

LA DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LOS HONGOS DE MICORRIZA ARBUSCULAR:  
UNA PRIORIDAD DE INVESTIGACIÓN EN LA AMAZONÍA PERUANA

*Pedro O. Ruiz\**, *Krystel C. Rojas\*\** y *Ewald Sieverding\*\*\**

**RESUMEN**

En los diferentes ecosistemas de la Amazonía peruana, las raíces de la gran mayoría de plantas forman una simbiosis de tipo mutualista con hongos de micorriza arbuscular (HMA). Se conoce que estos hongos constituyen un componente clave para el funcionamiento eficiente de los bosques, principalmente por dar a las plantas una mayor capacidad para absorber fósforo y agua del suelo, ayudar en la agregación de las partículas del suelo dándole mayor estabilidad y contribuir con el almacenamiento de carbono en el suelo a través de la producción de glomalina. Por otro lado, en la Amazonía del Perú existen siete tipos de suelos dominantes, de los cuales los Ultisoles ocupan aproximadamente el 65% del total, equivalentes a 49,7 millones de hectáreas, que se caracterizan por ser deficientes en fósforo. En estudios realizados en bosques en las localidades de Yurimaguas y Pucallpa, donde prevalece este tipo de suelos, se ha encontrado la presencia de HMA, asociados con la mayoría de especies vegetales nativas, lo que indica su importancia para el crecimiento y desarrollo de estas. Sin embargo, cuando se evalúan las pérdidas de la biodiversidad causadas principalmente por la deforestación se toman solo en cuenta a las especies de flora y de fauna y no se considera a la biota del suelo, incluyendo a los HMA, como si esta no tuviera relevancia en el funcionamiento de los bosques. Por otro lado, la distribución geográfica de las poblaciones de HMA es muy variable, tal como se ha descubierto en los estudios realizados que corroboran descubrimientos hechos en la Amazonía de Colombia y Brasil, de que la biota que podría estar perdiéndose por prácticas poco conservadoras de manejo y explotación. Se discuten las posibles causas de estos hallazgos y los efectos de la deforestación en las poblaciones de estos hongos y se presenta a la investigación en cuanto a la distribución geográfica de los HMA como una prioridad en la Amazonía peruana, especialmente dirigida a su utilización en programas de reforestación y recuperación de áreas degradadas con especies nativas en las diferentes áreas deforestadas de la Amazonía.

*Palabras clave:* biota, suelos, deforestación, bioinoculantes.

---

\* Agroselva Perú S.R.L. Pucallpa, Ucayali. Perú. [ljwruiz@yahoo.com](mailto:ljwruiz@yahoo.com)

\*\* Agroselva Perú S.R.L. Pucallpa, Ucayali. Perú. [kcmego@hotmail.com](mailto:kcmego@hotmail.com)

\*\*\* Institute of Plant Production and Agroecology in the Tropics and Subtropics. University of Hohenheim, Stuttgart, Germany. [sieverding@aol.com](mailto:sieverding@aol.com)

## **Geographical distribution of arbuscular mycorrhizal fungi: a research priority in the Peruvian Amazon**

### **Abstract**

In the different ecosystems of the Peruvian Amazon, roots of the great majority of plants form a symbiotic mutualistic association with arbuscular mycorrhizal fungi (AMF). It is known that these fungi constitute a key component for the efficient functioning of forests mainly due to giving plants a greater capacity to take up phosphorus and water from soil, helping in the aggregation of soil particles and soil stabilization and contributing to storage of carbon in soil through the production of glomalin. Furthermore, in the Amazon exists seven different soil types of which Ultisols are predominant which occupy approximately 65% of the total, equivalent to 49.2 million hectares, and characterized mostly to be deficient in phosphorus. Studies conducted in amazonian forests in Yurimaguas and Pucallpa, where Ultisols are prevalent, most native plant species were found to be associated with AMF indicating the importance of the fungi for the growth and development of these plants. However, when biodiversity losses mainly due to deforestation are recorded only plant and animal species are taken into account, as if the soil biota including AMF had no relevance in ecosystem functioning. On the other hand, the studies above mentioned, also showed that geographical distribution of AMF populations are highly diverse, corroborating findings in the Colombian and Brazilian Amazon. Possible causes of these findings and effects of deforestation on AMF populations are discussed. Research on geographical distribution of AMF populations are presented as a priority for the Peruvian Amazon, particularly directed to the use of AMF on reforestation and recovering of degraded land programs using native plant species in the different deforested areas in the Amazon.

*Keywords:* soils, soil biota, deforestation, bioinoculants.

### **INTRODUCCIÓN**

Entre los organismos del suelo, los miembros del reino Fungi representan un componente principal de la biomasa total del suelo. Ellos están involucrados en procesos del ecosistema tales como la descomposición de la hojarasca (Shanti y Vittal, 2010), la amonificación del nitrógeno orgánico y la nitrificación (Bernhard, 2010; Hora e Iyengar 1960), la solubilización de fosfatos mediante la excreción de ácidos orgánicos (Kucey, 1983) y de sideróforos de hierro (Winkelmann, 2007), la influencia en la estructura del suelo (Rillig y Mummey, 2006) y el almacenamiento de carbono en el suelo (Wright y Upadyayha, 1998). A pesar de los roles que cumplen, los hongos han recibido muy poca atención en las discusiones sobre biodiversidad, aun cuando ellos están considerados como el segundo grupo más grande de organismos después de los insectos (Hawksworth, 2001). Estimados basados en la proporción plantas vasculares/hongos en diferentes regiones del mundo indican que pueden existir cerca de 1,5 millones de especies fungosas. Este estimado se puede considerar conservador ya que los hongos asociados con insectos no están plenamente representados y la proporción

planta/hongo es derivada principalmente de las regiones templadas del norte. En algunas partes del mundo virtualmente no se han muestreado hongos y se espera que en las regiones tropicales constituyan una rica fuente de especies nuevas. Entre los hongos asociados a las plantas vasculares, aquellos que forman micorriza arbuscular (HMA) son los organismos más ubicuos en todo el ecosistema terrestre, formando asociaciones micorrícicas arbusculares con las raíces de las plantas.

