bécard y Fortin, 1988). Un número masivo de esporas, micelio y raíces colonizadas se obtienen en una placa de Petri en solo unos pocos meses (Declerck et al., 1998). Desafortunadamente, el protocolo solo se ha implementado para un número reducido de especies de hongos formadores de micorrizas arbusculares.

## Almacenamiento del inóculo de HMA

Al finalizar el cultivo se debe almacenar correctamente el inóculo micorrícico. Se corta la parte aérea de la planta, y el suelo se deja secar durante aproximadamente 3 semanas. Para lograr un mejor secado del suelo infectado es conveniente dejar las macetas sin regar durante 2-3 semanas en invernadero (nunca se debe aplicar calor). Cuando el suelo almacenado es húmedo (incluso con una humedad del 5%), los microorganismos del suelo y del aire (hongos y bacterias) son capaces de hiperparasitar las esporas de los HMA. El suelo con raíces se debe homogeneizar y luego el material se coloca en recipientes de plástico o vidrio y se almacena refrigerado a 8-10 °C.

Un correcto almacenamiento puede mantener vivos los aislamientos de hongos arbusculares durante 5 años. Algunos métodos para la conservación han sido descritos en la literatura (Schenck y Smith, 1982). Sin embargo, la forma más fácil de almacenar el suelo infectado con un alto número de esporas es como se mencionó anteriormente. Los métodos de secado al vacío de esporas no sólo son más complicados sino que además no resultan adecuados para todas las especies de hongos arbusculares (Toro et al., 1985).

Para evitar la pérdida de cultivos de hongos debido al almacenamiento u otros problemas, se recomienda renovarlos cada 2-3 años.

## Técnicas de inoculación de HMA

Las técnicas de inoculación con HMA están intrínsecamente relacionadas con los métodos de producción asociados a cada cultivo. En el caso de cultivos que se reproducen mediante semillas (trigo, maíz, sorgo, mijo, cebada, algodón, soja) en los que se busca inocular pequeños lotes y en los cuales no se emplea maquinaria para la siembra, el inóculo de HMA en el suelo se puede aplicar en el surco en el que se coloca la semilla. Sin embargo cuando hay que inocular grandes superficies se deberá aplicar el inoculante mediante el uso de maquinaria, en estos casos se ha probado el uso de carriers, como la arcilla expandida, para obtener un mayor volumen de inoculante. Otra posibilidad consiste en peletear las semillas con inoculante o suministrarlo al sistema mediante el riego.

En el caso de los cultivos que pasan por una etapa en vivero antes de ser trasplantados en el campo, como los hortícolas (tomates, cebollas y pimientos) y la mayoría de los árboles frutales, se pueden emplear otras estrategias para incorporar el inóculo. Las semillas y el suelo que se emplea como sustrato para las macetas se desinfectan y se les aplica un biocida para erradicar o prevenir las plagas, malezas y enfermedades. También es posible optar por sustratos artificiales libres de HMA, como vermiculita, perlita o materiales orgánicos compostados. La inoculación se realiza preinfectando las plantas en almácigos o *in vitro*, o incorporando directamente el inóculo con HMA durante la siembra, mezclado con el sustrato. En el caso que las semillas sean pregerminadas en condiciones controladas, deben trasplantarse a los contenedores y cuando desarrolla la primera hoja, las raíces de las plántulas se pueden sumergir en una suspensión de agua que contiene inóculo de HMA. Se puede, también introducir el inóculo justo en el momento del trasplante cuando se hace el orificio de plantación. Todos estos procedimientos de siembra en viveros se realizan generalmente en forma manual.

## **Desafíos relacionados con la producción y aplicación de inóculos de HMA**

Existe una creciente demanda de los productores de usar inoculantes a base de HMA como biofertilizante. Un adecuado manejo agrícola puede potenciar los efectos positivos de la simbiosis con hongos arbusculares que se establecen naturalmente en el suelo. Hasta el momento la principal estrategia para aumentar los beneficios de la asociación simbiótica es mediante la inoculación con propágulos de HMA.

