



LAS LEGUMINOSAS AMAZÓNICAS Y SU IMPORTANCIA EN LA RECUPERACIÓN DE SUELOS

Clara Patricia Peña-Venegas¹
Juan Carlos Arias García²

Inga edulis, Juan Carlos Arias

RESUMEN

Los suelos de la región amazónica han sido definidos como suelos con vocación forestal, lo cual implica que cualquier modificación del paisaje diferente al bosque en pie, comienza a generar procesos de degradación.

La Amazonia colombiana está ocupada por 960.239 habitantes (DANE, 2005), quienes para su subsistencia han desarrollado sistemas productivos agrícolas y pecuarios, que van desde los sistemas de autoconsumo (las chagras indígenas) hasta modelos de producción que suplen mercados nacionales de alimentos (ganadería en el departamento de Caquetá). Todos estos sistemas productivos en mayor o menor medida ejercen impactos negativos sobre los suelos llevándolos a su degradación.

La búsqueda de alternativas sostenibles de producción para la región amazónica colombiana, que generen bajos impactos al medio y permitan un uso sostenible y prolongado del suelo, sigue siendo un reto para los investigadores y productores de la región.

El uso de leguminosas ha sido sugerido y promovido en diversos países y cultivos, como una alternativa que contribuye a mejorar la disponibilidad de nutrientes

en los suelos, dada su capacidad natural de fijar nitrógeno simbióticamente.

Igualmente se sabe que se requieren ciertas condiciones específicas en el suelo para que esta simbiosis pueda establecerse efectivamente, como son pH ligeramente ácido, cantidad suficiente de fósforo y otros minerales y una co-evolución que permita el reconocimiento de la planta y la bacteria para establecer simbiosis.

Aún cuando en la Amazonia colombiana se ha promovido el uso de leguminosas, especialmente en sistemas ganaderos y agroforestales, su eficiencia como fijadores de nitrógeno no ha sido tasada rigurosamente, ya que en ciertos casos podría no generar ningún “beneficio” al suelo. El presente trabajo evaluó algunas leguminosas del sur de la Amazonia colombiana y su capacidad natural para establecer simbiosis en diferentes hábitats, con el ánimo de realizar algunas recomendaciones sobre el uso y beneficios potenciales de estas especies en los sistemas productivos de la región.

Los resultados muestran que el género *Inga* fue el más representativo de la zona con una amplia distribución en diferentes hábitats tanto naturales como interveni-

¹ MSc Microbióloga

² Biólogo MSc en Estudios Amazónicos, Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas Sinchi. cpena@sinchi.org.co, jarias@sinchi.org.co

dos y el que posee mayor capacidad para producir nódulos fijadores de nitrógeno con respecto a las otras leguminosas estudiadas. La fijación de nitrógeno vía leguminosa puede ser baja, dado que las prácticas de manejo del suelo afectan y comprometen directamente la capacidad de permanencia de las bacterias simbiotas en el suelo. Por el contrario, la simbiosis micorrizal vesículo arbuscular se restablece rápidamente al colonizar inespecíficamente nuevos huéspedes, por lo que este beneficio puede provenir de leguminosas o de cualquier otra planta afín a las micorrizas. En general, el uso de leguminosas nativas y en especial el género *Inga* puede promoverse como cercas vivas, como especies acompañantes de cultivos de interés, y como componente de arreglos agroforestales de la Amazonia colombiana.

PALABRAS CLAVES

Leguminosas, micorrizas, suelos amazónicos, fertilidad del suelo, amazonia

ABSTRACT

Soils from the Amazonian region are defined as soils with forestry vocation. Therefore, any change of its natural condition as native forest starts degradation processes.

Colombian Amazonia has 960.239 inhabitants, which develop productive agriculture and ranching systems for their own maintenance. These production systems are very diverse, going from the auto subsistence systems (Indigenous itinerant agriculture - *chagra*) to systems linked to chains of food for national supply (Extensive ranching in Caquetá state). All of them, with less or more effect, have negative impacts that conduce to soil degradation.

One main goal for researchers and farmers of the Colombian Amazon region is to search sustainable alternatives of production that permits the use of soil for a longer time and in a more sustainable way.

The use of legumes had been suggested and promoted in different countries and for different crops, as one of the alternatives that improve nutrient availability

into the soil, by its ability to fix nitrogen symbiotically. It is also known that specific soil conditions are required for symbiotic nitrogen fixation such as low acidity, enough quantities of phosphorous and other minerals, and a specific co-evolution of the bacteria and the plant for its mutual recognition.

Although in the Colombian Amazon region the use of legumes has been promoted specially for cattle and forestry projects its efficiency to fix nitrogen has not yet been rigorously assessed for it might not generate any benefit to the soil.

This essay assessed some legume of south Amazon region and their natural ability to stablish symbiosis in different habitats aimed at giving some recommendations on the use and potential benefits of this species for the production systems in the region.