En el presente artículo se muestra una descripción de esta asociación y la actual sistemática del componente fúngico. Se presenta también una lista preliminar de las únicas especies hasta ahora identificadas en la Amazonía peruana y posiblemente en el país. Asimismo, se discuten las implicaciones en cuanto a su significado para los ecosistemas amazónicos, las causas principales que afectan su supervivencia, y su empleo en programas de reforestación y recuperación de áreas degradadas utilizando especies nativas en las diferentes áreas deforestadas de la Amazonía. También se presenta la situación actual sobre el conocimiento de las micorrizas en la Amazonía y se proponen algunas acciones inmediatas, priorizándose la investigación en cuanto a la identificación de las especies de HMA nativas y su distribución geográfica en el ámbito amazónico.

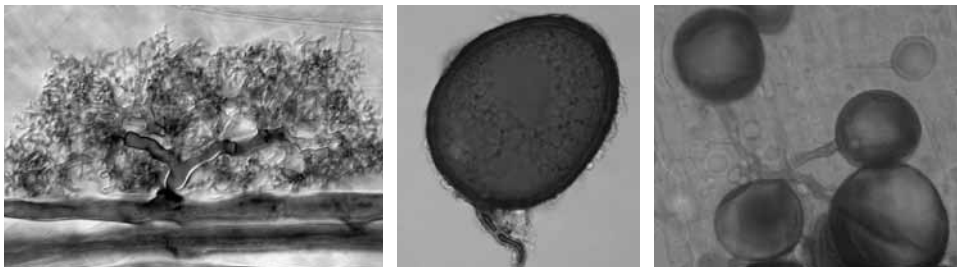
## **1. HONGOS DE MICORRIZA ARBUSCULAR (HMA)**

Entre las diversas simbiosis de tipo parásito y de tipo mutualista formados entre plantas y microorganismos, la que establecen las raíces de las plantas y los HMA es la asociación mutualista más común encontrada en los ecosistemas naturales y en los agroecosistemas. La evidencia de los registros fósiles (Pirozynski, 1981), la biología molecular (Simon, Bousquet, Lévesque y Lalonde, 1993) y de los análisis filogenéticos (Morton, 2000) colocan el origen de estos hongos y por consiguiente de la simbiosis, hace 353-462 millones de años durante el periodo Devoniano, consistente con la hipótesis de que los HMA fueron instrumentos de la colonización de la tierra por las plantas antiguas. Esta historia, asociada con la falta de especificidad de hospederos, resultó en un patrón de distribución de estos hongos a través de las comunidades de plantas, rivalizada solo por las bacterias. Entonces, esta asociación puede ser detectada en las raíces de las Pteridofitas, Gimnospermas y Magnoliofitas y en la mayoría de ecosistemas naturales tales como las dunas de arena, bosques tropicales, desiertos, sabanas, praderas, así como en los agroecosistemas (cultivos anuales, frutales, pasturas, etcétera) y en tierras degradadas.

Los HMA son simbiosis obligados ya que para completar su ciclo de vida deben estar asociados con raíces vivas que las provean de carbono así como de los factores necesarios para su desarrollo y esporulación. Dentro de la corteza de la raíz y expandiéndose hacia el suelo, los HMA forman estructuras con distintas funciones simbióticas.

Los arbusculos son estructuras características, únicas en los HMA. Consisten en hifas altamente ramificadas que se desarrollan entre la pared celular y la membrana plasmática de las células y son las responsables del intercambio de nutrientes entre los simbioses. Las vesículas son estructuras globosas que contienen lípidos y gránulos de glicógeno que sirven como un órgano de reserva para el hongo. Estas pueden estar formadas dentro o entre las células de la corteza y están diferenciadas solo entre los miembros de los Glomerales y Diversisporales (Oehl et al., 2011a). Las células auxiliares también sirven como órganos de reserva pero estas se forman fuera de las raíces solamente en miembros del orden Gigasporales. Las hifas intra- y extra radicales y el micelio son importantes para establecer asociaciones micorrícicas nuevas y para buscar y tomar los nutrientes del suelo y para impulsar la agregación de las partículas del suelo. Las esporas asexuales formadas por los HMA están relacionadas con la dispersión y supervivencia de los hongos. Ellas son las esporas fúngicas del suelo más grandes (entre 145 y 800 $\mu$ ), con colores que varían desde el hialino y amarillo pálido hasta el marrón, rojizo y negro. La estructura de las paredes de la espora, que puede ser lisa u ornamentada, junto con la ontogenia de las esporas, forman una base para la identificación de estos hongos, en caso que la información genética generada con métodos moleculares no esté disponible.

Figura 1. Estructuras de los hongos de micorriza arbuscular. Arbusculo, espora de *Glomus* sp. y vesículas en raíces de capirona (*Calycophyllum spruceanum*)



Fuente: Brundrett *et al.*, 1994; Ruiz y Rojas, 2011.