No obstante la producción de inóculo de HMA puro o mixto a gran escala constituye aún un gran desafío. El principal obstáculo para la producción de un inóculo a base de estos microorganismos radica en el comportamiento simbiótico obligado de los HMA, es decir, su necesidad de tener una planta huésped para completar el crecimiento y finalización de sus ciclos de vida. Esto significa que el paso de propagación debe incluir una fase de cultivo con la planta huésped que suele requerir mucho tiempo y espacio. Otra dificultad para el uso agrícola de los HMA que podemos mencionar es la ausencia de un método rápido para evaluar si una planta está colonizada y cuál es el grado de colonización del hospedador, ya que necesitamos considerar que el proceso de colonización puede llevar de 15 - 60 días para que los hongos arbusculares completen su ciclo de vida. Cabe mencionar además que el procedimiento para obtener una gran cantidad de inóculo necesario para la aplicación a gran escala también es un proceso exigente.

Sin embargo, y considerando todas las dificultades expresadas, la inoculación con HMA resulta más adecuada para los sistemas de producción de plantas que involucran una etapa de trasplante, por ejemplo cultivos hortícolas y forestales, ya que se necesitan cantidades más pequeñas de inóculo. La inoculación extensa a campo abierto, puede por lo tanto resultar técnicamente poco práctica y económicamente prohibitiva. No obstante es importante considerar que una vez que la biodiversidad de HMA se restaura y está bien establecida, y si se implementa un manejo compatible con estos microorganismos, como la implementación de cultivos de cobertura

(Lehman et al., 2012) y prácticas de labranza conservacionista (Såle et al., 2015) la comunidad de HMA persistirá una vez establecida. Si no se llevan a cabo prácticas perjudiciales antes y después del cultivo, la red hifal micorrícica permanecerá inalterada e infecciosa en el futuro.

Como alternativa a la inoculación a gran escala, también es factible un enfoque a pequeña escala, inspirándose en la idea de crear lo que Allen (1987) ha denominado “islas de fertilidad”, en las que la inoculación con HMA podría limitarse a pequeñas porciones de un campo, y esto conduciría gradualmente al establecimiento de una red micelial saludable y con costos reducidos. Esta técnica estaría particularmente orientada a ayudar a la revegetación de una tierra degradada, como se vio en el capítulo anterior, ya que las islas de fertilidad inoculadas probablemente permitan que las especies de plantas nativas recuperen la tierra empobrecida de nutrientes más rápidamente. Por lo tanto, la restauración con HMA solo representa un costo inicial que, si la persistencia de hongos arbusculares se favorece en el suelo, podría perpetuarse con el paso de los años. Como ya se demostró (Barr, 2010), la inoculación con HMA puede ser económicamente rentable, en comparación con la fertilización convencional, proporcionando ahorros sustanciales para los agricultores y para proyectos de recuperación de tierras degradadas.

La tendencia general de las empresas productoras de inoculantes es el desarrollo de un formulado en base a solo una o unas pocas especies de HMA, que pueda ser aplicado en una amplia gama de cultivos y condiciones ambientales. Las especies de HMA que se utilizan se pueden propagar de manera rutinaria y son generalistas, ya que se encuentran en asociación con una gran variedad de plantas hospedadoras en diferentes biomas. Sin embargo los beneficios reales de los inóculos que actualmente se encuentran en el mercado no siempre son positivos. Entre estos problemas surge la necesidad de controlar la composición biológica de un producto, por ejemplo, debido a la presencia de patógenos y la posibilidad de introducir semillas de malezas, pero sobre todo la necesidad de evaluar su pureza en términos de composición de HMA. De hecho, la lista de especies declarada en la etiqueta de un inóculo comercial no siempre corresponde con precisión a su composición real. Los inóculos de HMA se producen principalmente utilizando cultivos en contenedores, ya sea en invernaderos, cámaras de crecimiento o en campos, y, como resultado, no pueden estar libres de microorganismos externos.