Results show that the genus *Inga* was the most representative in the zone with wide distribution in different natural as well as intervened habitats and that it was the one with greater ability to produce nodules to fix nitrogen via leguminous can be low since the soil handling affect and deteriorate the ability of bacteria to remain in the soil. On the contrary the arbuscular mycorrhizal symbiosis vesículo arbuscular is quickly reestablished upon colonization of new guests; therefore, this benefit can come from legumes or from any other plants akin to mycorrhiza. In general, the use of native legumes and specially those of the *Inga* genus can be used as living fences, as company to other plants of interest and as a component of agricultural or forestry arrangements of the Colombian Amazon.

KEY WORDS

Legume, mycorrhizae, amazon soil, fertility soil, amazon

INTRODUCCIÓN

Aproximadamente el 90% de los suelos de la región amazónica colombiana poseen una baja fertilidad (PRORADAM, 1979). La fase mineral corresponde a materiales que van desde arcillas hasta arenas pobres en minerales, especialmente en fósforo y nitrógeno,

caracterizados por una alta acidez. La nutrición vegetal está soportada, casi exclusivamente, por la disponibilidad de la materia orgánica y su transformación en moléculas nutritivas. Este proceso está mediado por la acción de microorganismos edáficos que logran transformar eficientemente la materia orgánica y movilizarla hacia los sistemas radiculares de las plantas a través de estrechas relaciones que se establecen entre estas, el suelo, los microorganismos y las plantas. Por estas características particulares, la vocación de los suelos de la región se ha definido como forestal (PRORADAM, 1979), ya que cualquier cambio en su cobertura natural implica el comienzo de procesos de degradación y el rompimiento de las relaciones entre organismos.

El fósforo, junto con el nitrógeno y el potasio constituyen los macro nutrientes. El fósforo es comúnmente el elemento limitante en los suelos amazónicos, debido a que es el que primero que se agota en los sistemas de producción. La materia orgánica en descomposición es la única fuente de este elemento. Las plantas pueden mejorar la exploración y absorción de fósforo si establecen la simbiosis con hongos que forman la simbiosis micorriza arbuscular (Howeler & Sieverding, 1982; Dodd, *et al.*, 1990; Janos, 1996). Es conocido que la simbiosis micorriza arbuscular es eficiente proveyendo fósforo a la planta, y que mejora la estructura del suelo, promueve la formación de agregados (Harrison, 2005), la germinación y el establecimiento exitoso de las plántulas (Siqueira *et al.*, 1998).

El segundo macro nutriente que limita la productividad de los suelos es el nitrógeno. A diferencia del fósforo, el nitrógeno tiene dos fuentes importantes de aporte al suelo, la principal es la materia orgánica y la segunda es la fijación biológica que pueden hacer algunos microorganismos asociados o no simbióticamente con plantas. Este proceso consiste en la captación de nitrógeno atmosférico (N_2) y su transformación a (NH_3) con ayuda de la enzima nitrogenasa, producida exclusivamente por la bacteria simbiote que participa en esta asociación (CIAT, 1988).

La simbiosis leguminosa-rizobio es una de las relaciones planta-microorganismo más estudiadas en el

mundo. Esta simbiosis es exclusiva de las leguminosas, lo que le da a este grupo de plantas una ventaja comparativa frente a otras plantas en suelos de baja fertilidad. En ella pueden participar bacterias de los géneros *Rhizobium*, *Bradyrhizobium*, *Sinorhizobium* y *Azorhizobium*, las cuales por un sofisticado proceso, ingresan al interior de la raíz de la planta formando nódulos; allí sufren un cambio fisiológico que las transforma en bacteroides, estado en que la bacteria puede fijar nitrógeno (CIAT, 1988). El fósforo es importante en este proceso, ya que la transformación de nitrógeno gaseoso en amonio es energéticamente costosa con alto consumo de ATP (Adenosin trifosfato: molécula energética en la cual el fósforo es uno de sus constituyentes principales), por cuanto las bacterias capaces de realizar este proceso, solo lo hacen cuando es absolutamente necesario, de lo contrario, utilizarán las fuentes de nitrógeno disponibles en el suelo.

Las leguminosas son el grupo vegetal arbóreo más importante del neotrópico (Gentry, 1993). Está conformado por tres familias, cada una con un gran número de especies: la familia Fabaceae con aproximadamente 500 géneros y más de 10,000 especies (muchas de ellas herbáceas), la familia Mimosaceae con 60 géneros y 3000 especies, y la familia Caesalpinaceae con aproximadamente 180 géneros y entre 2500 y 3000 especies, de porte arbóreo, arbustivo y lianescente. Estas tres familias tienen la capacidad de formar nódulos simbióticos de fijación de nitrógeno, siendo más frecuente la nodulación en especies de las familias Fabaceae y Mimosaceae (CIAT, 1988). De acuerdo con la base de datos del Herbario COAH, para la Amazonia colombiana se han reportado 566 especies de leguminosas (www.sinchi.org.co/herbario, 2008), ocupando el tercero (Fabaceae) y quinto lugar (Mimosaceae) en riqueza de especies en la región (Cárdenas *et al.* 2002b), lo cual constituye un recurso valioso que puede ser manejado para el mantenimiento y la recuperación de la fertilidad del suelo en esta región.

