

## **Las Micorrizas: Una alternativa de fertilización ecológica en los pastos.**

Yolai Noda

Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey".

Central España Republicana, CP 44280, Matanzas, Cuba.

E-mail: noda@indio.atenas.inf.cu

### **Resumen**

Debido a los efectos negativos que han causado los fertilizantes químicos en el deterioro del medio ambiente, se trabaja, desde hace algunas décadas, en la introducción de alternativas de fertilización en el manejo de los cultivos. La micorrización es una de las técnicas biológicas empleadas en muchos de ellos; sin embargo, en los pastos aún no se ha logrado extenderla ampliamente en la producción y los estudios han estado dirigidos a algunas leguminosas y muy pocas gramíneas. Las micorrizas permiten una aplicación exitosa mediante el recubrimiento de las semillas. Por otra parte, las relaciones micorrízicas pueden ser la clave para disminuir la cantidad de fertilizantes (especialmente fosfatos) que debe aplicarse para obtener buenos rendimientos; en los suelos con altos contenidos de P la inoculación con micorriza incrementa el crecimiento y el establecimiento temprano de los cultivos. Las plantas desarrollan una calidad biológica superior, en cuanto a mayor altura, vigor y área foliar, y se incrementan los rendimientos (entre 15 y 50%). Protege las raíces contra ciertos hongos patógenos. Además, el biofertilizante permite ahorrar hasta un 50% del volumen de los productos químicos necesarios, lo que favorece la reducción de los insumos y de los costos, e influye en el ejercicio de una agricultura sostenible y ecológicamente más sana.

Palabras clave: Micorrizas arbusculares vesiculares, pastizales

### **Introducción:**

Las actividades humanas han transformado, alterado y destruido los ecosistemas naturales, lo que ha provocado la desaparición o fragmentación de hábitats y la proliferación de especies introducidas (Cruz, 1999). Además, la sobre explotación de los recursos naturales y la contaminación del suelo, el agua y el aire, han puesto en peligro de extinción a numerosas especies en todo el Planeta (García, 1994).

Los fertilizantes químicos son una fuente de contaminación del suelo y las aguas subterráneas si no se utilizan de forma balanceada; es por ello que desde hace algunas décadas se trabaja con la intención de buscar alternativas más ecológicas de fertilización en las plantas, con el objetivo de preservar el ambiente.

El uso de los biofertilizantes es una de las técnicas empleadas por el hombre para obtener elevados rendimientos en los cultivos, sin causarle daños al ambiente. Se plantea que una tecnología que está vinculada con este concepto es la inclusión de microorganismos en las semillas (inoculación), tales como hongos micorrízicos, bacterias fijadoras de N<sub>2</sub> y/o solubilizadores de fósforo, los cuales producen efectos aditivos, de particular importancia en la productividad de los cultivos y en su mejor calidad fitosanitaria, además de aumentar el contenido de materia orgánica del suelo. Estos microorganismos trabajan, básicamente, sobre el abastecimiento de nitrógeno y fósforo hacia el vegetal; también se informan otras funciones no menos importantes: desarrollo radical más abundante y efecto protector contra enfermedades fúngicas de la raíz (<http://www.produccion.com.ar>, 2004).

En el caso específico de las micorrizas vesículo arbusculares (MVA), se conoce su empleo en cultivos como las hortalizas, el café, los árboles frutales y algunos pastos; sin embargo, aún son muy poco utilizadas en estos últimos. La presente reseña tiene como objetivo dar a conocer los principales beneficios que aportan estos microorganismos como fuente de fertilización ecológica en la explotación de los pastos.

### **Hongos formadores de MVA**

Las micorrizas son asociaciones entre la mayoría de las plantas existentes y los hongos benéficos, que incrementan el volumen de la raíz y, por tanto, permiten una mayor exploración de la rizosfera. Son considerados los componentes más activos de los órganos de absorción de los nutrientes de la planta, la que a su vez provee al hongo simbiote de nutrientes orgánicos y de un nicho protector (Corredor, 2008).

La mayoría de las plantas terrestres establecen en sus raíces al menos uno de los tres tipos de asociaciones micorrízicas; de ellas, la del tipo arbuscular es la simbiosis más extendida sobre el Planeta, no solo por el número de plantas hospederas que son capaces de colonizar, sino también por su amplia distribución geográfica (Rivas, 1997).

