

---

# EL USO DE LOS HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES EN LAS PRÁCTICAS DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA

LAURIE FAJARDO, GISELA CUENCA, PAULINE ARRINDELL, RAMÓN CAPOTE y ZAMIRA HASMY

---

## RESUMEN

Durante una perturbación, la pérdida de cobertura vegetal generalmente viene acompañada de la pérdida de muchas de las propiedades fisicoquímicas y biológicas de los suelos, las cuales determinan el establecimiento y productividad de las plantas. Dentro de la afectación biológica de los suelos destaca la reducción del potencial de los simbiontes microbianos mutualistas que son factores ecológicos claves en el ciclo de nutrientes y en el sostenimiento de la cobertura vegetal en los ecosistemas naturales. Entre estos simbiontes se distinguen los hongos micorrizicos arbusculares (HMA). Estos hongos, no solo han sido empleados como herramientas para la propagación de especies por sus bien conocidos beneficios sobre el crecimiento de las plantas, sino que también han servido como indicadores de la recuperación

de algunos atributos del ecosistema, como lo son las interacciones biológicas críticas para la función a largo plazo de un ecosistema restaurado. En diciembre de 2005, se realizó un ensayo de restauración de áreas de bosques secos afectadas por la explotación de arena a través de la siembra de especies arbóreas nativas sometidas a diferentes tratamientos. Cinco años después del ensayo de campo se compara el estado de las comunidades de los HMA en las parcelas en que se recuperó la cobertura vegetal con aquél encontrado en parcelas bajo sucesión natural con la misma edad de la restauración (5 años). Esto permitirá conocer si la restauración ha tenido efecto sobre la recuperación de un atributo ecológico que podría reflejar la trayectoria de recuperación de este ecosistema.

Estudios recientes han resaltado la importancia de las comunidades de microorganismos del suelo para el establecimiento y crecimiento exitoso de las plantas y el desarrollo de sus comunidades (van der Heijden *et al.*, 1998). Sin embargo, poco se sabe sobre la estructura y función de las comunidades de microorganismos en sitios recuperados o restaurados y su utilidad como

indicador del éxito de las prácticas de restauración.

Dentro de los microorganismos del suelo destacan las micorizas arbusculares (MA), las cuales constituyen una de las asociaciones simbióticas mutualistas más importantes de la naturaleza. Esta asociación se establece entre las raíces de ~80% de las plantas terrestres y hongos pertenecientes al filo Glomeromycota, los cuales tienen una amplia

distribución en el planeta (Smith y Read, 2008). Estos microorganismos cumplen múltiples funciones dentro del ecosistema ya que mejoran el crecimiento y salud de las plantas facilitando la absorción de agua y nutrientes, tienen impacto positivo sobre la estabilidad de los agregados del suelo y la infiltración del agua, incrementan la tolerancia al stress hídrico (Barea *et al.*, 1991), e influyen sobre la diversidad, productividad, estructura de la co-

---

**PALABRAS CLAVE / Micorizas Arbusculares / Mutualismo / Restauración Ecológica / Simbiosis / Suelos /**

Recibido: 26/09/2011. Modificado: 07/12/2011. Aceptado: 08/12/2011.

**Laurie Fajardo.** Licenciada en Biología, Universidad Central de Venezuela (UCV). Doctora en Ciencias, Mención Ecología, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC). Postdoctorante, IVIC, Venezuela. Dirección: Laboratorio de Ecología de Suelos, Centro de Ecología, IVIC. Apartado Postal 21827, Caracas 1020A, Venezuela. e-mail: lfajardo@ivic.gob.ve

**Gisela Cuenca.** Licenciada en Biología, UCV, Venezuela. M.Sc. y Ph.Sc. en Ciencias, Mención Ecología, IVIC, Venezuela. Investigadora, IVIC, Venezuela.

**Pauline Arrindell.** Licenciada en Biología, UCV, Venezuela. Profesional Asociado a la Investigación, IVIC, Venezuela.

**Ramón Capote.** TSU en Relaciones Industriales, Instituto Universitario de Tecnología Industrial Rodolfo Loero Arismendi, Venezuela. Técnico Asociado a la Investigación, IVIC, Venezuela.

**Zamira Hasmy.** Licenciada en Biología, Universidad del Zulia, Venezuela. Bióloga, Instituto Nacional de Salud Agrícola Integral, Venezuela.

---

munidad de plantas y procesos del ecosistema (van der Heijden *et al.*, 1998). También se ha señalado que la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) podría acelerar la tasa de sucesión de un ecosistema degradado (Janos, 1980; Allen, 1991; Cuenca *et al.*, 2002). Debido a todos estos beneficios sobre el crecimiento y salud de las plantas y del suelo, actualmente se considera que estos hongos constituyen un elemento crucial para la recuperación y restauración de los ecosistemas degradados.