La simbiosis leguminosa-rizobio es importante desde el punto de vista agronómico y ampliamente usada en diversos cultivos en el mundo. En suelos argentinos y uruguayos esta simbiosis puede suplir entre el 45,2 y el 81,7% del nitrógeno que requieren los cultivos de

soya (Racca, 2009). El uso de leguminosas también ha sido promovido en programas de reforestación y enriquecimiento de praderas ganaderas. Algunos de los géneros de leguminosas promovidas para zonas tropicales con este fin son Robinia, Gliricidia, Parasianthes (Fabaceae), y Acacia, Prosopis, Leucaena (Mimosaceae) (Barea & Jeffries, 1995). Sin embargo, se ha visto que no todas las leguminosas responden bien a los suelos ácidos de baja fertilidad (Graham, 1998). Por otra parte la información sobre su desempeño como fijadoras de nitrógeno en campo es escasa y pocas veces se registran datos en los estudios de campo sobre la presencia de simbiosis leguminosa-rizobio y micorriza arbuscular.

Aunque es costumbre promover la siembra de especies de leguminosas para favorecer la captación del nitrógeno, no siempre se observan los resultados deseados. El pobre desempeño de las leguminosas foráneas como fijadoras de nitrógeno radica en que no siempre encuentran condiciones apropiadas para que se desarrolle la simbiosis leguminosa-rizobio, ya que esta relación es altamente específica entre la bacteria simbionte y su planta huésped. Las leguminosas introducidas requieren condiciones que difícilmente se encuentran en suelos de la región amazónica colombiana, como un pH del suelo generalmente mayor a 5,0, cantidades suficientes de calcio (importante en el reconocimiento inicial de los simbiontes), hierro, molibdeno (hacen parte estructural de la nitrogenasa), y fósforo (parte del ATP que es la molécula energética que se consume en el proceso de fijación) (Graham, 1998).

La baja adaptabilidad, crecimiento y por consiguiente baja fijación de nitrógeno observada en leguminosas foráneas, podría suplirse con el uso de leguminosas nativas que por su adaptación natural a las condiciones de la región, desarrollen simbiosis efectivas, aún con una baja disponibilidad de nutrientes en el suelo. Dada la poca información que existe sobre la capacidad de las leguminosas amazónicas para fijar nitrógeno en diversos sistemas productivos, este trabajo evaluó la frecuencia con que las simbiosis micorriza arbuscular y leguminosa-rizobio, ocurren en leguminosas nativas y su potencial de uso en el mejoramiento de los sistemas productivos de la región.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizaron colectas de leguminosas nativas de porte arbóreo y arbustivo en el sur del departamento de Amazonas, entre 3°48'17" y 4°10'09" latitud sur, y entre 69°56'00" y 70°17'44" longitud oeste. El clima de la región es cálido húmedo, con temperatura media anual de 25,8 °C, régimen de lluvias unimodal, con máximos niveles de precipitación desde Diciembre hasta Abril y una temporada de baja pluviosidad a mediados del año (Registros anuales de pluviosidad Ideam-Estación Leticia). El paisaje corresponde a llanura aluvial no inundable sobre terrazas recientes y superficies suavemente onduladas. Se trazaron dos rutas de muestreo, ubicando en ellas cuatro tipos de unidades de vegetación: Bosque (bosque natural), Rastrojo (bosque sucesional joven), Potrero (pastos cultivados) y Chagra (cultivo tradicional indígena). Se seleccionaron cuatro réplicas de cada unidad de vegetación, y en cada unidad de muestreo se tomó una muestra compuesta de suelo rizosférico a partir de cuatro sub-muestras tomadas al azar, homogenizadas y mezcladas para obtener una única muestra de 2 kg de peso húmedo.

Las muestras botánicas fueron determinadas en el Herbario Amazónico Colombiano COAH, por comparación y mediante el uso de claves para el género Inga (Pennington, 1997), y fueron incluidas en el Herbario COAH bajo la serie de colección JCA987 – 1057.

Las muestras de raíces finas fueron usadas para evaluar la presencia de la simbiosis micorriza arbuscular y la presencia de bacterias simbiontes fijadoras de nitrógeno. Para determinar la presencia de micorrizas arbusculares, las raíces fueron clareadas y teñidas con azul de tripano, de acuerdo a la metodología propuesta por Phillips & Hayman (1970). Para cada muestra se cuantificó la colonización radicular a partir de tres réplicas usando la metodología propuesta por McGonigle & Fitter (1990).

La presencia de bacterias simbiontes fijadoras de nitrógeno se determinó inicialmente en campo por la presencia de nódulos en la raíz. Los nódulos encontrados fueron colectados y transportados en sílica gel

hasta laboratorio para verificar la presencia de rizo-bacterias simbiotes; se procesaron según metodología desarrollada por el Centro Internacional de Agricultura Tropical de Palmira, Colombia (CIAT, 1988), para el aislamiento de bacterias simbióticas fijadoras de nitrógeno, con Agar Levadura Manitol (LMA) como medio de aislamiento.