Las micorrizas arbusculares cumplen una función vital en los ecosistemas, originando múltiples efectos positivos para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Smith y Read, 2008):

1. Aumentan la capacidad de absorción de fósforo y nutrientes de lenta difusión en el suelo reduciendo su dependencia a fertilizantes.
2. Aumentan la tolerancia a periodos de sequía y al déficit hídrico.

3. Aumentan la tolerancia al aluminio, a la toxicidad por metales pesados y contaminantes orgánicos.
4. Potencialmente incrementan el crecimiento de la planta y la uniformidad en cultivos.
5. Actúan sinérgicamente con bacterias fijadoras de nitrógeno y microorganismos solubilizadores de fósforo, estableciéndose una relación tripartita.
6. Aumentan la tolerancia de las raíces a patógenos del suelo (nematodos, *Fusarium oxysporum*, *Rhizoctonia solani* y otros).
7. Aumentan la agregación del suelo mejorando su estructura mediante la producción de glomalina, glicoproteína que actúa como un pegante natural de las partículas del suelo. Además, la glomalina constituye un componente importante de la materia orgánica del suelo y es clave para el almacenamiento de carbono en el suelo.
8. Funcionan como un mecanismo de restauración ecológica de los suelos.
9. Aumentan la biodiversidad vegetal en el ecosistema como producto de la biodiversidad de especies de HMA.

Basado en la multitud de roles que los HMA juegan en el sistema suelo-planta, la asociación micorrícica ha sido vista recientemente como multifuncional (Newsham, Fitter y Watkinson, 1995) y un importante indicador para asesorar la calidad del suelo (Kling y Jakobsen, 1998). Además, ya que la asociación representa un importante lazo entre la porción biótica del ecosistema y la matriz geoquímica, los HMA pueden afectar procesos de alto nivel en el ecosistema. Las especies de HMA representan un grupo clave de los organismos del suelo que potencialmente pueden afectar la productividad de las plantas, la biodiversidad sobre el suelo y las características bióticas y abióticas relacionadas con la sostenibilidad del ecosistema.

## 2. TAXONOMÍA DE LOS HMA

El análisis de la biodiversidad y de los patrones de distribución de las especies para cualquier grupo de organismos necesita primeramente el establecimiento de un marco taxonómico. La sistemática de los hongos que forman micorriza arbuscular (HMA) ha cambiado drásticamente en los últimos quince años, especialmente en los más recientes. Los estudios de la ontogenia de las esporas y en el uso de herramientas moleculares asociadas con caracteres morfológicos han resultado en nuevos taxones. La primera clasificación linneana de los HMA establecida por Gerdemann y Trappe (1974) incluyó todas las especies descritas en la familia Endogonaceae (división Zygomycota, orden Endogonales). La identificación de los HMA y la descripción de las especies estuvo

basada en el tamaño y el color de esporocarpos y esporas y en el análisis de las paredes fenotípicamente distintas de las esporas asexuales (Morton, 1986). Morton y Benny (1990) propusieron una nueva clasificación de los HMA basados en el análisis cladístico de 57 especies de HMA, para lo que usaron caracteres morfológicos de las esporas y la morfología micorrícica. En esta clasificación, todas las especies de HMA formaban un grupo monofilético definido por el establecimiento de la simbiosis mutualista y por la producción de arbusculos intrarradiculares altamente ramificados. El orden Glomerales fue erigido para incluir todas las especies de HMA en tres distintas familias: Acaulosporaceae (géneros Acaulospora y Entrophospora), Glomeraceae (géneros Glomus y Sclerocystis) y Gigasporaceae (géneros Gigaspora y Scutellospora). Estudios posteriores fueron conducidos para determinar el origen y los caracteres subcelulares de esporas individuales usados para limitar e identificar las especies.

Más recientemente, el uso de herramientas moleculares —incluyendo el análisis de ADN ribosomal de especies seleccionadas— resultó en un nuevo cuadro complementario de la sistemática de HMA a nivel de género, familia y niveles más altos de la jerarquía taxonómica Redecker *et al.*, (2000). La clasificación de los HMA experimentó grandes cambios después que el análisis molecular filogenético basado en secuencias SSU rRNA conducidas por Schüßler, Schwarzott y Walker (2001). Como resultado, los HMA fueron removidos del polifilético Zygomycota y puestos en un nuevo grupo monofilético, los Glomeromycota. Este cambio puso a este grupo de organismos al mismo nivel de los grupos clásicos Basidiomycota y Ascomycota. Schüßler, Schwarzott y Walker (2001) también propusieron tres nuevos órdenes y varias familias separadas del anterior Glomerales. La congruencia en los grupos de datos bioquímicos y moleculares podrían proveer un entendimiento más refinado de las relaciones filogenéticas entre los HMA. Se adopta el reconocimiento de la nueva división dada por Schüßler, Schwarzott y Walker (2001).

Nuevos estudios donde las especies de los órdenes Glomerales y Diversisporales (Glomeromicetos) se reorganizaron sobre la base de una secuencia ribosomal combinada y análisis morfológicos dieron lugar a una nueva clasificación de los HMA, de tal forma que actualmente el phylum Glomeromycota incluye 3 clases, 5 órdenes, 14 familias y 26 géneros (Oehl *et al.*, 2011 a, b) (cuadro 1).