Algunos estudios han considerado la presencia de MA como indicadores del éxito de la restauración, debido a que ellas afectan significativamente el crecimiento de las plantas y los patrones de sucesión luego de una perturbación. Por ejemplo, Moynahan *et al.* (2002) encontraron que en aquellas parcelas donde los tratamientos de enmienda del suelo fueron más intensivos (arado profundo y enclado, y aplicación de suelo superficial o *topsoil*), los porcentajes de colonización micorrízica fueron comparables a los de las raíces de las plantas que crecieron en los sitios poco perturbados. La restitución de interacciones biológicas como las micorrizas pueden suministrar información sobre la resiliencia del ecosistema restaurado, indicando de esta manera la trayectoria de la recuperación y el auto-mantenimiento del ecosistema recuperado (Ruiz-Jaen y Aide, 2005).

Luego de una perturbación, la regeneración de los bosques secos tropicales es lenta, principalmente debido a la severa limitación de agua que caracteriza a estos sistemas altamente estacionales (Ewel, 1980; Vieira y Scariot, 2006; Lebrija-Trejos *et al.*, 2008), además de la pérdida de los mecanismos de retención de agua después de la remoción de la cobertura vegetal. Este déficit hídrico y las altas temperaturas limitan el crecimiento y la sobrevivencia de las plantas en estos ecosistemas (Vieira y Scariot, 2006; Lebrija-Trejos *et al.*, 2008). Las MA generalmente alivian varios de estos factores de estrés para las plantas al mejorar las relaciones planta-agua, especialmente bajo condiciones de severa limitación hídrica (Miransari, 2010; Auge, 2001).

En 2005 se dio inicio a una experiencia piloto para la restauración de una pequeña área de bosque seco, degradado por actividades de extracción de arena en la península de Macanao, Isla de Margarita, Venezuela, partiendo de los resultados obtenidos de la evaluación de la dinámica sucesional que se establece luego de la perturbación. De este estudio previo, se seleccionaron cinco es-

pecies arbóreas nativas pertenecientes a distintas etapas sucesionales, las cuales fueron sometidas a ocho tratamientos en una siembra realizada en parcelas en el campo. De los tratamientos aplicados, el uso de un hidrogel (polímero de amida acrílica) fue el que promovió el mayor crecimiento y sobrevivencia de las plantas sembradas, por su comprobada capacidad de absorber y liberar agua por un tiempo prolongado. Con la idea de conocer cuál ha sido el efecto de las prácticas de restauración emprendidas sobre la comunidad de HMA, fue establecido el presente proyecto de trabajo, que en una primera fase pretende caracterizar las comunidades de HMA presentes en las parcelas restauradas y las no restauradas (sucesionales), con el fin de utilizar este parámetro como indicador del nivel de recuperación del ecosistema.

En general, los trabajos que impulsan labores de rehabilitación o restauración de áreas degradadas difícilmente se extienden por un tiempo prolongado con el fin de garantizar el seguimiento de la trayectoria del ecosistema en recuperación y conocer si se avanza hacia la restitución de los principales atributos ecosistémicos. En Venezuela, este trabajo constituye una novedad en este sentido.

## Materiales y Métodos

El estudio fue realizado en la Arenera La Chica, al norte de la Península de Macanao, sección oeste de la Isla de Margarita, Estado Nueva Esparta, Venezuela, ubicada en 11°01'19"-11°04'09"N; 64°16'36"-64°15'08"O.

Se seleccionaron del área restaurada hace 5 años, dos parcelas donde el hidrogel fue utilizado (RH1 y RH2), así como las 2 parcelas donde únicamente fueron sembradas las plantas, sin aplicación de tratamiento alguno (RS1 y RS2) que sirven como controles.

Por otro lado, se seleccionó un área con la misma edad de la restauración pero bajo sucesión natural, donde se establecieron cuatro parcelas de las mismas dimensiones de las establecidas en el área restaurada (12,5×8m): dos de ellas con una situación topográfica de mayor exposición a la desecación (NRS1 y NRS2) y las otras dos en una ubicación con mayor humedad del suelo (NRH1 y NRH2).

En cada una de las parcelas se caracterizó la vegetación presente. Para ello se identificaron las especies presentes y se contabilizó el número de individuos por especie, el perímetro basal para el caso de los árboles y arbustos, y para las gramíneas el diámetro de la macolla (Matteucci *et al.*, 1979). Los datos

obtenidos fueron transformados a valores relativos a fin de calcular el índice de valor de importancia (IVI) de las especies de plantas presentes.

Por otro lado, se tomaron ocho muestras compuestas de suelo correspondientes a cada una de las parcelas para realizar las siguientes determinaciones físico-químicas: la materia orgánica, determinada por el método de Walkey y Black (Jackson, 1976); el pH, medido en una mezcla suelo-agua 1:2.5; el nitrógeno total (NT), medido de acuerdo al método Kjeldahl; el fósforo disponible (P) a través del método de Olsen estandarizado por Gilbert *et al.* (1990); y los cationes intercambiables ( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{+2}$  y  $Mg^{+2}$ ), determinados con los métodos de Olsen y Morgan (Gilbert *et al.*, 1990). La textura del suelo fue determinada con el método de Bouyucos (Day, 1965).