Su nombre está asociado con estructuras especializadas denominadas arbuscúlos, que se forman en las células corticales de la raíz como resultado de la interacción planta-hongo. Estas estructuras constituyen el punto de intercambio de metabolitos entre los dos participantes de la simbiosis (Ayling *et al.*, 1997; Bago *et al.*, 1998).

La simbiosis micorrízica aumenta de forma marcada la absorción de nutrientes como el nitrógeno, el potasio, el calcio, el zinc, el magnesio y especialmente el fósforo; mejora el transporte y la absorción de agua en el vegetal, así como la resistencia de la planta huésped a la sequía (Merryweather y Fitter, 1996; Alkaraki y Clark, 1998; Rivas, 1997 y Alkaraki, 1998). Además contrarresta el ataque de patógenos, ya sea por la ocupación previa del espacio de las raicillas o por la estimulación de los mecanismos de defensa bioquímica, y contribuye a la formación de agregados del suelo (Dassi *et al.*, 1998; Cuenca *et al.*, 1998).

Hasta hace pocos años, el uso de hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA) se encontraba restringido a aquellos cultivos que necesitan de una fase inicial de establecimiento y crecimiento antes de quedar definitivamente establecidos en el campo, tales como los semilleros de hortalizas, los viveros en frutales y la fase de adaptación en vitroplantas. En esos casos, los volúmenes de inóculos eran aceptables; sin embargo; no se recomendaban para los cultivos de siembra directa aun cuando los efectos eran positivos (Blanco y Salas, 1997; Fernández *et al.*, 1997).

A partir de 1994 comenzó a desarrollarse en Cuba una tecnología novedosa de bajo costo, con insumos nacionales, que consiste en revestir la semilla con cierta cantidad de inoculante microbiano, capaz de establecer la simbiosis con la planta y garantizar la infección de las raíces. Esta técnica permite un ahorro del 99% del inoculante microbiano y entre un 25-50% del fertilizante químico, dependiendo de la fertilidad del suelo y del tipo de biofertilizante (Hernández y Chialloux, 2001).

Vale la pena destacar que aunque hace más de una década que se trabaja en el país con vista a extender el empleo de las MVA, es poco conocido por los agricultores los beneficios de estos microorganismos para las plantas, y las experiencias se enmarcan fundamentalmente en las hortalizas.

Se puede considerar que una de las principales causas que limitan la obtención de micorrizas por los productores, puede estar dada por su forma de reproducción, ya que el fertilizante biológico se obtiene a partir de la inoculación previa de una determinada cepa de HMA a plantas hospederas (ya sea en el momento de la siembra o por recubrimiento de sus semillas), que incluyen por lo general las especies de *Sorghum vulgare* y *Brachiaria decumbens*, entre otras, y su posterior desarrollo en el sistema radical.

El inoculante está listo cuando se cumple el ciclo reproductivo de dichas plantas y es extraído conjuntamente con el sustrato, el cual incluye todos los propágulos infectivos del hongo micorrizógeno (esporas, raicillas infectadas y fragmentos de hifas). No obstante, este puede ser extraído en cualquier otro momento, en dependencia de la cantidad de propágulos existentes en el sustrato (<http://www.surimpex.com.br>; 2008). Gómez *et al.* (1996) recomiendan el recubrimiento de las semillas para los cultivos de siembra directa.

La simbiosis de las endomicorrizas arbusculares debe ser considerada como un elemento esencial para promover la sanidad y la productividad en los cultivos de importancia (Gómez *et al.*, 1996). Los beneficios máximos se obtienen si se inocula con hongos micorrizógenos eficientes y si se hace una selección de combinaciones compatibles de hongo-planta-suelo.

### **Principales tipos de micorrizas**

Aproximadamente unas 5 000 especies de hongos (principalmente Basidiomycetes) están asociadas a los árboles forestales en las regiones boreales y templadas, estableciendo un tipo de micorrizas.

Las raíces de los árboles de las selvas tropicales, de los árboles frutales y de casi la totalidad de las demás plantas verdes, están asociadas a hongos inferiores, la mayoría microscópicos.

Estos hongos, aunque presentes en casi todo el Planeta, asociados con casi todas las plantas verdes, establecen otro tipo de micorrizas y pertenecen a seis géneros y alrededor de un centenar de especies.