A partir de todo lo expuesto en el presente capítulo el empleo de biofertilizantes en base a HMA requiere de un profundo conocimiento de la biología de estos microorganismos, por lo tanto para promover el desarrollo y la mejora del mercado de inoculantes, se deberán fortalecer los vínculos entre la investigación y las empresas e introducir una serie de "mejores prácticas" que podrían adoptarse para resolver problemas relacionados con el funcionamiento de estos inóculos.

## Referencias

- Abbott, L.K., Robson, A.D. (1984). The effect of MA on plant growth. In: POWELL, C.L., BAGYARAJ, D.J. VA Mycorrhizas. UNISCIENCE, CRC Press-Florida, p. 113-130.

- Allen, M. F. (1987). Ecology of vesicular-arbuscular mycorrhizae in an arid ecosystem: use of natural processes promoting dispersal and establishment, *Mycorrhizae Decade Practical Applications and Research Priorities 7th NACOM IFAS* (Gainesville, FL), 133–135.
- Allen, M. F. (2011). Linking water and nutrients through the vadose zone: a fungal interface between the soil and plant systems: linking water and nutrients through the vadose zone: a fungal interface between the soil and plant systems. *Journal of Arid Land*, 155–163.
- Augé, R. M., Toler, H. D. y Saxton, A. M. (2015). Arbuscular mycorrhizal symbiosis alters stomatal conductance of host plants more under drought than under amply watered conditions: a meta-analysis. *Mycorrhiza*, 25, 13–24.
- Balestrini, R., Lumini, E., Borriello, R., y Bianciotto, V. (2015). Plant-soil biota interactions. En E.A. Paul (Ed), *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry*, 311–338. Londres: Academic Press; Elsevier.
- Barr, J. (2010). Restoration of plant communities in The Netherlands through the application of arbuscular mycorrhizal fungi. *Symbiosis*, 52, 87–94.
- Bécard, G., y Fortin, J. A. (1988). Early events of vesicular–arbuscular mycorrhiza formation on Ri T-DNA transformed roots. *New Phytology*, 108, 211–218.
- Bennett, A. E., Bever, J. D., y Bowers, M. D. (2009). Arbuscular mycorrhizal fungal species suppress inducible plant responses and alter defensive strategies following herbivory. *Oecologia*, 160, 771–779.
- Berruti, A., Borriello, R., Della Beffa, M. T., Scariot, V., y Bianciotto, V. (2013). Application of nonspecific commercial AMF inocula results in poor mycorrhization in *Camellia japonica* L. *Symbiosis*, 61, 63–76.
- Borriello, R., Lumini, E., Girlanda, M., Bonfante, P., y Bianciotto, V. (2012). Effects of different management practices on arbuscular mycorrhizal fungal diversity in maize fields by a molecular approach. *Biology and Fertility of Soils*, 48, 911–922.
- Brundrett, M. C., y Abbott, L. K. (1995). Mycorrhizal fungus propagules in the Jarrah forest: II. spatial variability in inoculum levels. *New Phytologist*, 131, 461–469.
- Davison, J., Öpik, M., Zobel, M., Vasar, M., Metsis, M., y Moora, M. (2012). Communities of arbuscular mycorrhizal fungi detected in forest soil are spatially heterogeneous but do not vary throughout the growing season. *PLoS ONE* 7, 8.
- Declerck, S., Strullu, D. G., y Plenchette, C. (1998). Monoxenic culture of the intraradical forms of glomus sp. Isolated from a tropical ecosystem: a proposed methodology for germplasm collection. *Mycologia*, 90, 579–585.
- Giovannetti, M. y Mosse, B. (1980). An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *New Phytologist*, 84, 489–500.
- Hildebrandt, U., Regvar, M., y Bothe, H. (2007). Arbuscular mycorrhiza and heavy metal tolerance. *Phytochemistry*, 68, 139–146.
- Ijdo, M., Cranenbrouck, S., y Declerck, S. (2011). Methods for large-scale production of AM fungi: past, present, and future. *Mycorrhiza*, 21, 1–16.