**Cuadro 1. Clasificación actual de los Glomeromycota**

CLASE	ORDEN	FAMILIA	GENERO
Glomeromicetos	Glomerales	Glomeraceae	Glomus
			Funneliformis
			Simiglomus
			Septoglomus
	Diversisporales	Claroideoglomeraceae	Claroideoglomus
			Viscospora
		Diversisporaceae	Diversispora
			Redeckera
			Otospora
		Entrophosporaceae	Entrophospora
		Acaulosporaceae	Acaulospora
			Kuklospora
			Pacisporaceae
		Gigasporales	Gigasporaceae
Scutellosporaceae	Scutellospora		
	Orbispora		
Racocetraceae	Racocetra		
	Cetraspora		
Dentiscutataceae	Dentiscutata		
Archaeosporales	Archaeosporaceae	Archaeospora	
		Intraspora	
		Ambisporaceae	Ambispora
Paraglomeromicetos	Paraglomerales	Geosiphonaceae	Geosiphon
		Paraglomeraceae	Paraglomus

Fuente: Oehl *et al.*, 2011a)

### 3. LA INVESTIGACIÓN SOBRE LOS HMA EN LA AMAZONÍA PERUANA

La investigación sobre micorrizas en bosques tropicales tiene una larga historia. Un artículo escrito por Janse (1896) fue publicado once años después que el artículo de Frank (1885), quien acuñó la palabra 'micorriza'. Este trabajo contiene no solamente algunas de las primeras descripciones exactas de micorrizas arbusculares, orquidáceas y ericoides, sino también descripciones detalladas de plantas micoheterotróficas orquidáceas y no orquidáceas. Aun en los tiempos de Janse fue aparente la presencia de muchas y variadas interacciones micorrícicas de especies coexistentes, pero filogenéticamente distantes, de bosques tropicales.

Inexplicablemente, dada la importancia ecológica y económica de los bosques tropicales y el probable rol de las micorrizas en el mantenimiento de su biodiversidad y productividad, las micorrizas de las especies de bosques tropicales no atrajeron mucha atención en los siguientes cien años. Aun en este siglo, solo 170 de los 5600 artículos publicados sobre micorrizas entre los años 2000 y 2008 se refieren explícitamente a los bosques tropicales (Alexander y Selosse, 2009). Sin embargo, las cosas podrían cambiar en tanto que la atención de los investigadores en micorrizas cambien, aunque tardíamente, debido a las amenazas a la biodiversidad en los bosques tropicales, su importancia en el entendimiento de la biogeografía de los HMA y su rol fundamental en el ciclo de carbono de la tierra y en el sistema climático (Gilbert y Strong, 2007).

En la Amazonía peruana, la investigación sobre los HMA también ha seguido un patrón similar y en las últimas décadas son muy escasos los artículos publicados al respecto (Ruiz, 1992; Ruiz, 1994; Ruiz y Davey, 2005; Ruiz, Meza y Rojas, 2010), considerando que la mayoría de las especies en los bosques amazónicos tienen una asociación simbiótica mutualista con estos hongos.

En estudios realizados en bosques de tres localidades de la Amazonía peruana —en Yurimaguas (Loreto) y en Shambillo y Nueva Requena (ambos en Ucayali)— se encontró una gran diferencia entre las comunidades de HMA existentes en cada lugar (ver cuadro 2). Se identificaron quince especies en Yurimaguas, catorce en Shambillo y dieciséis en Nueva Requena. Es obvio en el cuadro 2 que varias especies faltan ser identificadas y probablemente se trata de especies hasta el momento desconocidas, no descritas todavía. Solamente se encontró *Paraglomus occultum* en las tres localidades. *Glomus microaggregatum* fue común para las localidades de Yurimaguas y Shambillo. Las especies *Diversispora spurca* e *Intraspora schenckii* fueron comunes para las localidades de Shambillo y Nueva Requena. Estas diferencias pueden estar relacionadas con las características químicas de los suelos, particularmente la acidez y el contenido de nutrientes. Asimismo, la precipitación pluvial (2200 mm, 1900 mm y 3700 mm para Yurimaguas, Nueva Requena y Shambillo, respectivamente). Además, la composición florística en cada localidad pudo haber influido también en la ocurrencia de las especies de HMA (Wubet, Kottke



y Oberwinkler, 2008). Estudios realizados en bosques tropicales de Panamá muestran evidencias de que las interacciones HMA-planta en los trópicos es específica para las especies y que estas interacciones son importantes para moldear las comunidades tanto de las especies arbóreas como de las especies de HMA (Mangan, 2008). Aldrich-Wolfe (2008) encontró asimismo que la composición de la comunidad de HMA entre un bosque y una pastura en áreas adyacentes en Coto Brus, Costa Rica era diferente y que al utilizar suelo de cada área para inocular plántulas de *Terminalia amazonia*, la colonización y la supervivencia de plantas fue mayor cuando usó el suelo de bosque como inoculante.

**Cuadro 2. Especies nativas de hongos de micorriza arbuscular en tres localidades de la Amazonía peruana**

Especies nativas de HMA en suelos de la Amazonía peruana		
Yurimaguas (Loreto)	Shambillo (Ucayali)	Nueva Requena (Ucayali)
<i>Ambispora callosa</i>	<i>Glomus brohultii</i>	<i>Glomus coremioides</i>
<i>Gl. clarum</i>	<i>Glomus</i> sp. 3*	<i>Gl. diaphanum</i>
<i>Gl. inermayanum</i>	<i>Glomus</i> sp. 4*	<i>Gl. microaggregatum</i>
<i>Gl. microaggregatum</i>	<i>Glomus</i> sp. 5*	<i>Gl. rubiforme</i>
<i>Gl. microcarpum</i>	<i>Septoglomus deserticola</i>	<i>Gl. sinuosum</i>
<i>Glomus</i> sp.*	<i>Acaulospora longula</i>	<i>Glomus</i> sp. 1*
<i>Paraglomus occultum</i>	<i>Archaeospora trappei</i>	<i>Glomus</i> sp. 2*
<i>Acaulospora foveata</i>	<i>Archaeospora</i> sp.*	<i>Acaulospora</i> sp.
<i>A. spinosa</i>	<i>Claroideoglomus luteum</i>	<i>Ambispora</i> sp.
<i>A. tuberculata</i>	<i>Diversispora spurca</i>	<i>Claroideoglomus</i> sp. 1*
<i>Gigaspora decipiens</i>	<i>Diversispora</i> sp.*	<i>Claroideoglomus</i> sp. 2*
<i>G. gigantea</i>	<i>Intraspora schenckii</i>	<i>Claroideoglomus</i> sp. 3*
<i>Racocetra castaneaish</i>	<i>Kuklospora colombiana</i>	<i>Diversispora spurca</i>
<i>Dentiscutata heterogama</i>	<i>Paraglomus occultum</i>	<i>D. eburnea</i>
<i>Scutellospora</i> sp.*		<i>Intraspora schenckii</i>
		<i>Paraglomus occultum</i>