De cada una de las muestras compuestas de suelo, se tomó una alícuota de 200g para evaluar las comunidades de HMA presentes a través del aislamiento de sus esporas, empleando para ello el método de tamizado húmedo y decantado seguido por la centrifugación en sacarosa (Sieverding, 1991). Posteriormente, las esporas fueron cuantificadas e identificadas hasta el más bajo nivel taxonómico posible, utilizando para ello la literatura disponible y los sitios webs de la *International Culture Collection of Mycorrhizal Fungi* ([invam.caf.wvu.edu](http://invam.caf.wvu.edu)), de Blazkowski ([www.agro.ar.szczecin.pl/~jblaszkowski/Species%20descriptions%20of%20AMF.html](http://www.agro.ar.szczecin.pl/~jblaszkowski/Species%20descriptions%20of%20AMF.html)) y Schüssler ([www.lrz.de/~schuessler/amphylo/](http://www.lrz.de/~schuessler/amphylo/)).

Finalmente, se tomaron cinco muestras de suelo en cada una de las parcelas a través del empleo de un barreno, para obtener de cada una de ellas raíces de las plantas presentes y así determinar el porcentaje de colonización micorrízica del sistema. Para ello, una vez obtenida las raíces fueron teñidas con azul de tripán siguiendo el procedimiento de Phillips y Hayman (1970). El porcentaje de infección, así como las distintas estructuras que caracterizan la colonización micorrízica arbuscular, fueron contabilizadas usando el método de McGonigle (1990).

Se empleó un ANOVA de una vía para conocer las diferencias en los porcentajes de colonización entre los diferentes tratamientos, previa transformación de los datos (arcoseno  $X^{1/2}$ ) para satisfacer los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza. Posteriormente, se empleó como prueba *a posteriori* la diferencia mínima significativa. Estos análisis fueron ejecutados con el paquete estadístico STATISTICA Ver. 8.

Por otro lado, se calculó el índice de diversidad de Shannon-Weaver en cada una de las parcelas, para lo cual se empleó el software estadístico Past Ver. 2,03.

## Resultados

### Caracterización de la vegetación

Las parcelas sucesionales húmedas (NRH1 y NRH2) mostraron una mayor riqueza de especies de plantas (Tabla I) en relación a sus contrapartes secas (NRS1 y NRS2) y, aunque las gramíneas dominan, en estas parcelas también se encontraron individuos pertenecientes a otras familias. En todas las parcelas restauradas se observó que las dos especies sucesionales tempranas (*Prosopis juliflora* y *Cercidium praecox*) ocuparon los dos primeros lugares en importancia, resaltando el hecho que en la parcela que presentó mayor desarrollo estructural de la vegetación sembrada y que tenía incorporado el hidrogel (RH1), *Bulnesia arborea*, una especie sucesional tardía, tuvo también una buena representación (Tabla I).

### Análisis de suelo

La Tabla II muestra los valores obtenidos en el análisis físicoquímico de los suelos. En líneas generales, se aprecia mejoría en los valores de materia orgánica y de P disponible en las parcelas restauradas en relación a las no restauradas; sin embargo, los valores de ambas variables aún siguen siendo muy bajos. Cabe resaltar los valores obtenidos en una de las parcelas no restauradas menos húmeda (NRS1) donde, por ejemplo, los valores de MO y N incluso superan aquellos obtenidos en la parcela restaurada con hidrogel, de mayor desarrollo estructural de la vegetación (RH1). Otro resultado resaltante es la presencia de una textura predominantemente arenosa en las parcelas no restauradas y en las restauradas control, a una franco arenosa en los suelos restaurados con el hidrogel.

TABLA I  
ÍNDICE DE VALOR DE IMPORTANCIA (IVI, %)  
DE LAS ESPECIES DE PLANTAS PRESENTES EN CADA  
UNA DE LAS PARCELAS EVALUADAS