A partir de cinco muestras de suelo rizosférico (10 g cada una) se aislaron las esporas de hongos formadores de micorrizas arbusculares, por medio de tamizado húmedo, seguido por centrifugación en gradiente de sacarosa 50% (peso/volumen), de acuerdo con la metodología de Gerdemann & Nicolson (1963). Las esporas se cuantificaron para estimar la densidad de las poblaciones.

RESULTADOS

En total se colectaron 62 muestras botánicas de leguminosas: 12 provenientes de bosque, 15 de rastrojo, 17 de potrero y 18 de chagra (Tabla 1), correspondientes a 34 especies de ocho géneros de las familias Mimosaceae y Caesalpiniaceae. El número de especies de leguminosas encontrado no varió significativamente respecto al tipo de cobertura muestreada ($P=0,164$; $\alpha=0,05$), aun cuando si varió la composición de cada lugar. Ninguna especie de la familia Fabaceae fue incluida dentro del muestreo. La mayor riqueza de especies correspondió a la familia Mimosaceae y dentro de ésta, el género *Inga* con 19 especies (55,9%). El género *Inga* representó aproximadamente la mitad de las muestras colectadas en bosque secundario, potrero y chagra, y el 81,8% del total de ejemplares colectados en bosque.

El 82,3% de las leguminosas muestreadas en las coberturas de bosque, rastrojo y potrero presentaban la simbiosis micorriza arbuscular, mientras solo el 68,4% de las leguminosas en chagras presentaban esta simbiosis (Tabla 2). Aún cuando la riqueza de micorrizas arbusculares suele ser mayor en ambientes naturales no intervenidos, no se presentaron diferencias significativas ($P = 0,53$; $\alpha = 0,10$) entre el número de especies de hongos micorriza arbuscular presentes en los suelos de diferentes hábitats. La poca especificidad que tienen las micorrizas nativas, implica que

TABLA 1. LEGUMINOSAS NATIVAS ENCONTRADAS EN CUATRO HÁBITATS CONTRASTANTES Y

PRESENCIA DE SIMBIOSIS EN RAÍZ.

HABITAT / ESPECIE	n	Colonización % (DS)	Nódulos
BOSQUE			
<i>Inga alba</i> (Sw.) Willd.	1	70,8 --	No
<i>Inga cayennensis</i> Sagot ex Benth.	1	7,5 --	No
<i>Inga cf. cylindrica</i> (Vell.) Mart.	1	0,0 --	No
<i>Inga cf. lateriflora</i> Miq.	1	0,0 --	No
<i>Inga leptocarpa</i> T.D. Penn.	1	26,7 --	No
<i>Inga striolata</i> T.D. Penn.	1	52,5 --	Si
<i>Inga thibaudiana</i> DC.	1	5,0 --	Si
<i>Inga umbellifera</i> (Vahl) Steud ex DC.	1	15,0 --	No
<i>Inga</i> sp. 1	1	1,7 --	Si
<i>Inga</i> sp. 2	1	6,7 --	No
<i>Parkia</i> sp. 1	1	5,0 --	Si
<i>Parkia</i> sp. 2	1	3,3 --	No
RASTROJO			
<i>Abarema jupunba</i> (Willd.) Britton & Killip	2	12,1 (17,1)	Si
<i>Entada polystachya</i> (L.) DC.	1	11,7 --	Si
<i>Inga bourjonii</i> (Aubl.) DC.	1	6,7 --	No
<i>Inga edulis</i> Mart.	4	4,6 (3,2)	Si
<i>Inga fastuosa</i> (Jacq.) Willd.	1	33,3 --	Si
<i>Inga thibaudiana</i> DC.	5	18,1 (12,4)	No
<i>Senna reticulata</i> (Willd.) H.S. Irwin & Barneby	1	11,7 --	No



Inga stipularis, Juan Caribé Arias

HABITAT / ESPECIE	n	Colonización % (DS)	Nódulos
POTRERO			
<i>Dimorphandra cuprea</i> Sprague & Sandwith	1	42,5 --	Si
<i>Enterolobium</i> sp. 1	1	0,0 --	No
<i>Inga edulis</i> Mart.	3	8,9 (11,4)	Si
<i>Inga gracilior</i> Sprague	1	50,8 --	No
<i>Inga macrophylla</i> Humb. & Bonp. ex Willd.	1	35,0 --	Si
<i>Inga nobilis</i> Willd.	2	6,7 (4,7)	Si
<i>Inga punctata</i> Will.	1	6,7 --	Si
<i>Inga thibaudiana</i> DC.	1	0,0 --	Si
<i>Parkia nitida</i> Miq.	1	0,0 --	No
<i>Parkia</i> sp.1	1	79,2 --	No
<i>Senna macrophylla</i> (Kunth) H.S. Irwin & Barneby	1	45,0 --	No
<i>Senna multijuga</i> (Rich.) H.S. Irwin & Barneby	1	30,0 --	No
<i>Senna reticulata</i> (Willd.) H.S. Irwin & Barneby	2	11,7 (16,5)	Si
CHAGRA			
<i>Abarema jupunba</i> (Willd.) Britton & Killip	1	37,5 --	Si
<i>Inga cayennensis</i> Sagot Ex Benth.	1	48,7 --	No
<i>Inga edulis</i> Mart.	6	5,3 (5,9)	Si
<i>Inga fosteriana</i> T.D. Penn.	1	10,0 --	Si
<i>Inga gracilior</i> Sprague	1	0,0 --	No
<i>Inga thibaudiana</i> DC.	1	31,6 --	No
<i>Inga</i> sp. 3	1	0,0 --	Si
<i>Mimosa</i> sp. 1	1	62,5 --	No
<i>Parkia basijuga</i> Benth.	1	5,8 --	No
<i>Parkia multijuga</i> Benth.	1	20,8 --	No
<i>Senna bacillaris</i> (L.f.) H.S. Irwin & Barneby	2	38,4 (37,7)	No
<i>Senna latifolia</i> (G. Mey) H.S. Irwin & Barneby	1	0,0 --	No