Fuente: Ruiz, 1992, Proyecto MICOSAF Ucayali, 2011.\*Las especies marcadas son aquellas que han sido identificadas. Hay un número que todavía falta identificar.

Los resultados obtenidos sugieren que la distribución geográfica de las comunidades de HMA en la Amazonía es muy variable. Hasta ahora no se sabe qué factores están influyendo en la diversidad y la composición de las especies de HMA. Pueden estar influenciadas por el tipo de suelo, las condiciones climáticas y la composición florística de cada lugar en particular. Entonces, así como estas características varían de lugar a lugar, es de esperarse que la distribución geográfica de las comunidades de HMA también varíe. Ese hecho constituye un factor determinante para la generación de tecnologías basadas en el uso de inoculantes de HMA en programas de rehabilitación de áreas degradadas y erosionadas, en la revegetación de áreas severamente intervenidas y en el desarrollo

de plantaciones agroindustriales. La identificación de especies nativas de HMA y su distribución geográfica constituye el paso inicial para generar tecnologías con base en el uso de estos hongos. Varios países con ambientes tropicales, como nuestros vecinos amazónicos Brasil y Colombia, llevan entre 25 y 30 años investigando este tema y en la actualidad ya presentan importantes avances en relación con la distribución geográfica de las poblaciones de HMA en sus países (Peña-Venegas et al., 2006; Stürmer y Siqueira, 2006).

**Cuadro 3. Características químicas de los suelos de tres localidades de la Amazonía peruana**

Lugar	pH	Ca	Mg	K	CEC	P
		cmol / L				ppm
Yurimaguas (Loreto)	4,6	0,7	0,19	0,11	2,2	6,4
Shambillo (Ucayali)	4,1	0,9	0,23	0,46	12,0	3,9
Nueva Requena (Ucayali)	5,3	20,7	5,35	1,18	38,4	2,1

Fuente: Proyecto MICOSAF, Ucayali, 2011.

#### 4. SUELOS DE LA AMAZONÍA PERUANA

Resulta importante también considerar que en la Amazonía peruana alrededor del 65% de los suelos están clasificados como Ultisoles, los que se caracterizan por ser extremadamente ácidos y deficientes en fósforo disponible (ver cuadros 4 y 5). Es precisamente en estos suelos donde los hongos de micorriza arbuscular abundan y tienen un rol relevante, ya que muchas especies de plantas dependen de estos hongos para tomar en forma eficiente el fósforo del suelo y sobrevivir.

**Cuadro 4. Suelos dominantes de la Amazonía peruana**

Suelos dominantes	Posiciones topográficas			Total	
	Plano, mal drenado millones ha	Plano a ondulado millones ha	Loma a escarpado millones ha	Área	%
Ultisoles	3,8	38,0	7,4	49,2	65
Entisoles	3,3	1,5	8,0	12,8	17
Inceptisoles	2,9	0,8	6,8	10,5	14
Alfisolos	0,0	1,3	1,0	2,3	3
Vertisoles	0,0	0,4	0,0	0,4	1
Molisolos	0,0	0,1	0,2	0,3	--
Espodosoles	0,1	0,0	0,0	0,1	--
Total	10,1	42,1	23,4	75,6	100
%	13	56	30	100	100

Fuente: FAO-UNESCO, 1971; Cochrane et al., 1981; ONERN, 1982; Sánchez y Benites, 1983.

**Cuadro 5. Factores limitantes de los suelo de la Amazonía peruana bajo vegetación natural**

Factor limitante	Millones de hectáreas	% Amazonía
Deficiencia de nitrógeno	70,7	94
Deficiencia de fósforo	49,7	66
Toxicidad de aluminio	49,2	65
Bajas reservas de magnesio, potasio y otros	46,4	61
Alta erodibilidad	23,4	31
Baja capacidad de intercambio catiónico	23,0	30
Sequía > 3 meses consecutivos	20,2	27
Fijación de fósforo	18,9	25
Mal drenaje y peligro de inundación	10,1	13
Poca profundidad (< 50 cm)	8,0	11
Agrietamiento	0,4	--

Fuente: Sánchez y Benites, 1983.

## 5. FACTORES QUE AFECTAN LA SUPERVIVENCIA DE LOS HMA

Entre los principales factores que afectan la supervivencia de los hongos de micorriza arbuscular en la Amazonía peruana se encuentran la deforestación movida por diferentes causas y el uso excesivo de fertilizantes fosfatados en los viveros y en las plantaciones de cultivos agroindustriales.