Los dos tipos más comunes y más conocidos son las ectomicorrizas y las endomicorrizas (Ferrera y Pérez, 1995). Cada tipo se distingue sobre la base de la relación de las hifas del hongo con las células radicales del hospedero (Popoff, 2008).

Ferrera y Pérez (1995) plantean que en las ectomicorrizas el micelio invade la raíz sin entrar en el interior de las células; en el caso de las endomicorrizas el micelio invade la raíz, inicialmente es intercelular, pero luego penetra en el interior de las células radicales, desde la rizodermis hasta las células corticales. Dichos autores señalan que este tipo de micorrizas es muy frecuente y están extendidas en todo el Planeta. Se distribuyen además, en la mayoría de los árboles de las zonas tropicales y algunos árboles de bosques templados.

La mayoría de las plantas arbóreas y herbáceas poseen este tipo de asociación, al igual que la mayoría de las plantas cultivadas (aproximadamente el 80%). Las endomicorrizas son particularmente importantes en los trópicos, donde los suelos tienden a retener los fosfatos.

Estos hongos inferiores que forman endomicorrizas vesículo arbusculares pertenecen a un solo grupo, las Glomales (Zygomycetes), con seis géneros y muchas especies distribuidas en todos los continentes; son estrictamente simbióticos y no pueden ser cultivados en cultivo puro, o sea en ausencia de su hospedero, contrariamente a los hongos ectomicorrícicos (<http://www.simbiotica.org/fungi.htm>, 2008).

Los arbusculos de las endomicorrizas son estructuras altamente ramificadas, típicamente intracelulares, que se localizan en las células cercanas al cilindro vascular, y su función es la transferencia de nutrimentos desde el suelo hasta el huésped; las vesículas son protuberancias que quedan revestidas por la membrana plásmica. Las hifas, por otra parte, se extienden varios centímetros por fuera de la raíz, incrementando la cantidad de nutrientes absorbidos (<http://www.simbiotica.org/fungi.htm>, 2008). En este sentido, las hifas no están septadas, es decir, ausentes de tabiques que separan las células y las asociaciones hongo/hospedante no son muy específicas. Muchas gramíneas las presentan: *Andropogon*, *Bromus*, *Festuca*, *Panicum*, *Poa*, *Saccharum*, *Sorghum*, *Sporobolus*, *Stipa* y *Zea mays*. El intercambio entre el hongo y el hospedante tiene lugar en los arbusculos, que se llenan de gránulos de fosfatos.

La comprensión de las relaciones micorrícicas puede ser la clave para disminuir la cantidad de fertilizantes (especialmente fosfatos) que deben aplicarse a los cultivos para obtener buenas cosechas (Hernández *et al.*, 1994).

El estudio de los fósiles revela que las plantas más antiguas conocidas presentan endomicorrizas. Algunos investigadores postulan que el establecimiento de dichas asociaciones fue un paso decisivo en la colonización vegetal de la tierra firme. Los suelos disponibles debían ser muy pobres, o sea, que el rol de las endomicorrizas puede haber tenido una importancia crucial, al extremo que los que invadieron la Tierra pueden haber sido simbiosomas antes que organismos (Lopes *et al.*, 1983).

En sentido general, en el mundo se encuentran más distribuidos de forma natural los hongos del tipo endomicorrizas, debido a que estas cepas son más compatibles con la mayoría de las plantas.

Otro de los principales aspectos a tener en cuenta, son los contenidos de fósforo (P) en el suelo para poder lograr una asociación mutualista exitosa entre el microorganismo y la planta, ya que en los suelos pobres en fosfatos el desarrollo de las micorrizas es pobre; sin embargo, en aquellos con presencia de P ocurre una buena multiplicación de MVA, y por tanto, los rendimientos de las cosechas son notablemente superiores.