pueden colonizar inespecíficamente cualquier planta huésped disponible. La cantidad de esporas de hongos micorriza arbuscular varió de acuerdo con los diferentes ambientes muestreados. Los números más altos de esporas se encontraron en los ambientes rastrojos y potrero.

La presencia de nódulos fijadores de nitrógeno en las leguminosas evaluadas fue baja (entre 25 y 41%), siendo ligeramente más frecuente en leguminosas establecidas en potreros. La presencia o ausencia de nódulos no estuvo relacionada con la presencia de la simbiosis micorriza arbuscular. La presencia de nódulos fijadores de nitrógeno también estuvo relacionada con el ambiente al que pertenecía la leguminosa. Un mayor número de nódulos fue observado en leguminosas provenientes de potreros.

DISCUSIÓN

De acuerdo con la base de datos del Herbario COAH, para la Amazonia colombiana se han reportado 566 especies de leguminosas (www.sinchi.org.co/herbario, 2009), que pueden ocupar todos los paisajes y coberturas vegetales. Las leguminosas de mayor interés en la recuperación de suelos son aquellas que además de presentar la simbiosis leguminosa-Rhizobium, pueden sobrevivir y desarrollarse exitosamente en zonas intervenidas, pues son estas las que pueden efectivamente usarse en el mejoramiento de los suelos. En el género *Inga*, las especies *I. edulis* e *I. thibaudiana* mostraron tener una relación estrecha con zonas intervenidas (Tabla 1). *Inga* es un género no solo abun-

TABLA 2. EVALUACIÓN DE LAS SIMBIOSIS MICORRIZA ARBUSCULAR Y FIJACIÓN DE NITRÓGENO POR RIZOBACTERIAS EN LEGUMINOSAS NATIVAS BAJO DIFERENTES TIPOS DE HÁBITAT.

Variable	Habitat			
	Bosque	Rastrojo	Potrero	Chagra
No. Individuos muestreados	12	15	17	18
No. Especies reportadas	12	7	14	12
Porcentaje individuos micorrizados	83,3%	81,2%	82,4%	68,4%
Porcentaje colonización radicular /especie	35,8%	35,1%	37,8%	33,8%
No. Esporas/100 g suelo	1600	7830	3807	805
Riqueza de morfotipos por cobertura	4	6	5	4
Porcentaje individuos con nódulos para fijación	33,3%	25,0%	41,2%	36,8%

dante en la región amazónica colombiana, también es uno de los grupos más numerosos y abundantes en la Amazonia brasileña (Ribeiro *et al.* 1999, Sinchi-OEA 1999, Leite *et al.* 2000) y peruana (Vásquez 1997, Sinchi-OEA 1999).

La presencia de la simbiosis micorriza arbuscular fue relativamente baja, si se compara con otros reportes de esta simbiosis en la Amazonia, en donde la colonización alcanza más del 84% (Moyersoen, 1993). Estas diferencias en el porcentaje de colonización radicular de la vegetación de la zona de estudio con otras zonas de la región amazónica no pueden ser explicadas fácilmente, y pueden estar relacionadas directamente con la afinidad intrínseca entre plantas y hongos micorriza arbuscular, la cual depende de la composición florística y micorrícica de cada lugar.

Aun cuando no se encontraron diferencias significativas entre el porcentaje de individuos micorrizados o el porcentaje de colonización radicular de las plantas constituyentes de bosques, rastrojos o potreros, sí se evidenció una diferencia significativa entre estos y zonas con alteraciones recientes del suelo. La colonización más baja por hongos micorriza arbuscular ocurrió en las chagras; estas se establecen después de una tumba y quema del bosque, en donde no solo los propágulos de hongos micorriza arbuscular se quemaron sino que también se pierde la red de micelio externo existente, rompiendo así la comunicación entre las plantas micorrizadas, y las semillas y plántulas jóvenes no micorrizadas.

Así, es posible afirmar que en una chagra, la simbiosis micorriza arbuscular es efectiva después de que todos los nutrientes liberados en el proceso de quema han sido consumidos por las plantas cultivadas, la red de micelio extracelular se ha establecido adecuadamente en el suelo, y las plantas dependen nuevamente de la red de micelio extracelular para obtener los nutrientes que necesitan. Las chagras muestreadas en este trabajo tenían menos de cuatro meses de edad, por lo que es posible deducir que la red de micelio extracelular de hongos micorriza arbuscular requiere más de cuatro meses para restablecerse completamente y colonizar todas las posibles plantas huésped del lugar.