### La deforestación

La deforestación de la Amazonía peruana —ocasionada por la agricultura migratoria y la ganadería extensiva, la producción de cultivos ilícitos, la extracción no controlada de madera, la minería ilegal y la producción de cultivos industriales y biocombustibles (en los últimos años)— tiene consecuencias graves, como la degradación de los recursos naturales y la pérdida de la biodiversidad. Sin embargo, cuando se evalúan las pérdidas de la biodiversidad, se toman solo en cuenta a las especies de flora y de fauna y no se considera a la biota del suelo, incluyendo a los hongos de micorriza, como si esta no tuviera relevancia en el funcionamiento de los bosques. La deforestación reduce la diversidad de los HMA (Alexander y Selosse, 2009) afectando su supervivencia y por ende disminuyendo y/o eliminando las diversas funciones que cumplen en los bosques.

De acuerdo con Dourojeanni (2011), la región de la selva abarca entre 72 y 77,9 millones de hectáreas (56-60,2% del territorio nacional), aunque actualmente el Ministerio del Ambiente maneja la cifra de 72 millones de hectáreas. Dourojeanni también menciona que de acuerdo con la Defensoría del Pueblo los bosques de la Amazonía ocupan 13,9 millones de hectáreas de las que aproximadamente el 18% ya están deforestadas.

Verdaderamente, la investigación sobre la diversidad de los HMA, el rol fundamental que cumplen en el ecosistema y el impacto que les puede causar la deforestación es un tema crucial que se ha pasado por alto. Existe la posibilidad de que especies de HMA actualmente no identificadas y con funciones excepcionales desaparezcan para siempre, perdiéndose así un recurso genético del suelo.

### **El uso excesivo de fertilizantes fosfatados en los viveros y plantaciones agroindustriales**

Otro factor importante que afecta la diversidad y la supervivencia de los HMA está relacionado con la producción extensiva de cultivos agroindustriales en los Ultisoles. En los últimos años se ha venido impulsando en estas áreas el cultivo de diferentes especies con alto potencial de producción agroindustrial, tales como palma aceitera, cacao, café, caña de azúcar, piñón blanco, etcétera; así como también la plantación de especies forestales y agroforestales, todas las cuales requieren niveles adecuados de fósforo disponible en el suelo para obtener rendimientos que sean rentables para los agricultores.

Esta situación ha generado una alta demanda de fertilizantes fosfatados, los que se aplican muchas veces en cantidades excesivas sin tener en cuenta que en este tipo de suelos aproximadamente un 40% es aprovechado por las plantas y el restante puede ser retenido en el suelo en forma no disponible y/o perdido por lixiviación, y en muchos lugares ha llegado a la situación en que los cultivos no prosperan sin la adición de fertilizantes fosfatados.

Los beneficios de las micorrizas aumentan en suelos deficientes en fósforo y disminuyen en tanto los niveles de fosfatos aumentan. Las cantidades excesivas de fertilizantes fosfatados inhiben la formación de la micorriza. Abbott y Robson (1979) encontraron que niveles de fósforo mayores a los requeridos para el crecimiento de las plantas eliminaron el desarrollo de los arbuscúlos, estructuras de los HMA responsables de la transferencia de los nutrientes absorbidos por el hongo para la planta. Por otro lado, Swift (2003) reporta que los beneficios de los HMA son mayores cuando los niveles de fósforo están por debajo de 50 ppm y que la colonización micorrícica va disminuyendo por encima de este nivel con ninguna colonización sobre los 100 ppm aun cuando se inocule con micorrizas.

## **6. SITUACIÓN ACTUAL SOBRE EL CONOCIMIENTO DE LOS HONGOS DE MICORRIZA ARBUSCULAR EN LA AMAZONÍA PERUANA**

Allá, por los años noventa, respecto al tema de las micorrizas, Duorojeanni (1990) mencionó: «Estos conocimientos ya no pueden ignorarse al planificar el desarrollo agropecuario y forestal en la Amazonia». Han pasado veinte años e inexplicablemente es muy poco lo que se ha hecho al respecto, especialmente si tomamos en cuenta las diversas funciones que cumplen los hongos de micorriza arbuscular en el mantenimiento y productividad de los bosques amazónicos y el gran potencial de uso que tienen para beneficio del productor amazónico. En este sentido, un análisis de la situación actual sobre el conocimiento de los HMA en la Amazonía peruana, muestra lo siguiente:

- Cuando se habla de deforestación solamente se consideran los efectos dañinos en la flora y fauna, los HMA son ignorados como si no existieran.
- De los 5600 artículos publicados sobre micorrizas, entre 2000 y 2008, solo 170 se refieren explícitamente a bosques tropicales. ¿En la Amazonía peruana?
- Escasa o nula participación de investigadores peruanos en eventos internacionales sobre el tema de las micorrizas.
- La investigación sobre la diversidad de los HMA, su rol en el ecosistema y los factores que los afectan es pasada por alto en las universidades e institutos de investigación.
- No se conoce la distribución geográfica de las comunidades de HMA en los diferentes ecosistemas amazónicos.
- En los planes de manejo para la recuperación de áreas degradadas, reforestación revegetación, etc., y en el establecimiento de cultivos agroindustriales, los HMA son ignorados.
- No se practica la inoculación con HMA en el manejo de viveros forestales, agroforestales y frutales y no existen inoculantes con especies nativas de HMA en el país.
- Existen muy pocos laboratorios especializados y profesionales dedicados a la investigación y generación de tecnologías a partir del uso de HMA.
- Los proyectos presentados a entidades financiadoras por lo general no incluyen los HMA como componente de investigación y/o desarrollo.
- Falta de conocimiento público sobre la importancia de las micorrizas en la conservación y mantenimiento de los bosques.