Tratamiento	Nº especies	Especie	Familia	IVI (%)
NRS1	4	<i>Chloris barbata</i>	Poaceae	38
		<i>Cenchrus ciliaris</i>	Poaceae	28
		<i>Axonopus</i> sp.	Poaceae	24
		<i>Rynchelytrum repens</i>	Poaceae	9
NRS2	5	<i>Chloris barbata</i>	Poaceae	31
		<i>Axonopus</i> sp.	Poaceae	30
		<i>Cenchrus ciliaris</i>	Poaceae	28
		<i>Rynchelytrum repens</i>	Poaceae	8
		<i>Melochia tomentosa</i>	Scrophulariaceae	3
NRH1	7	<i>Rynchelytrum repens</i>	Poaceae	52
		<i>Axonopus</i> sp.	Poaceae	29
		<i>Capraria biflora</i>	Scrophulariaceae	4
		<i>Arbusto desconocido</i>	—	2
		<i>Cannavalia brasiliensis</i>	Fabaceae	2
		<i>Ipomoea incarnata</i>	Convolvulaceae	2
		<i>Opuntia wentiana</i>	Cactaceae	2
NRH2	8	<i>Rynchelytrum repens</i>	Poaceae	60
		<i>Axonopus</i> sp.	Poaceae	16
		<i>Opuntia wentiana</i>	Cactaceae	6
		<i>Bastardia viscosa</i>	Malvaceae	5
		<i>Bromelia humilis</i>	Bromeliaceae	5
		<i>Lippia</i> sp.	Verbenaceae	2
		<i>Cannavalia brasiliensis</i>	Fabaceae	2
		<i>Indigofera suffruticosa</i>	Fabaceae	2
RS1	5	<i>Cercidium praecox</i>	Caesalpiniaceae	28
		<i>Prosopis juliflora</i>	Mimosaceae	22
		<i>Piscidia carthagenensis</i>	Fabaceae	21
		<i>Tecoma Stans</i>	Bignoniaceae	17
		<i>Bulnesia arborea</i>	Zygophyllaceae	10
RS2	5	<i>Prosopis juliflora</i>	Mimosaceae	38
		<i>Cercidium praecox</i>	Caesalpiniaceae	20
		<i>Piscidia carthagenensis</i>	Fabaceae	16
		<i>Bulnesia arborea</i>	Zygophyllaceae	16
		<i>Tecoma Stans</i>	Bignoniaceae	10
RH1	5	<i>Prosopis juliflora</i>	Mimosaceae	34
		<i>Cercidium praecox</i>	Caesalpiniaceae	25
		<i>Bulnesia arborea</i>	Zygophyllaceae	16
		<i>Piscidia carthagenensis</i>	Fabaceae	14
		<i>Tecoma Stans</i>	Bignoniaceae	11
RH2	5	<i>Prosopis juliflora</i>	Mimosaceae	28
		<i>Cercidium praecox</i>	Caesalpiniaceae	26
		<i>Tecoma Stans</i>	Bignoniaceae	18
		<i>Piscidia carthagenensis</i>	Fabaceae	14
		<i>Bulnesia arborea</i>	Zygophyllaceae	12

NRS1 y NRS2: parcelas no restauradas (sucesionales) secas, NRH1 y NRH2: parcelas no restauradas (sucesionales) húmedas, RS1 y RS2: parcelas restauradas secas, RH1 y RH2: parcelas restauradas húmedas (con hidrogel).

### Comunidad de HMA y porcentajes de colonización

Se diferenciaron un total de 44 morfoespecies de HMA en las muestras de suelo provenientes de cada una de las parcelas evaluadas (Tabla III). A excepción de la parcela RS1, la riqueza de morfoespecies de HMA en las restauradas tiende a ser menor que la encontrada en las no restauradas (Tabla III). En cuanto a la diversidad de morfoespecies, no se encontró un patrón definido; sin embargo, hay una tendencia a

una mayor diversidad en las parcelas no restauradas. La parcela RS2 mostró la menor diversidad de morfoespecies, mientras que la NRS2 tuvo la mayor diversidad (Tabla III).

En general, los porcentajes de infección o de colonización fueron muy homogéneos, encontrándose dentro del intervalo de valores normalmente reportados para este tipo de ecosistemas (Alarcón y Cuenca, 2005). Las parcelas restauradas y las no restauradas húmedas exhibieron menores porcentajes de infección a excepción de la NRH1 (Tabla III). Entretanto, las parcelas con una menor condición hídrica (secas) mostraron los mayores valores a excepción de la parcela NRS1 (Tabla III).

## Discusión

En Venezuela han sido muy pocos los trabajos que han evaluado algún atributo ecosistémico que pueda ser empleado como indicativo de la trayectoria que está siguiendo un ecosistema que ha sido restaurado. El presente trabajo constituye un primer aporte en ese sentido.

En relación a la vegetación evaluada en las parcelas sucesionales (no restauradas), la mayor riqueza de especies encontradas en NRH1 y NRH2 podría atribuirse al mayor contenido de humedad en el suelo, en relación a las no restauradas con una mayor exposición a la desecación, donde el número de especies fue menor. Esto co-

responde con hallazgos como los reportados por Mills *et al.* (2009), quienes trabajaron en un área semiárida en Sudáfrica y señalaron que la máxima riqueza de especies de plantas puede encontrarse bajo condiciones de baja capacidad de infiltración de agua en el suelo.

A juzgar por los resultados obtenidos en relación a la evaluación edáfica, el manejo de las áreas destruidas por acción de la extracción de arena promovió la mejora de alguno de los parámetros químicos en relación a sus pares no restaurados (P disponible, materia orgánica,

TABLA II  
ANÁLISIS DE LOS SUELOS PRESENTES EN LAS PARCELAS RESTAURADAS  
CON Y SIN HIDROGEL, Y EN LAS PARCELAS SUCESIONALES  
O NO RESTAURADAS CON MAYOR Y MENOR HUMEDAD

Tratamiento	pH (H <sub>2</sub> O)	MO (%)	N <sub>TOT</sub> (%)	P (mg·kg <sup>-1</sup> )	Textura	Concentración (cmol·kg <sup>-1</sup> )			
						Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
NRS1	6,7	4,13	0,17	9	Arenoso	7,58	0,68	0,15	0,61
NRS2	7,8	0,48	0,04	< 4	Are-Franc	1,82	0,54	0,08	0,21
NRH1	8,2	0,42	0,03	< 4	Are-Franc	2,41	0,73	0,19	0,20
NRH2	7,7	0,66	0,04	< 4	Arenoso	2,00	0,64	0,02	0,17
RS1	7,3	1,7	0,06	8	Are-Franc	3,20	0,73	0,05	0,26
RS2	7,5	0,94	0,05	4	Are-Franc	2,48	0,61	0,08	0,27
RH1	7,6	1,35	0,09	15	Franc-Are	4,91	1,27	0,18	0,66
RH2	7,6	0,95	0,06	8	Franc-Are	3,01	0,96	0,06	0,31