En el caso de los potreros y rastrojos, las raíces de las gramíneas y las plantas en estado de crecimiento segregan una mayor cantidad de exudados ricos en carbohidratos, haciendo que estas plantas sean mejores hospederos para los hongos micorriza arbuscular (Abbott & Robson 1977, Baylis 1969, Sylvia & Neal 1990). Por el contrario, en bosque maduro donde las plantas están en un estado de menor actividad metabólica, los hongos micorriza arbuscular usan la red de micelio extracelular como la principal estrategia de colonización de nuevas plantas huésped (Janos 1992).

La presencia de nódulos fijadores de nitrógeno en las leguminosas evaluadas fue baja (entre 25 y 41%), siendo ligeramente más frecuente en leguminosas establecidas en potreros. Estos resultados son similares a los reportados por Schlesinger (1997), quien indicó que los valores más altos de fijación simbiótica de nitrógeno ocurren en suelos disturbados, lo cual implica que los potreros son las coberturas que han perdido en mayor medida su capacidad de suplir nitrógeno al sistema, obligando así a que las leguminosas con capacidad de encontrar una bacteria simbiote apropiada establezcan la simbiosis, como mecanismo para suplir sus requerimientos de nitrógeno.

En el bosque y rastrojo, la principal fuente de nitrógeno es la materia orgánica proveniente de la hojarasca en descomposición. En la chagra, el nitrógeno es liberado por la acción de la ceniza resultante de la quema que actúa como un neutralizante de la acidez del suelo, mejorando su capacidad de intercambio catiónico.

Es importante anotar que la simple presencia de nódulos viables en las leguminosas no determina la eficiencia de la leguminosa como fijadora de nitrógeno, solo indica que ésta tiene capacidad para fijar. Los volúmenes de nitrógeno fijado dependen de la capacidad de la cepa bacteriana que se asocia con la leguminosa, no teniendo relación con el número o tamaño de nódulos presentes. En este sentido, es posible que aunque la presencia de nódulos fijadores de nitrógeno en leguminosas nativas sea baja, éstos sean muy eficientes aportando cantidades de nitrógeno significativas al suelo. Investigaciones de la zona de estudio en bacterias fijadoras de nitrógeno no asociadas simbióticamente a leguminosas, mostraron que

estas cepas poseen una alta capacidad de fijación de nitrógeno, superando hasta cuatro veces la capacidad de fijación de cepas control (Mantilla, 2008), por lo que resultados similares podrían esperarse de cepas nativas simbióticas.

Es importante notar que en un suelo perturbado, los hongos micorriza arbuscular pueden colonizar rápida e inespecíficamente nuevas plantas por medio de la red de micelio extracelular, restaurando y aumentando el radio de distribución de las micorrizas. Por el contrario, las rizobacterias pueden desaparecer fácilmente cuando la planta huésped es eliminada o cuando no pueden hallar una planta simbiote nueva que las proteja durante y después de un disturbio, por lo que la capacidad de un suelo de proveer parte del nitrógeno que el sistema requiere mediante asociaciones simbióticas puede perderse fácilmente.

CONCLUSIONES

Tal como lo muestran los resultados, las leguminosas tienen una alta capacidad de adaptación y supervivencia en diferentes tipos de hábitats, gracias a 1) su alta riqueza de especies, 2) sus diferentes estrategias de vida (hierbas, arbustos, árboles), 3) su alta capacidad de germinación (Moreira & Moreira 1996), y 4) su capacidad de establecer relaciones simbióticas con hongos micorriza arbuscular y bacterias fijadoras de nitrógeno, que les ayuda a superar situaciones

de estrés y mejorar su competitividad en ambientes de baja fertilidad, en comparación con otros grupos taxonómicos.

Aunque la característica anterior es aplicable en general a todas las especies de leguminosas, sobresale la familia Mimosaceae, que se encuentra entre las diez familias con mayor número de especies útiles para el departamento del Amazonas (Cárdenas & López, 2000), y dentro de ésta, el género *Inga*. Las especies del género *Inga*, conocidas en términos generales como guamas, guamos, guamillas y guabas, presentan frutos comestibles (Cárdenas & López, 2000) que favorecen su establecimiento, permanencia y dispersión por humanos, aves y mamíferos. Presentan además niveles de micorrizas arbusculares similares a otras leguminosas y los más altos porcentajes de nodulación por *Rhizobium* (Tabla 3). Son estas leguminosas, en general especies que colonizan diversos hábitats, incluyendo aquellos con fuerte presión antrópica, lo que les otorga preferencia de uso y manejo por parte de las comunidades, tal como lo evidencia (Cárdenas *et al.*, 2002a). Por último, su rápido crecimiento, la hace un recurso importante para programas de reforestación, agroforestería (Pennington & Revelo, 1997; Sinchi-OEA, 1999) y el mantenimiento o recuperación de suelos.