## 7. ¿QUÉ HACER?

Algunas de las siguientes acciones, que necesitan ser atendidas en el más breve plazo, deberán tenerse en cuenta para la preservación del ecosistema amazónico, la rehabilitación de áreas degradadas y para la producción sostenible en la Amazonía:

- Incluir cátedras sobre Microbiología de Suelos enfatizando el tema de las micorrizas, en los programas curriculares de ciencias forestales, agroforestería y biología de las universidades amazónicas.
- La investigación sobre HMA en la Amazonía estará dirigida a:
  - Identificación y distribución geográfica de las poblaciones de HMA como prioridad ya que constituye el paso inicial para el manejo adecuado y la producción de inoculantes con especies nativas.
  - Rol de los HMA en el mantenimiento y productividad de los bosques.
  - Factores que afectan su supervivencia.
  - Desarrollo de tecnologías baratas para la aplicación masiva de inoculantes de HMA en programas de rehabilitación de áreas degradadas y establecimiento de cultivos agroindustriales.
  - Buscar apoyo financiero para el desarrollo de investigación básica y aplicada y la generación de tecnologías basadas en el uso de HMA
  - Establecer convenios de intercambio educativo y cooperación técnica con universidades e institutos del exterior especializados en el tema de las micorrizas.
  - Fomentar el conocimiento de los HMA y las ventajas de su uso a las autoridades regionales, gobiernos locales, etc.
  - Enseñar y crear conciencia entre los productores sobre las ventajas que ofrecen de los HMA en la conservación y mantenimiento del recurso suelo y en la producción sostenible.

### **Reconocimiento**

El presente trabajo es parte del proyecto «Desarrollo de una tecnología de inoculantes basados en micorrizas nativas para optimizar el crecimiento y desarrollo inicial de especies agroforestales en áreas degradadas en la cuenca del río Aguaytía». El proyecto fue ejecutado con Agroselva Perú S. R., la Asociación de Cacaoteros Tecnificados de Padre Abad (ACATPA) y la Asociación de Productores de Semilla Certificada, Plantones y Maderas de Alta Calidad de la Cuenca del Aguaytía (PROSEMA), y con el respaldo técnico y científico del Consorcio para el Desarrollo Sostenible de Ucayali (CODESU), financiado por el Programa de Ciencia y Tecnología (FINCyT- Contrato 172-09).

## BIBLIOGRAFÍA

- Abbott, L. K y A. D. Robson (1979). A quantitative study on the spores and anatomy of mycorrhizas formed by a species of *Glomus*, with special reference to its taxonomy. *Australian Journal of Botany*, 27, 363-375.
- Aldrich-Wolfe, L. (2008). Diversity and composition in arbuscular mycorrhizal fungal communities of forest and pasture: implications for re-establishment of tropical forest trees. *Mycorrhizas in Tropical Forests. Workshop UPTL Sep. 22-25. Loja, Ecuador.*
- Alexander, I. y M. Selosse (2009). Mycorrhizas in tropical forests: a neglected research imperative. *New Phytologist*, 182, 14-16.
- Bernhard, A. (2010). The Nitrogen Cycle: Processes, Players and Human Impact. *Nature Education Knowledge*, 2(2), 12. *Mycotaxon*, 37, 471-491.
- Brundrett, M. C., Y. Piché y R. L. Peterson (1984). A new method for observing the morphology of vesicular arbuscular mycorrhizae. *Canadian Journal of Botany*, 62, 2128- 2134.
- Cochrane, T. T. y P. A. Sanchez (1982). Land Resources, soil and their management in the Amazon región: A state of knowledge report. En S. B. Hecht (ed.), *Amazonia, agriculture and land use research* (pp. 137-210). Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical.
- Dourojeanni, M. J. (1990). *Amazonía: ¿Qué hacer?* Iquitos: Centro de Estudios Teológicos de la Amazonía (CETA).
- Dourojeanni, M. J. (2011). Bosques y desarrollo. Libro de Resúmenes. Simposio Internacional en Manejo de Bosques y Educación Ambiental. Maestría en Desarrollo Ambiental. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, 16-19 de agosto.
- FAO – UNESCO (1971). *Mapa Mundial de Suelos*, vol. 4 América del Sur.
- Frank, A. B. (1885). Ueber die auf Wurzelsymbiose beruhende Ernährung gewisser Bäume durch unterirdische Pilze. *Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft*, 3, 128-145.
- Gerdemann, J. W. y J. M. Trappe (1974). The Endogonales in the Pacific Northwest. *Mycol. Mem.*, 5, 29-30.
- Gilbert, G. S. y D. R. Strong (2007). Fungal symbionts of tropical trees. *Ecology*, 88, 539-540.
- Hawksworth, D. L. (2001). The Magnitude of fungal diversity: the 1.5 million species estimate revisited. *Mycol. Res.*, 105, 1422-1432.
- Hora, T. S. y M. R. S. Iyengar (1960). Nitrification by soil fungi. *Archives of Microbiology*, 35, 252-257.
- Janse, J. M. (1896). Les endophytes radicaux de quelques plantes javanaises. *Annales du Jardin Botanique de Buitenzorg*, 14, 53-212.
- Kling, M. e I. Jacobsen (1998). Arbuscular mycorrhiza in soil quality assessment. *Ambio*, 27(1), 29-34.
- Kucey, R. N. M. (1983). Phosphate solubilizing bacteria and fungi in various cultivated and virgin Alberta soils. *Can. J. Soil Sci.*, 63, 671-678.