#### **Asociaciones de los hongos MVA con plantas utilizadas en la alimentación del ganado.**

En el ámbito mundial, se reportan múltiples experiencias acerca de los beneficios de las micorrizas arbusculares en especies frutales, donde frecuentemente se compara el crecimiento de las plantas micorrízicas con las no micorrízicas; estas diferencias son atribuibles a una mayor absorción de nutrientes, una producción de hormonas más alta y mayores contenidos de clorofila (Herrera, 1994). Estas diferencias se han observado en especies tropicales como *Mora excelsa*, *Prioria copaifera* en el Caribe (Trinidad y Tobago, y Panamá) y en múltiples árboles tropicales de la familia *Fabaceae* (Abbot y Robson, 1985). Otros autores reportan beneficios en especies como la chirimoya (Azcón *et al.*, 1991), *Tamarindus indica*, *Parkia biglobosa*, *Sclerocarrha birrea*, *Balanites aegyptiaca*, *Adansonia digitata*, *Codyla pinnatta*, *Saba senegalensis*, *Landolfia heudelotti*, *Dialium guineensis*, *Anacardium occidentale*, *Afsellia africana* y *Aphala seneganensis* (Crush, 1974).

Las leguminosas también presentan asociaciones tripartitas con el *Rhizobium* y las micorrizas arbusculares, que mejoran el desarrollo de los nódulos y la fijación de nitrógeno, e incrementan el rendimiento de los cultivos y la eficiencia en el uso de los fertilizantes (Crush, 1974; Powell, 1976; Daft, 1978; Kawall y

Yamamoto, 1986; Ferrero y Alarcón, 2001). También al incrementarse la absorción de fósforo por la micorriza se mejora el desarrollo radical y el crecimiento de la planta, y se acelera la maduración de las cosechas.

Un sistema de inoculación que incluye una mezcla de hongos MVA con rizobios que se adhieren a las semillas, como las de trébol, alfalfa y otras leguminosas forrajeras, aumenta la tasa de germinación en el campo, donde una gran proporción de semilla se pierde debido a su pequeño tamaño (Hernández y Hernández, 1996).

En Colombia, la aclimatación, la adaptación y la multiplicación de los cultivos en diversas condiciones agroecológicas, son las mayores limitantes para la producción sostenible y eficiente. Los microorganismos han tenido un gran potencial para contribuir a la solución de múltiples problemas de la agricultura; dentro de ellos, los biofertilizantes basados en micorrizas arbusculares son una alternativa para reducir las pérdidas en los procesos de multiplicación de especies de plantas, y mejorar la aclimatación y la nutrición de los cultivos de importancia actual. Estas tecnologías tienen aplicación en un gran número de especies, incorporadas a la producción de semilla de buena calidad, tanto a nivel de vivero como en el manejo de los materiales micropropagados en el área de la biotecnología vegetal (Azcón *et al.*, 1991).

También en los Estados Unidos se han estudiado varias especies de leguminosas (*Lupinus*, *Astragalus*, *Trifolium*) que presentan micorrizas vesículo arbusculares con hifas aseptadas, es decir, sin divisiones o tabiques que separan las células; o micorrizas formadas por hifas septadas que a menudo forman esclerocios intracelulares (Abbot y Robson, 1985).

En Cuba, el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) ha llevado a cabo varias investigaciones en diferentes cultivos de importancia económica como: soya, frijol, guisantes, maíz, arroz, sorgo, girasol, trigo, algodón, plátano, raíces y tubérculos, hortalizas, posturas de cafeto, frutales y pastos.

El nombre comercial que se le ha dado al producto es EcoMic® y se ha probado que se obtienen incrementos en los rendimientos entre 15 y 50% (tabla 1), mejor comportamiento frente a la sequía, mayor aprovechamiento de los nutrientes y disminución de los fertilizantes, tanto en condiciones de la agricultura familiar en pequeñas extensiones y con siembra manual, como en la agricultura intensiva, en grandes extensiones y con siembra mecanizada. Este producto permite su aplicación exitosa mediante el recubrimiento de las semillas, en dosis del 6 al 10% de su peso, por lo que se requieren pequeñas cantidades por hectáreas (1-6 kg.ha<sup>-1</sup>), lo cual amplía sensiblemente el espectro de acción práctica de la simbiosis (<http://www.inca.edu.cu/productos/pdf/ecommic.pdf>, 2008).

Tabla 1. Incremento en el rendimiento por la aplicación de EcoMic®.