NRS1 y NRS2: parcelas no restauradas (sucesionales) secas, NRH1 y NRH2: parcelas no restauradas (sucesionales) húmedas, RS1 y RS2: parcelas restauradas secas, RH1 y RH2: parcelas restauradas húmedas (con hidrogel).

NT, Ca<sup>2+</sup>, entre otros), aunque los valores continúan siendo extremadamente bajos, lo que es una señal de la magnitud de la afectación a que fue sometido el ecosistema.

Una excepción a esa tendencia la constituye una de las parcelas no restauradas secas (NRS1), donde hubo valores iguales o en algunos casos superiores a los obtenidos en las parcelas restauradas. Esto puede atribuirse a que en el momento del estudio, esta parcela poseía una gran cubierta de gramíneas secas, material que podría estar contribuyendo con una mayor cantidad de materia orgánica al suelo y, en consecuencia, con una mayor aporte de nutrientes. Esto no ocurrió en su par no restaurado (NRS2), que presentó gran parte de su superficie sin cubierta vegetal. Brady y Weil (2002) han señalado que nutrientes esenciales tales como N, P y S, así como varios micronutrientes, están almacenados como elementos constituyentes de la materia orgánica, a partir de la cual son lentamente liberados por mineralización. Así mismo, investigaciones recientes afirman que un incremento en la entrada de hojarasca puede mejorar la disponibilidad de nutrientes en el suelo sin necesidad de incorporar fertilizantes sintéticos (Villalobos-Vega *et al.*, 2011).

Por otro lado, en las parcelas RH1 y RH2 un mayor desarrollo de la vegetación pudo haber contribuido a aumentar la turbulencia y captación de partículas finas que se encuentran en el aire, producto de los vientos frecuentes que caracterizan el lugar, lo cual pudiera ser la causa de la textura franco-arenosa encontrada en estas parcelas. Este tipo de textura promueve una mayor retención de agua en el suelo (Brady y Weil, 2002) y pudo haber mejorado aún más la condición de humedad en estas parcelas que contenían el hidrogel.

Una mayor diversidad y riqueza de especies de HMA aumenta las probabilidades de que se encuentren presen-

tes especies pertenecientes a diferentes linajes filogenéticos que podrían complementar funciones en un ambiente con condiciones abióticas poco favorables (Maherali y Klironomos, 2007). Esto fue observado en las parcelas no restauradas secas. La mayor riqueza y diversidad de especies de HMA encontrada en RS1, comparable a lo encontrado en las parcelas no restauradas, posiblemente se deba a que esta parcela tuvo una fisonomía parecida a la de las parcelas sucesionales, dada la alta mortalidad de los individuos sembrados registrada en esta parcela. La menor riqueza y diversidad de especies de HMA en las parcelas restauradas podría estar vinculado a una condición que pueda estar presente en áreas que no hayan sido perturbadas, partiendo de la evidencia que señala que las plantas presentes en los estadios tardíos y maduros de la sucesión en suelos deficitarios en nutrientes son menos dependientes de los HMA (Zangaro *et al.*, 2000; Guadarrama-Chávez *et al.*, 2008). Sin embargo, es necesario realizar la comparación con los datos provenientes de áreas no perturbadas para saber si la restauración ha tenido un efecto positivo en este sentido.

Finalmente, los bajos porcentajes de colonización encontrados en las parcelas, restauradas o no, con mayor contenido de humedad en el suelo (RH1, RH2 y NRH2), quizás pueda deberse a que esta mejor condición hídrica promovió una mayor disponibilidad de nutrientes, por lo que las plantas emplean sus propios sistemas radicales para acceder a ellos, ya que la simbiosis micorrízica involucra una gran inversión en carbono producto de la fotosíntesis (Smith y Read, 2008), proceso que se ve disminuido por la caída del follaje producto de la sequía, periodo en el cual se realizó el muestreo. También cabe resaltar que estas parcelas tienen un mayor desarrollo de biomasa vegetal, lo que resulta en un mayor sombreado del suelo. Se ha señalado que el porcentaje de colonización casi siempre

es bajo en situaciones donde el suministro de carbohidratos también es bajo (Smith y Read, 2008). Daft y El Giahmi (1978) encontraron que tanto la defoliación como el sombreado o los días cortos redujeron el porcentaje de colonización producida por dos especies de *Glomus* en una variedad de plantas hospederas.