- Mangan, S. A. (2008). The importance of the species composition of arbuscular mycorrhizal fungi to tropical tree seedlings. *Mycorrhizas in Tropical Forests*. Workshop UPTL Sep. 22-25. Loja. Ecuador.
- Morton, J. B. (1986). Three new species of *Acaulospora* (Endogonaceae) from high aluminum, low pH soils in West Virginia. *Mycologia*, 78, 641-648.
- Morton, J. B. (2000). Evolution of endophytism in arbuscular mycorrhizal fungi of glomales. En C. W. Bacon y J. F. White Jr. (eds.), *Microbial Endophytes* (pp. 121-140). Nueva York: Marcel Dekker.
- Morton, J. B. y G. L. Benny (1990). Revised classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Zygomycetes): a new order, Glomales, two new suborders, Glomineae and Gigasporineae, and two new families, Acaulosporaceae and Gigasporaceae, with an emendation of Glomaceae. *Mycotaxon*, 37, 471-491.
- Newsham, K. K., A. H. Fitter y A. R. Watkinson (1995). Multifunctionality and biodiversity in arbuscular mycorrhizas. *Trends in Ecology and Evolution*, 10, 407-411.
- Oehl, F., G. Alves da Silva, B. T. Goto y E. Sieverding (2011a). Glomeromycota: three new genera and glomoid species reorganized. *Mycotaxon*, 116, 75-120.
- Oehl, F., G. Alves da Silva, B. T. Goto, L. C. Maia y E. Sieverding (2011b). Glomeromycota: two new classes and a new order. *Mycotaxon*, 116, 365-379.
- Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (1982). *Clasificación de tierras del Perú*. Lima: ONERN.
- Peña-Venegas, C., G. Cardona, A. Mazorra, J. Arguellez y A. Arcos (2006). *Micorrizas arbusculares de la Amazonía colombiana. Catálogo ilustrado*. Bogotá: Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI.
- Pirozynski, K. A. (1981). Interactions between fungi and plants through the ages. *Canadian Journal of Botany*, 59, 1824-1827.
- Redecker, D., J. B. Morton y T. D. Bruns (2000). Ancestral lineages of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomales). *Molec. Phylogenet. Evol.* 14, 276-284
- Rillig, M. C. y D. L. Mummey (2006). Mycorrhizas and soil structure. *Tansley Review. New Phytologist*, 171, 41-53.
- Ruiz, P. O. (1992). Significado de micorrizas para la agroforestería en ultisoles de la Amazonía. *Suelos Amazónicos*, 4. Lima: Instituto Nacional de Investigación Agroindustrial.
- Ruiz, P. O. (1994). «Effects of Soil Management on Vesicular-arbuscular Mycorrhizal Fungi and on Soil Phosphorus Fractions in Ultisols of the Peruvian Amazon». Ph.D. degree dissertation thesis. Soil Science Department. North Carolina State University.
- Ruiz, P. O. (2002). Biogeografía microbiana: una prioridad en la investigación de la diversidad biológica. *Espacio y Desarrollo*, 14, 111-119.
- Ruiz, P. O. y C. B. Davey (2005). Micorrizas arbusculares en ultisoles de la Amazonía peruana. *Folia Amazónica*, 14(2), 57-74
- Ruiz, P. O., A. Meza y K. Rojas (2010). Ocurrencia de hongos de micorriza arbuscular en la cuenca del río Aguaytía, Ucayali. XII Congreso Nacional y V Internacional de la Ciencia del Suelo. 11-15 de octubre. Arequipa, Perú.



- Ruiz, P. O. y Rojas, K. 2011. Hongos de Micorriza Arbuscular. Protocolos y Procedimientos de Evaluación. Manual Técnico. Proyecto MICOSAF. Agroselva Perú S.R.L., CODESU, ACATPA, PROSEMA. Financiado por el Consejo de Ciencia y Tecnología – FINCyT (Contrato 172-09).
- Sánchez, P. A. y J. R. Benites (1983). Opciones tecnológicas para el manejo racional de suelos en la selva peruana. INIPA-NCSU. Programa de Suelos Tropicales Yurimaguas. Serie Separatas N° 6.
- Shanti, S. y B. P. R. Vittal (2010). Fungi associated with decomposing leaf litter of cashew (*Anacardium occidentale*). *Mycology*, 1(2), 121-129.
- Schüßler, A., D. Schwarzott y C. Walker (2001). A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycological Research*, 105, 1413-1421.
- Simon, L., J. Bousquet, R. C. Lévesque y M. Lalonde (1993). Origin and diversification of endomycorrhizal fungi and coincidence with vascular land plants. *Nature*, 363, 67-69.
- Smith, S. E. y D. J. Read (2008). *Mycorrhizal symbiosis*. Tercera edición. Londres: Academic Press.
- Stürmer, S. L. y J. O. Siqueira (2006). Diversity of Arbuscular Mycorrhizal fungi in Brazilian ecosystems. En F. M. S. Moreira, J. O. Siqueira y L. Brussaard (eds.), *Soil Biodiversity in Amazonian and other Brazilian Ecosystems* (pp. 206-236). Wallingford: CABI Publishing.
- Swift, C. E. (2003). Mycorrhiza and soil phosphorus levels. Colorado State University Cooperative Extension.
- Winkelmann, G. (2007). Ecology of siderophores with special reference to the fungi. *Biometals*, 20, 379-392.
- Wright, S. F. y A. Upadyhaya (1998). A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant and Soil*, 198, 97-107.
- Wubet, T., I. Kottke y F. Oberwinkler (2008). Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the Afromontane forest ecosystems of Ethiopia. *Mycorrhizas in Tropical Forests*. Workshop UPTL September 22-25. Loja, Ecuador.