Cultivo	Incremento (%)
Soya	20-50
Maíz	20-50
Arroz	15-50
Algodón	18-50
Girasol	15-50
Tomate	15-50
Trigo	15-50

Frijol	36-50
Pastos	33-70
Cafeto (posturas)	30-170

Fuente: <http://www.inca.edu.cu/productos/pdf/ecomimc.pdf>. 2008

En estudios realizados por Ávila *et al.* (2003) en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes de Sancti Spiritus, se determinó el efecto de las cepas de *Bradyrhizobium* y micorrizas vesículo arbusculares en la producción de semillas de kudzú (*Pueraria phaseoloides*). En el ensayo se emplearon cinco tratamientos, que consistían en un testigo absoluto, *Bradyrhizobium*, micorrizas vesículo arbusculares, *Bradyrhizobium* más micorrizas vesículo arbusculares y un control con nitrógeno (25 kg/ha). Los resultados mostraron un efecto positivo en la producción de semillas cuando las plantas fueron inoculadas con *Bradyrhizobium* más micorrizas vesículo-arbusculares (633 y 682 kg/ha para el primer y segundo año, respectivamente), la cual difirió significativamente del testigo. La dependencia a estos microorganismos fue notable, ya que siempre superaron al tratamiento control. La semilla presentó buena calidad y el porcentaje de germinación fue superior (84%) cuando se coinoculó.

Tovar (2000), en la sabana de Bogotá, estudió el efecto de la inoculación con *Rhizobium* (*Sinorhizobium*) *meliloti* GR-4 y el hongo *Archaeospora leptoticha*, en la fijación simbiótica de nitrógeno, la absorción de fósforo y el porcentaje de micorrización en alfalfa (*Medicago sativa* L. var. Florida 77) en un suelo andept de la serie Bermeo. La inoculación dual (rizobio-hongo MA) demostró la eficacia de la fertilización biológica, al incrementar significativamente el efecto del encalado y la fertilización química; el rendimiento aumentó en 26% y se mejoró el contenido de nitrógeno (32%) y fósforo (28%) en el follaje. Estos resultados destacan el estímulo de los dos microsimbiontes en el aprovechamiento de la fertilización química. La inoculación dual también estimuló la fijación biológica de nitrógeno, al aumentar el rendimiento (25%) y el contenido de nitrógeno del follaje (22%). También superó el efecto de la inoculación fúngica, ya que aumentó el rendimiento en 31% y la cantidad de fósforo absorbido en 34%, lo que demuestra los beneficios de la simbiosis tripartita alfalfa-rizobio-hongo micorrízico arbuscular.

Howeler *et al.* (1987), también en Colombia, condujeron experimentos en campo y en invernadero para evaluar el efecto de las MVA en el crecimiento de varios pastos tropicales; para ello se empleó un gran número de especies de MVA y se determinó la efectividad en el incremento de fósforo en los suelos ácidos y con bajos contenidos de P. La efectividad de las especies de MVA fue altamente variable y dependió del pH y de las aplicaciones de fertilizantes, así como también de la temperatura del suelo y su humedad. *Glomus manihoti* y *Entrophospora colombiana* fueron las especies más efectivas para los pastos, en suelos con bajo pH y altos contenidos de N, P y K. A bajos niveles de P, las especies de pastos dependieron mucho de las micorrizas, pero en los suelos con altos contenidos de P la inoculación con MVA en varios pastos leguminosos y pasturas, en combinación con aplicaciones de fosforita, incrementó el crecimiento y el establecimiento temprano.

Por otra parte, en Costa Rica se ha observado que uno de los factores fundamentales para la restauración de los bosques tropicales a partir de pastizales se debe, por lo general, a la ausencia o presencia de micorrizas en

áreas del bosque; en este sentido, Morales (2008) señala que si en el bosque existe algún árbol que contenga en sus raíces las micorrizas necesarias, el área será restaurada más rápidamente de forma natural.

En otras investigaciones, Marschner (1995) reporta que el principal efecto beneficioso de la micorrización en el crecimiento de la planta hospedera, se debe al incremento en el área superficial subterránea combinada (raíces y micorrizas) para la adquisición de nutrientes. El efecto beneficioso de las micorrizas es, por lo tanto, de especial importancia para aquellas plantas que tienen un sistema radical grueso y pobremente ramificado, y simultáneamente carecen de mecanismos específicos de respuesta radical, como por ejemplo, las plantas enraizadas en grupos. Los efectos benéficos de las micorrizas en el crecimiento de la planta hospedera son comúnmente estimados como dependencia micorrícica, pero en la mayoría de los casos el término respuesta a la micorrización puede ser más apropiado.