- Lehman, R. M., Taheri, W. I., Osborne, S. L., Buyer, J. S., y Douds, D. D. Jr. (2012). Fall cover cropping can increase arbuscular mycorrhizae in soils supporting intensive agricultural production. *Applied Soil Ecology*, 61, 300–304.
- Nouri, E., Breuillin-Sessoms, F., Feller, U., y Reinhardt, D. (2014). Phosphorus and nitrogen regulate arbuscular mycorrhizal symbiosis in petunia hybrida. *PLoS ONE*, 3.
- Oliveira, R. S., Vosátka, M., Dodd, J. C., y Castro, P. M. L. (2005). Studies on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi and the efficacy of two native isolates in a highly alkaline anthropogenic sediment. *Mycorrhiza*, 16, 23–31.
- Plenchette, C., Perrin, R., y Duvert, P. (1989). The concept of soil infectivity and a method for its determination as applied to endomycorrhizas. *Canadian Journal of Botany*, 67(1), 112-115.
- Pozo, M. J., y Azcón-Aguilar, C. (2007). Unraveling mycorrhiza-induced resistance. *Current Opinion in Plant Biology*, 10, 393–398.
- Säle, V., Aguilera, P., Laczko, E., Mäder, P., Berner, A., Zihlmann, U., y Oehl, F. (2015). Impact of conservation tillage and organic farming on the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi. *Soil Biology and Biochemistry*, 84, 38-52.
- Schenck, N. C., y Smith, G. S. (1982). Responses of six species of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi and their effects on soybean at four soil temperatures. *New Phytologist*, 92(2), 193-201.
- Schubert, A., Marzachi, C., Mazzitelli, M., Cravero, M. C., y Bonfante-Fasolo, P. (1987). Development of total and viable extraradical mycelium in the vesicular–arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus clarum* Nicol. & Schenck. *New Phytologist*, 107(1), 183-190.
- Smith, F. A., Jakobsen, I., y Smith, S. E. (2000). Spatial differences in acquisition of soil phosphate between two arbuscular mycorrhizal fungi in symbiosis with *Medicago truncatula*. *The New Phytologist*, 147(2), 357-366.
- Smith, S. E., y Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal symbiosis*, 3rd edn. Academic, London
- Smith, S. E., y Smith, F. A. (2012). Fresh perspectives on the roles of arbuscular mycorrhizal fungi in plant nutrition and growth. *Mycologia*, 104(1), 1-13.
- Toro, T., Galvez, A. L., y Sieverding, E. (1985). Evaluación de varias formas de almacenamiento de hongos formadores de micorriza vesiculo-arbuscular. En E.Sieverding, M. Sanchez de Prager, y O.N. Bravo (Eds.) *Investigaciones sobre Micorrizas en Colombia*, 224-236. Universidad Nacional de Colombia, Facultas de Ciencias Agropecuarias: Palmira.
- Wang, B., y Qiu, Y. L. (2006). Phylogenetic distribution and evolution of mycorrhizas in land plants. *Mycorrhiza*, 16, 299-363.

# Los autores

## Coordinadores

### **Saparrat, Mario Carlos Nazareno**

Dr. en Ciencias Naturales, Lic. en Biología orientación Botánica, Fac. de Cs. Naturales y Museo, Universidad Nacional de la Plata (UNLP). Profesor Titular UNLP en la Cátedra de Botánica Sistemática I (Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP).y Profesor Adjunto UNLP en la Cátedra Microbiología Agrícola (Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP). Docente Investigador UNLP Categoría II. Investigador Independiente CONICET en el Instituto de Fisiología Vegetal INFIVE CONICET-UNLP. Especialista en Docencia Universitaria, UNLP. Vicepresidente de la Asociación Micológica Carlos Spegazzini. Editor Asociado de Darwiniana Nueva Serie. Coordinador de la Comisión Asesora Honoraria de Ciencias Agrícolas, Producción y Salud Animal de la CICPBA.