Aunque generalmente se ha asumido que no existe especificidad entre los HMA y las plantas hospederas (Smith y Read, 2008), hay evidencia que apoya que existen patrones selectivos (funcionales y físicos) de asociación entre las plantas y los hongos (Helgason *et al.*, 2002, 2007). El mayor porcentaje de colonización encontrado en una de las parcelas no restauradas húmeda (NRH1), quizás puede ser debido a que exista una mayor compatibilidad funcional entre las especies de plantas presentes en esta parcela y la comunidad de hongos que, como se ha visto, pueden ser características de cada sector. Se ha señalado que diferentes combinaciones planta-hongo exhiben grandes diferencias en los porcentajes de colonización, lo que generalmente está relacionado a diferencias en las tasas de crecimiento de la raíz y la susceptibilidad de las plantas, además de las diferentes estrategias de los hongos en la colonización de la raíz (Smith y Read, 2008).

Algunos estudios han concluido que las características físicas del suelo, así como la topografía y la fuerte estacionalidad en la precipitación determinan una gran heterogeneidad espacial de muchos de los recursos edáficos (Murphy y Lugo, 1986; Medina, 1995; Mooney *et al.*, 1995; Lebrija-Trejos *et al.*, 2008), lo cual pudo haber influido en las respuestas diferenciales de los diversos parámetros medidos frente a un mismo tratamiento. Adicionalmente, es necesario tomar en cuenta que el área de estudio constituye una mina a cielo abierto de extracción de arena cuyas actividades (movimientos de camiones y personas), aunado a los vientos que durante todo el año están presentes, podrían estar contribuyendo a la heterogeneidad encontrada.

En suma, la colonización micorrízica no pareció estar asociada directamente con el grado de recuperación de las parcelas, en el sentido de que aquellas con mayor complejidad estructural no se destacaron por poseer una mayor colonización sino que, por el contrario, al contar con un balance hídrico más favorable, gracias a la presencia del hidrogel o a su posición topográfica, parecen ser menos dependientes de la presencia de las micorrizas arbusculares para su crecimiento.

TABLA III  
LISTA DE MORFOESPECIES DE HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES, RIQUEZA, DIVERSIDAD Y PORCENTAJES DE INFECCIÓN O COLONIZACIÓN MICORRÍZICA ENCONTRADOS EN LAS MUESTRAS DE SUELO PROVENIENTES DE LAS PARCELAS NO RESTAURADAS Y RESTAURADAS, SECAS Y HÚMEDAS

Familia/especie	NRS1	NRS2	NRH1	NRH2	RS1	RS2	RH1	RH2
<b>Acaulosporaceae</b>								
<i>Acaulospora undulata</i>				X	X		X	
<i>Acaulospora</i> sp. 1	X							
<i>Acaulospora</i> sp. 2	X							
<b>Ambisporaceae</b>								
cf. <i>Ambispora</i> sp. 1								X
cf. <i>Ambispora</i> sp. 2			X					
<b>Archaeosporaceae</b>								
cf. <i>Archaeospora</i> sp. 1			X					
<b>Claroideoglomeraceae</b>								
<i>Claroideoglomerus etunicatum</i>	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>Diversisporaceae</b>								
<i>Diversispora spurca</i>	X	X	X	X				
<b>Gigasporaceae</b>								
<i>Gigaspora</i> sp. 1				X				
<i>Scutellospora gilmorei</i>					X			
<i>Scutellospora</i> sp. 1					X			
<i>Scutellospora</i> sp. 2			X	X				
<b>Glomeraceae</b>								
<i>Funneliformis constrictum</i>	X	X	X	X	X			
<i>Funneliformis geosporum</i>		X		X				
<i>Glomus deserticola</i>							X	
<i>Glomus microcarpum</i>		X			X			
<i>Glomus minutum</i>				X				
<i>Glomus tortuosum</i>		X						
<i>Glomus</i> sp. 1		X						
<i>Glomus</i> sp. 2		X						
<i>Glomus</i> sp. 3	X			X				X
<i>Glomus</i> sp. 4		X						
<i>Glomus</i> sp. 5							X	
<i>Glomus</i> sp. 6	X					X		X
<i>Glomus</i> sp. 7		X		X				
<i>Glomus</i> sp. 8							X	
<i>Glomus</i> sp. 9							X	X
<i>Glomus</i> sp. 10							X	X
<i>Glomus</i> sp. 11					X			
<i>Glomus</i> sp. 12	X				X			X
<i>Glomus</i> sp. 13		X						
<i>Glomus</i> sp. 14		X					X	
<i>Glomus</i> sp. 15	X							X
<i>Glomus</i> sp. 16		X						
<i>Glomus</i> sp. 17		X						
<i>Glomus</i> sp. 18		X				X		
<i>Glomus</i> sp. 19							X	
<i>Glomus</i> sp. 20				X				
<i>Glomus</i> sp. 21					X			
<i>Glomus</i> sp. 22		X						
<i>Glomus</i> sp. 23		X						
<i>Glomus</i> sp. 24					X			
<i>Rhizophagus intraradices</i>	X	X	X	X	X	X		X
<i>Sclerocystis rubiformis</i>					X			
Riqueza de HMA	10	18	7	12	12	4	9	9
Diversidad (H)	1,85ad	2,42bc	1,52ad	2,02cd	2,02cd	1,01a	1,75ad	1,75ad
% Infección	26 ±15	46 ±12	64 ±6	32 ±13	52 ±12	41 ±10	35 ±17	35 ±10