Se plantea que en los pastos con área superficial grande no existe respuesta a la micorrización, aun a niveles extremadamente bajos de fósforo en el suelo. En contraste, en las leguminosas con raíces y pelos radicales cortos dicha respuesta es alta. En investigaciones efectuadas por Ferrero y Alarcón (2001) se halló una relación inversa entre la longitud del pelo radical y la dependencia a la micorrización, en cinco especies de pastos. En varias leguminosas esta relación inversa es también indicada en el número de nódulos.

Por otra parte, Marschner (1995) señala que al parecer hay una diferencia típica en la respuesta a MVA entre los pastos C<sub>3</sub> y C<sub>4</sub>. Los pastos C<sub>3</sub> de estación fría tienen sistemas radicales altamente fibrosos, mientras que los pastos C<sub>4</sub> de estación cálida tienen sistemas radicales más gruesos. En los pastos C<sub>4</sub> hay un fuerte crecimiento radical, la respuesta es positiva a cualquier fertilización fosforada o a la inoculación con MVA. Sin embargo, en estos pastos también existen grandes diferencias entre especies con respecto a la respuesta a las MVA. Estos resultados corroboran los obtenidos por Schweiger *et al.* (1995), quienes también informaron el efecto positivo de las micorrizas según las especies de pastos.

A través de todos los aspectos analizados, se pudo constatar que la acción del hongo se dirige a las partes radiculares, donde fomenta un crecimiento y desarrollo más ágil. Esto permite al cultivo fertilizado con MVA extender sus raíces hacia mayores áreas del terreno y captar más humedad y nutrientes. A cambio de ese servicio, la planta ofrece al hongo una parte de los carbohidratos que ella elabora.

En cuanto a los efectos fisiológicos, se aprecian resultados positivos en el ciclo de crecimiento y desarrollo de los cultivos. Esto se manifiesta en una calidad biológica superior, en cuanto a mayor altura, vigor y área foliar de las plantas. También se incrementan los rendimientos (entre 15 y 50%). Otra ventaja está en la acción que ejerce sobre las raíces, protegiéndolas contra ciertos hongos patógenos.

Con relación al efecto económico, el biofertilizante permite ahorrar hasta un 50% del volumen de los productos químicos necesarios en cada cultivo. Esto favorece la reducción de los insumos y los costos, e influye en el ejercicio de una agricultura sostenible y ecológicamente más sana.

En sentido general, se puede aseverar que el uso de las micorrizas origina incrementos en el crecimiento y en la producción agrícola, además de enriquecer la microbiota y la fauna del suelo y evitar su degradación.

## **Conclusiones**

La simbiosis micorrízica es un fenómeno ampliamente fundamentado y reconocido por la comunidad científica internacional, y no hay duda de los incrementos en la absorción de los nutrientes y el agua en las plantas micorrizadas, así como de un mayor crecimiento y rendimiento de los cultivos. Aunque las publicaciones sobre este tema se incrementan constantemente, son pocos los ejemplos prácticos de manejo de la simbiosis. Sin embargo, un manejo efectivo de esta se ha impulsado en los últimos años, en Cuba y otros países de América Latina, a través de la utilización de las micorrizas vesículo arbusculares.

Es una tecnología que puede ser aplicada en mayor escala en las empresas productoras del país; sin embargo, existe aún poco conocimiento sobre la adquisición, aplicación y manejo del producto, por lo que se debe continuar extendiendo su conocimiento y sus resultados.