Mail: [masaparrat@fcnym.unlp.edu.ar](mailto:masaparrat@fcnym.unlp.edu.ar)

### **Ruscitti, Marcela**

Ingeniera Forestal de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCAyF) de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Máster en Gestión y Planificación del Medio Ambiente y los Recursos Naturales de la Universidad Politécnica de Madrid (UPM), Doctora de la Facultad de Ciencias Exactas, área Ciencias Biológicas (UNLP). Jefe de trabajos prácticos del curso de Fisiología Vegetal de la FCAyF – UNLP. Profesor Adjunto del curso de Fisiología Vegetal, Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales, Universidad Nacional del Noroeste de la provincia de Buenos Aires (ECANA – UNNOBA). Docente Investigador categoría II del Programa de Incentivos UNLP. Directora de Proyectos de Investigación que estudian la participación de las micorrizas arbusculares asociadas a distintas especies vegetales, en situaciones de estrés biótico y abiótico. Directora de tesis de grado y de posgrado en la temática del uso de bioinsumos (micorrizas arbusculares, hongos nematófagos, trichoderma, bacterias) y biotécnicas (fitorremediación) como alternativa sustentable de producción en situaciones de estrés.

Mail: [marcelaruscitti@gmail.com](mailto:marcelaruscitti@gmail.com)

### **Arango, María Cecilia**

Ingeniera Agrónoma de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCAyF) de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Magister en Protección Vegetal (FCAyF, UNLP). Jefa de trabajos prácticos ordinaria del curso Bioquímica y Fitoquímica de las carreras de Ingeniería Agronómica y Forestal, UNLP. Docente-investigadora del Departamento de Ciencias Exactas de la FCAyF, en el área de Fisiología y Bioquímica Vegetal. Co-Director del proyecto perteneciente al programa de incentivos de la UNLP “Sustentabilidad de sistemas productivos intensivos. Prácticas de bajo impacto ambiental para disminuir el efecto del estrés biótico y abiótico”.

Mail: mcecilia\_arango@hotmail.com.ar

## **Autores**

### **Abarca, Camila**

Licenciada en Biología orientación Botánica, FCNyM, UNLP. Ayudante Diplomada en Botánica Sistemática II, FCNyM, UNLP. Becaria Doctoral CONICET.

Mail: camila.abrc@gmail.com

### **Balatti, Pedro Alberto**

Ph.D. Plant Pathology, University of Missouri, Columbia, USA. Ingeniero Agrónomo, Fac. Cs. Agrarias y Forestales, UNLP. Profesor Titular Ordinario en la Fac. de Cs. Agrarias y Forestales, UNLP, en las Cátedras: Microbiología Agrícola y Fitopatología. Docente Investigador UNLP Categoría I. Investigador Principal de la Comisión de Investigaciones Científicas de la Provincia de Buenos Aires (CICPBA). Vicepresidente de la CICPBA. Director Interino del Centro de Investigaciones en Fitopatología CIDEFI, UNLP-CICPBA. Miembro titular de la Comisión de Extensión e Investigación de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la UNLP (Periodo 2018-2022).

Mail: pbalatti@gmail.com

### **Bernardo, Valeria**

Ingeniera Agrónoma de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCAyF) de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Becaria doctoral de la Comisión de Investigaciones Científicas (CICBA). Desarrolla su trabajo en el Instituto de Fisiología Vegetal (INFIVE-CONICET-UNLP) y su tema de investigación es sobre el uso de bioinsumos (micorrizas arbusculares, hongos nematófagos, bacterias) como alternativa sustentable de producción en situación de estrés en cultivos hortícolas causado por nematodos fitoparásitos. Participa de proyectos de investigación, actividades de capacitación y extensión y en la formación de recursos humanos.