NRS1 y NRS2: parcelas no restauradas secas, NRH1 y NRH2: parcelas no restauradas húmedas, RS1 y RS2: parcelas restauradas secas, RH1 y RH2: parcelas restauradas húmedas, HMA: hongos micorrízicos arbusculares, H: índice de diversidad de Shannon-Weaver.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen la colaboración de Juan Carlos Salazar y a la

Arenera La Chica por permitirnos llevar adelante el trabajo en su propiedad, a Romel Marín por su asistencia en el trabajo de campo y a Milagros Lovera por sus va-

liosos comentarios sobre el manuscrito. Así mismo, agradecen al Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC) y a la Iniciativa de Especies Amenazadas (IEA) por el apoyo logístico y financiero.

#### REFERENCIAS

- Alarcón C, Cuenca G (2005) Arbuscular mycorrhizas in coastal sand dunes of the Paraguaná Peninsula, Venezuela. *Mycorrhiza* 16: 1-9.
- Allen MF (1991) *The Ecology of Mycorrhizae*. Cambridge University Press. Cambridge, RU. 184 pp.
- Auge RM (2001) Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza* 11: 3-42.
- Barea JM, Azcón-Aguilar C, Ocampo JA, Azcón R (1991) Morfología, anatomía y citología de las micorrizas vesículo-arbusculares. En Olivares J, Barea JM (Eds.) *Fijación y Movilización Biológica de Nutrientes*. CSIC. España. pp 149-173.
- Brady NC, Weil RR (2002) *The Nature and Properties of Soils*. Prentice Hall. Upper Saddle River, NJ, EEUU. 960 pp.
- Cuenca G, De Andrade Z, Lovera M, Fajardo L, Meneses E, Márquez M, Machuca R (2002) El uso de arbustos nativos micorrizados para la rehabilitación de áreas degradadas de la Gran Sabana, Estado Bolívar, Venezuela. *Inter ciencia* 27: 165-172.
- Daft MJ, El Giahmi AA (1978) Effects of arbuscular mycorrhiza on plant growth. VIII. Effects of defoliation and light on selected hosts. *New Phytol.* 80: 365-372.
- Day PR (1965) Particle fractionation and particle size analysis. En Black CA (Ed.) *Methods of Soil Analysis. Part I. Physical and Mineralogical Properties*. ASA-SSSA. Madison, WI, EEUU. pp. 545-567.
- Ewel JJ (1980) Tropical succession: manifold routes to maturity. *Biotropica* 12: 2-7.
- Gilbert de Brito J, López de Rojas L, Pérez de Roberti R (1990) *Manual de Métodos y Procedimientos de Referencia (Análisis de Suelos para Diagnósticos de Fertilidad)*. Serie D N° 26. FONAIAP-CENIAP. Maracay, Venezuela. 164 pp.
- Guadarrama-Chávez P, Castillo-Argüero S, Ramos-Zapata JA, Camargo-Ricalde SL, Álvarez-Sánchez J (2008) Propagules of arbuscular mycorrhizal fungi in a secondary dry forest of Oaxaca, Mexico. *Rev. Biol. Trop.* 56: 269-277.
- Helgason T, Merryweather JW, Denison J, Wilson P, Young JPW, Fitter H (2002) Selectivity and functional diversity in arbuscular mycorrhizas of co-occurring fungi and plants from a temperate deciduous woodland. *J. Ecol.* 90: 371-384.
- Helgason T, Merryweather JW, Young JPW, Fitter A (2007) Specificity and resilience in the arbuscular mycorrhizal fungi of a natural woodland community. *J. Ecol.* 95: 623-630.
- Jackson ML (1976) *Análisis Químico del Suelo*. Omega. Barcelona, España. 662 pp.
- Janos DP (1980) Mycorrhizae influence tropical succession. *Biotropica* 12 (Suppl.): 56-64.
- Lebrija-Trejos E, Bongers F, Pérez-García EA, Meave JA (2008) Successional change and resilience of a very dry tropical deciduous forest following shifting agriculture. *Biotropica* 40: 422-431.
- Maherali H, Klironomos JN (2007) Influence of phylogeny on fungal community assembly and ecosystem functioning. *Science* 316: 1746-1748.