AGRADECIMIENTOS

Jaqueline Guerra, tecnóloga forestal quien apoyó el trabajo de campo. Las comunidades indígenas Ticuna de Palmeras, Nazaret y San José Km 6, la Reserva Natural Cerca Viva y a las fincas del Km 4, quienes dieron todo su apoyo y colaboración para los muestreos. Los investigadores del Herbario Amazónico Colombiano COAH quienes fueron apoyo permanente en la identificación del material botánico.

TABLA 3. ESPECIES DE HONGOS MICORRÍCICOS ASOCIADOS A LEGUMINOSAS DEL SUR DE LA AMAZONIA COLOMBIANA BAJO DIFERENTES COBERTURAS

Especie	Cobertura			
	Bosque	Rastrojo	Potrero	Chagra
<i>Acaulospora foveata</i>	23,1		24,4	
<i>Acaulospora morrowae</i>		6,2		
<i>Acaulospora tuberculata</i>		42,7		
<i>Acaulospora</i> sp1				17,8
<i>Archaeospora leptoticha</i>			11,5	
<i>Glomus</i> sp1	60,5	40,2	36,7	49
<i>Glomus</i> sp2	3,8	1,3	17,2	
<i>Glomus</i> sp3		4,8		9,4
<i>Glomus</i> sp4	12,6	4,8	10,2	23,8

TABLA 4. CUALIDADES DE LAS ESPECIES DE INGA COLECTADAS EN EL SUR DEL TRAPECIO AMAZÓNICO, ÚTILES PARA SU ELECCIÓN EN PROGRAMAS DE RECUPERACIÓN DE SUELOS.

Especie	Suelos					
	Suelo ácido	Arena blanca	Zona inundable	Mal drenaje	Sequía	Suelos compactados
<i>Inga alba</i>						
<i>I. bourgonii</i>			x			
<i>I. cayennensis</i>	x					
<i>I. cf. cylindrica</i>						
<i>I. edulis</i>	x			x		x
<i>I. fastuosa</i>	x					
<i>I. fosteriana</i>						
<i>I. gracilior</i>						
<i>I. cf. laterifolia</i>						
<i>I. leptocarpa</i>						
<i>I. macrophylla</i>		x		x		x
<i>I. nobilis</i>			x			
<i>I. punctata</i>			x		x	x
<i>I. striolata</i>				x		
<i>I. thibaudiana</i>	x				x	
<i>I. umbellifera</i>			x			

Especie	Atributos								
	Frutos comestibles	Sombrío	Leña	Madera	Control malezas	Resistencia podas	Ornamental	Flores melíferas	Forraje
<i>Inga alba</i>				x					
<i>I. bourgonii</i>									
<i>I. cayennensis</i>		x			x				
<i>I. cf. cylindrica</i>	x								
<i>I. edulis</i>	x		x		x	x			
<i>I. fastuosa</i>									
<i>I. fosteriana</i>									
<i>I. gracilior</i>									
<i>I. cf. laterifolia</i>									
<i>I. leptocarpa</i>									
<i>I. macrophylla</i>	x	x			x				x
<i>I. nobilis</i>	x		x				x	x	
<i>I. punctata</i>	x	x	x		x	x			
<i>I. striolata</i>									
<i>I. thibaudiana</i>		x				x			
<i>I. umbellifera</i>									