Mail: valebernardo35@gmail.com

**Colombo, Roxana Paula**

Licenciada en Cs Biológicas, FCEyN, UBA. Doctora de la Universidad de Buenos Aires en Cs. Biológicas. Investigadora asistente CONICET. Lugar de trabajo en el Laboratorio de Microbiología del Suelo, FCEyN, UBA. Jefa de trabajos prácticos (PRIDIUN) del Dep de Biodiversidad y Biología Experimental, FCEyN, UBA. Ayudante en la materia “Gestión y recuperación de suelos”, Lic en Cs Ambientales, UNDAV. Arbuscular Mycorrhizal Fungal Association in Genetically Modified Drought-Tolerant Corn. (J env qual 2016). Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in soil from the Pampa Ondulada, Argentina, assessed by pyrosequencing and traditional techniques. (Can J microbiol 2014). Differential effects of two strains of Rhizophagus intraradices on dry biomass and essential oil yield and composition in *Calamintha nepeta* (Rev argent microbiol 2013). Investigador responsable del PICT (AN-PCyT): Consorcios planta-HMA para biorremediación de suelos.

Mail: roxanacolombo@hotmail.com

**Elíades, Lorena Alejandra**

Licenciada en Biología orientación Ecología, FCNyM, UNLP. Doctora en Cs. Naturales, FCNyM. Ayudante Diplomada Botánica Sistemática I, FCNyM, UNLP. Docente-Investigadora categoría III, UNLP. Investigadora Adjunta CONICET. Vicedirectora Instituto de Botánica Spegazzini, FCNyM, UNLP, CIC. Alkalophilic and alkali-tolerant soil fungi from *Celtis tala* and *Scutia buxifolia* forests in eastern Buenos Aires province (Argentina) 2011, Preliminary data on growth and enzymatic abilities of soil fungus *Humicolopsis cephalosporioides* at different incubation temperatures 2015, Combinación de hongos movilizadores y solubilizadores de P con rocas fosfóricas y materiales volcánicos (cenizas y pumicitas) para la promoción de crecimiento de plantas de Lechuga (*Lactuca sativa* L.) 2017

Mail: lorenaeliades@yahoo.com

**Garita, Sebastián Andrés**

Ingeniero Agrónomo de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCAyF) de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP), Magister en Fitotecnia por la Universidade Federal do Ceará. Docente adscripto en el curso de fisiología vegetal de FCAyF-UNLP y becario doctoral del CONICET. Sus trabajos de investigación se focalizan en el uso de microorganismos como controladores biológicos y atenuantes del estrés biótico en plantas. Participa de proyectos de investigación, actividades de capacitación y extensión y en la formación de recursos humanos.

Mail: sebastiangularita@hotmail.com

**Gonzalez, Matias**

Ingeniero Agrónomo de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCAyF) de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Ayudante Ad-Honorem del curso de Fisiología Vegetal y del curso de Fruticultura de la FCAyF – UNLP. Becario doctoral de temas estratégicos del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET). Desarrolla su trabajo en el Instituto de Fisiología Vegetal (INFIVE-CONICET-UNLP) y su tema de investigación es el estudio de especies nativas para su utilización en programas de fitorremediación de suelos contaminados con

metales pesados con fines agrícolas. Participa de proyectos de investigación, actividades de capacitación y extensión y en la formación de recursos humanos.

Mail: magonzalez921994@gmail.com

### **Pastorino, Graciela Noemí**

Ingeniera Agrónoma, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCAyF), UNLP. Magister en Biotecnología, Facultad de Farmacia y Bioquímica (FFyB), UBA. Doctora en Ciencias Naturales, Facultad de Cs Naturales y Museo (FCNyM), UNLP. Ayudante Diplomada de Microbiología Agrícola, FCAyF, UNLP. Docente-investigadora del Departamento de Ciencias Biológicas, FCAyF. Especialista en Docencia Universitaria, UNLP. Área de investigación-extensión: Microorganismos Promotores del Crecimiento Vegetal (micorrizas, rizobios, endófitos).

Mail: gnpastorino@gmail.com

### **Ripodas, Juan Ignacio**

Ingeniero Agrónomo de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales (FCAyF) de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP). Becario Doctoral de UNLP. Desarrolla su trabajo en el Instituto de Fisiología Vegetal (INFIVE-CONICET-UNLP) y su tema de investigación abarca la Fisiología del estrés biótico y abiótico en plantas y el uso de bioinsumos (micorrizas arbusculares) y aceites esenciales de plantas aromáticas como alternativas de bajo impacto ambiental.