- Matteucci S, Colma A, Pla L (1979) *Análisis Regional de la Vegetación y el Ambiente del Estado Falcón. La Vegetación de Falcón*. Instituto Universitario de Tecnología. Coro, Venezuela. 292 pp.
- McGonigle TP, Miller MH, Evans DG, Fairchild GL, Swan JA (1990) A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol.* 115: 495-501.
- Medina E (1995) Diversity of life forms of higher plants in neotropical dry forests. En Bullock SH, Mooney HA Medina E (Eds.) *Seasonally Dry Tropical Forests*. Cambridge University Press. Cambridge, RU. pp. 221-242.
- Mills A, Fey M, Donaldson J, Todd S, Theron L (2009) Soil infiltrability as a driver of plant cover and species richness in the semi-arid Karoo, South Africa. *Plant Soil* 320: 321-332.
- Miransari M (2010) Contribution of arbuscular mycorrhizal symbiosis to plant growth under different types of soil stress. *Plant Biol.* 12: 563-569.
- Mooney HA, Bullock SH, Medina E (1995) Introduction. En Bullock SH, Mooney HA Medina E (Eds.) *Seasonally Dry Tropical Forests*. Cambridge University Press. Cambridge, RU. pp. 1-8.
- Moynahan OS, Zabinski CA, Gannon JE (2002) Microbial community structure and carbon-utilization diversity in a mine tailings revegetation study. *Restor. Ecol.* 10: 77-87.
- Murphy PG, Lugo AE (1986) Ecology of tropical dry forest. *Annu. Rev. Ecol. Systemat.* 17: 67-88.
- Phillips JM, Hayman DS (1970) Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 55: 158-161.
- Ruiz-Jaen MC, Aide TM (2005) Restoration success: how is it being measured? *Restor. Ecol.* 13: 569-577.
- Sieverding E (1991) *Vesicular-Arbuscular Mycorrhiza Management in Tropical Agrosystems*. GTZ. Eschborn, Alemania. 371 pp.
- Smith SE, Read DJ (2008) *The Mycorrhizal Symbiosis*. 3ª ed. Academic Press. Londres, RU. 787 pp.
- van der Heijden MGA, Klironomos JN, Ursic M, Moutoglis P, Streitwolf-Engel R, Boller T, Wiemken A, Sanders IR (1998) Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature* 396: 69-72.
- Vieira DLM, Scariot A (2006) Principles of natural regeneration of tropical dry forests for restoration. *Restor. Ecol.* 14: 11-20.
- Villalobos-Vega R, Goldstein G, Haridasan M, Franco AC, Miralles-Wilhelm F, Scholz FG, Bucci SJ (2011) Leaf litter manipulations alter soil physicochemical properties and tree growth in a Neotropical savanna. *Plant Soil* 346: 385-397.
- Zangaro W, Bononi VLR, Trufen SB (2000) Mycorrhizal dependency, inoculum potential and habitat preference of native woody species in South Brazil. *J. Trop. Ecol.* 16: 603-622.

## USE OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI IN ECOLOGICAL RESTORATION

Laurie Fajardo, Gisela Cuenca, Pauline Arrindell, Ramón Capote and Zamira Hasmy

### SUMMARY

During a perturbation, the loss of soil cover is usually accompanied by a loss of many of the soil physicochemical and biological properties that determine the establishment and productivity of plants. The reduction of the potential of mutualist microbial symbionts is among the main biological problems. Such microbial symbionts are key ecological factors in the nutrient cycle and in the maintenance of soil cover in natural ecosystems. In this category are the arbuscular mycorrhizal fungi (AMF). These fungi are used as tools for species propagation due to their beneficial effects on plant growth, and also as indicators of the recovery of some attributes of the ecosystem, such

as biological interactions that are critical for the long term function of a restored ecosystem. In December 2005 a restoration essay was carried out in areas of dry forests affected by sand extraction, sowing native arboreal species that were subjected to different treatments. Five years afterwards, the state of the AMF communities in the lots where soil cover had been restored was compared to that found in parcels under natural succession with a similar restoration time (5 years). This will allow to know whether the restoration has had an effect on the recovery of an ecological attribute that in turn could reflect the recovery path of this ecosystem.

## O USO DOS FUNGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES NAS PRÁTICAS DE RESTAURAÇÃO ECOLÓGICA

Laurie Fajardo, Gisela Cuenca, Pauline Arrindell, Ramón Capote e Zamira Hasmy

### RESUMO

Durante uma perturbação, a perda de cobertura vegetal geralmente vem acompanhada da perda de muitas das propriedades físico-químicas e biológicas dos solos, as quais determinam o estabelecimento e produtividade das plantas. Dentro da afetação biológica dos solos destaca a redução do potencial dos simbiontes microbianos mutualistas que são fatores ecológicos chave no ciclo de nutrientes e na sustentabilidade da cobertura vegetal nos ecossistemas naturais. Entre estes simbiontes se distinguem os fungos micorrízicos arbusculares (FMA). Estes fungos têm sido empregados não somente como ferramentas para a propagação de espécies por seus bem conhecidos benefícios sobre o crescimento das plantas, mas também têm servido como indicadores na recuperação de alguns atributos

do ecossistema como são as interações biológicas críticas para a função no longo prazo de um ecossistema restaurado. Em dezembro de 2005, foi realizado um ensaio de restauração de áreas de bosques secos afetadas pela exploração de areia através da plantação de espécies arbóreas nativas submetidas a diferentes tratamentos. Cinco anos depois do ensaio de campo é comparado o estado das comunidades dos FMA nos lotes em que se recuperou a cobertura vegetal com aquele encontrado nos lotes sob sucessão natural com a mesma idade da restauração (5 anos). Isto permitirá conhecer se a restauração tem tido efeito sobre a recuperação de um atributo ecológico que poderia refletir a trajetória de recuperação deste ecossistema.