Fuente: Pennington y Revelo 1997

BIBLIOGRAFÍA

- Abbott, L. K., y A. D. Robson. 1977. The distribution and abundance of vesicular-arbuscular endophytes in some Western Australian soils. *Australian Journal of Botany*, 25: 515-522
- Barea, J.M., P. Jeffries. 1995. Arbuscular mycorrhizae in sustainable soil-plant systems. En A. Varma, y B. Hock (eds). *Mycorrhiza*, pp. 521-560. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Baylis, G. T. S. 1969. Host treatment and spore production by *Endogone*. *New Zealand Journal of Botany*, 7: 173.
- Cárdenas, D., y R. López. 2000. Plantas útiles de la Amazonia colombiana - Departamento del Amazonas. Perspectivas de los productos no maderables. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, Bogotá. 133 p.
- Cárdenas, D., C. A. Marín C., L. S. Suárez S., A. C. Guerrero T., y P. Nofuya B. 2002a. Plantas útiles en dos comunidades del Departamento del Putumayo. Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas SINCHI, Bogotá. 150 p.
- Cardenas L., D., R. Lopez, C. Marin C, J. C. Arias, J. G. Ramirez, y S. Suarez. 2002b. Estado del conocimiento de las plantas vasculares en la Amazonia colombiana. En J. O. Rangel-Ch., J. Aguirre-C. & M. G. Andrade-C (Eds.). Resúmenes Octavo Congreso Latinoamericano y Segundo Colombiano de Botánica, p. 368. Universidad Nacional de Colombia / Asociación Latinoamericana de Botánica / Asociación Colombiana de Botánica. Bogotá.
- CIAT. 1988. The legume-Rhizobium symbiosis: Evaluation, selection and agronomic management. Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT, Cali. 77 p.
- DANE. 2005. Departamento Nacional de estadísticas. Boletines. Censo General 2005.
- Dodd, J. C., I. Arias; I. Koomen, y D. S. Hayman. 1990. The management of populations of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in acid-infertile soils of a savanna ecosystem. II. The effects of pre-crops on the spore populations of native and introduced VAM fungi. *Plant and Soil*, 122: 241-247.
- Gentry, A. 1993. *Woody plants of Northwest South America*. Conservation International, Washington, D. C. 895 p.
- Gerdemann J. W., y T. H. Nicolson. 1963. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*, 46: 235-244.
- Graham, P. H. 1998. Biological dinitrogen fixation: Symbiotic. En D. M. Sylvia, J. J. Fuhrmann, P. G. Hartel, y D. A. Zuberer (eds.). *Principles and Applications of Soil microbiology*, pp. 322-345. Prentice Hall. Upper Saddle River, New Jersey.
- Harrison M. 2005. Signaling in the arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Annual Review of Microbiology* 59: 19-42.
- Howeler, R. H., y E. Sieverding. 1982. La importancia de las micorrizas en la absorción de fósforo por la yuca. *Suelos Ecuatoriales*, 12(2): 182-193.
- Janos, D. P. 1992. Heterogeneity and scale in tropical vesicular-arbuscular mycorrhiza formation. En D. J. Read, D. H. Lewis, A. H. Fitter, y I. J. Alexander (eds.). *Mycorrhizas in Ecosystems*, pp. 276-282. C. A. B International. Oxford, U. K.
- Janos, D. P. 1996. Mycorrhizas, sucesion, and the rehabilitation of deforested lands in the humid tropics. En J. C. Frankland, N. Magan, y G. M. Gadd (eds.). *Symposium of the British Mycological Society held at Cranfield University*, pp. 129-162. Cambridge University Press, Cambridge.
- Leite, A. M. C., E. L. Pérez, F. R. Campelo, y M. R. Ribeiro, C. C. Silva. 2000. Checklist das espécies amazônicas de interesse agrônomo. En *Congresso Brasileiro de Sistemas Agroflorestais. III Congresso brasileiro de Sistemas Agroflorestais. Resumos Expandidos*, pp. 88-90. EMBRAPA, Manaus.
- Mantilla, A. J. 2008. Abundancia de bacterias diazotrofas en suelos del sur del Trapecio amazónico con potencial para el desarrollo de biofertilizantes. Tesis para optar por el título de Magister en ciencias biológicas. Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá D.C. 150p.
- McGonigle, T. P., y A. H. Fitter. 1990. Ecological specificity of vesicular-arbuscular mycorrhizal associations. *Mycological Research*, 94: 120-122.
- Moreira, F. M. de S., y F. W. Moreira. 1996. Características da germinação de sementes de 64 espécies de leguminosas florestais nativas da Amazônia, em condições de viveiro. *Acta Amazonica*, 26(1/2): 3-16.
- Moyersoen, B. 1993. Ectomicorrizas y micorrizas vesículo-arbusculares en Caatinga Amazónica del sur de Venezuela. *Scientia Guianae*, 3: 33.
- Siqueira J., Saggin-Junior O., Flores-Aylas W., Guimarães P. 1998. Arbuscular mycorrhizal inoculation and superphosphate application influence plant development and yield of coffee in Brazil. *Mycorrhiza* 7: 293-300.
- Pennington, T. D. 1997. The genus *Inga*. *Botany. Royal Botanical Gardens, Kew*. 844 p.
- Pennington, T. D., y N. Revelo. 1997. El género *Inga* en el Ecuador, morfología, distribución y usos. *Royal Botanical Gardens, Kew*. 177 p.
- Phillips, J. M., y D. S. Hayman. 1970. Improved procedure for cleaning roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, 55: 158-161.
- Ribeiro, J. E. L. da S., M. J. G. Hopkins, A. Vicentini, C. A. Sothers, M. A da S. Costa, J. M. Brito, M. A. D. Souza, L. H. P. Martins, L. G. Lohmann, P. A. C. L. Assunção, E. da

C. Pereira, C. F. Silva, M. R. Mesquita, y L. C. Procópio. 1999. Flora da Reserva Ducke: guia de identificação das plantas vasculares de uma floresta de terra-firme na Amazônia Central. INPA, Manaus. 816 p.

Schlesinger, W. H. 1997. Biogeochemistry: an analysis of global change. 2 ed. Academic Press. 588 p. San Diego, U. S. A.

Sinchi-OEA. 1999. Propuestas para el manejo agroforestal en las regiones amazónicas de los países de Bolivia, Brasil, Colombia y Perú. Instituto Amazónico de Investigaciones

científicas SINCHI, Organización de los Estados Americanos OEA. 67 p.

Sylvia, D. M., y L. H. Neal. 1990. Nitrogen affects the phosphorus response of VA mycorrhiza. *New Phytologist*, 115: 303-310.

Vásquez M., R. 1997. Flórula de las Reservas Biológicas de Iquitos, Perú. Missouri Botanical Garden, USA.

Herbario Virtual COAH. www.sinchi.org.co/herbariov/. Accesada junio 2009



Inga edulis, Johan Valbuena