Mail: juanripodas7@gmail.com

### **Silvani, Vanesa Analía**

Doctora de la Universidad de Buenos Aires (Cs. Biológicas), UBA. Lic. Ciencias Biológicas, FCEN, UBA. Docente Dpto. Biodiversidad y Biología Experimental, FCEN, UBA. Inv. Adjunta del CONICET. Curadora del Banco de Glomeromycota In Vitro. Arbuscular mycorrhizal fungal diversity in high-altitude hypersaline Andean wetlands studied by 454-sequencing and morphological approaches (2016) Symbiosis. Growth dynamics of geographically different arbuscular mycorrhizal fungal isolates belonging to the '*Rhizophagus* clade' under monoxenic conditions (2014) Mycologia. The thalloid liverwort *Plagiochasma rupestre* supports arbuscular mycorrhiza-like symbiosis *in vitro* (2012) WJ Microbiol Biotechnol. Inv. Responsable PICT (ANCYPT): Micorriza Arbuscular en antigua mina "Paramillos de Uspallata". Biorremediación de suelos. Inv. colaboradora (UBACYT): Inoculación de semillas con consorcios microbianos seleccionados. Biofertilizantes.

Mail: vanesasilvani@gmail.com

### **Valdés, Fabricio Emanuel**

Licenciado en Biología Orientación Botánica, FCNyM, UNLP. Doctorando de Ciencias Naturales. "Caracterización de la estructura y diversidad de las comunidades de Hongos y Briofitas asociados a los distintos ambientes en la Reserva Natural Punta Lara". Instituto Spegazzini, FCNyM, UNLP. Ayudante Colaborador, Introducción a la Botánica, FCNyM, UNLP.

Mail: iam.rondii@gmail.com

### **Velázquez, María Silvana**

Dra. En Ciencias Naturales, FCNyM, UNLP. Ayudante diplomado de Botánica Sistemática I FCNyM, UNLP. Investigadora Adjunta CONICET. **Velázquez S.** & Cabello M. 2011. Occurrence and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in trap cultures from El Palmar National Park soils. *European Journal of Soil Biology*. 47: 230-235. **Velázquez S.**, Cabello M. & Barrera M. Composition and structure of arbuscular-mycorrhizal communities in El Palmar National Park, Argentina. *Mycologia*. 105(3): 509-520. 2013. **Velázquez M.S.**, Fabisik J.C., Abarca C.L., Allegrucci N., Cabello M. Colonization dynamics of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in *Ilex paraguariensis* crops: Seasonality and influence of management practices. 2018. *Journal of King Saud University – Science*. doi.org/10.1016/j.jksus.2018.03.017

Mail: mariasilvanavelazquez@gmail.com

Micorrizas arbusculares : biología y aplicaciones en el sector agro-forestal / Mario Carlos Nazareno Saparrat... [et al.] ; coordinación general de Mario Carlos Nazareno Saparrat ; Marcela Ruscitti ; María Cecilia Arango. - 1a ed.-  
La Plata : EDULP, 2020.  
Libro digital, PDF - (Libros de cátedra)

Archivo Digital: descarga  
ISBN 978-987-8348-41-4

1. Biología del Suelo. I. Saparrat, Mario Carlos Nazareno, coord. II. Ruscitti, Marcela, coord. III. Arango, María Cecilia, coord.  
CDD 578.757

Diseño de tapa: Dirección de Comunicación Visual de la UNLP

Universidad Nacional de La Plata – Editorial de la Universidad de La Plata  
48 N.º 551-599 / La Plata B1900AMX / Buenos Aires, Argentina  
+54 221 644 7150  
edulp.editorial@gmail.com  
www.editorial.unlp.edu.ar

Edulp integra la Red de Editoriales Universitarias Nacionales (REUN)

Primera edición, 2020  
ISBN 978-987-8348-41-4  
© 2020 - Edulp

**n**  
naturales

  
Edulp  
EDITORIAL DE LA UNLP



UNIVERSIDAD  
NACIONAL  
DE LA PLATA