### Referencias bibliográficas

- Abbot, L. & Robson, A. 1985. The effect of mycorrhizae on plant growth. VA Mycorrhizae (Powell, C. y Bagyaraj, D., Eds.). Boca Ratón, Florida. CRC Press, Inc. p.113
- Alkaraki, G.M. 1998. Benefit, cost and weater use efficiency of arbuscular mycorrhizal durum wheat grown under drought stress. *Mycorrhiza*. 8 (1):41
- Alkaraki, G.M & Clark, R.B. 1998. Growth, mineral acquisition and weater use by mycorrhizal wheat grown under weater stress. *J. of Plant Nutrition*, 21 (2):263
- Ávila, U. *et al.* 2003. Efecto de *Bradyrhizobium* sp. y micorrizas vesículo-arbusculares en la producción de semillas de *Pueraria phaseoloides*. *Pastos y Forrajes* 26 (4):303.
- Ayling, S.M. *et al.* 1997. Transport processes at the plant fungus interface in mycorrhizal associations physiological studies. *Plant and Soil*. 196:305
- Azcón, R. *et al.* 1991. Selective interactions between different species of mycorrhizal fungi and *Rhizobium meliloti* strains, and their effects on growth, N<sub>2</sub>-fixation (15N) and nutrition of *Medicago sativa* L. *New Phytol.* 117:399
- Bago, B. *et al.* 1998. Branched absorbing structures a feature of the extraradical mycelium of symbiotic arbuscular micorrhizal fungi. *New Phytol.* 139 (2):375
- Blanco, F. & Salas, E. 1997. Micorrizas en la agricultura. Contexto mundial e investigaciones realizadas en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*. 21 (1):55
- Biofertilizantes y bioestimulantes agrícolas/micorriza. El biofertilizante micorrizógeno EcoMic. <http://www.surimpex.com.br>. Consulta: septiembre del 2008.
- Conservación del suelo: Biofertilización, aspectos productivos y consecuencias en el manejo y conservación de la fertilidad del suelo. 2004. <http://www.produccion.com.ar>. Consulta: septiembre del 2008.
- Corredor, Gloria A. Micorrizas arbusculares: Aplicación para el manejo sostenible de los agroecosistemas. <http://www.turipana.org.co/Micorrizas.html>. Consulta: septiembre del 2008.
- Crush, J. 1974. Plant growth responses to vesicular arbuscular mycorrhiza. VII. Growth and nodulation of some herbage legumes. *New Phytol.* 73:745
- Cruz, Blanca. 1999. Micorrización en la conservación de los bosques. *Revista Científica Multidisciplinaria de la Universidad Autónoma del Estado de México*. 6 (2):159



- Cuenca, G. *et al.* 1998. Arbuscular mycorrhizae in the rehabilitation of fragile degraded tropical land. *Biology and Fertility of Soils*. 26 (2):107
- Daft, M. 1978. Nitrogen fixation in nodulated and mycorrhizal crop plants. *Ann Appl Biol*. 88 (3):461
- Dassi, B. *et al.* 1998. Do pathogenesis-related proteins play a role in bioprotection of mycorrhizal tomato roots towards *Phytophthora parasitica*?. *Physiology and Molecular Plant Pathology*. 52 (3):167
- Ecomic®, biofertilizante de amplio espectro para la producción agrícola. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. <http://www.inca.edu.cu/productos/pdf/ecomic.pdf>. Consulta: septiembre del 2008.
- Fernández, F. *et al.* 1997. Tecnología de recubrimiento de semilla con biofertilizantes micorrizógenos. Alternativa sostenible de bajo costo. En: III Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica. Programa y resúmenes. Villa Clara, Cuba. p. 76
- Ferrera, R. & Pérez, J. 1995. Agromicrobiología, elemento útil en la agricultura sustentable. Colegio de Posgraduados en Ciencias Agrícolas. Montecillo, México. p.48-49
- Ferrero, R. & Alarcón, A. 2001. La microbiología del suelo en la agricultura sostenible. *Ciencia Ergo Sun*. 8 (2):175
- García, C. 1994. Áreas naturales protegidas. Administración ecológica. RAP-INAP. México, D.F. Num. 87.
- Gómez, R. *et al.* 1996. Principales resultados de la aplicación de biofertilizantes en cultivos de interés económico en Cuba utilizando la tecnología de recubrimiento de las semillas. En: IX Seminario del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Programa y Resúmenes. La Habana. p. 72
- Hernández, A. & Hernández, A. 1996. Efecto de la interacción *Rhizobium*-MA en el cultivo de la soya (*Glycine max* (L) Merrill). *Cultivos Tropicales* 17 (1):5
- Hernández, G. *et al.* 1994. Uso y manejo de inoculantes a base de *Rhizobium* en vignas.. Programa y Resúmenes. IX Seminario Científico del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas, La Habana. *Cultivos Tropicales*. 15 (3):73
- Hernández, María I. & Chialloux, Marisa. 2001. La nutrición mineral y la biofertilización en el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Temas de Ciencia y Tecnología*. 5 (13):11
- Herrera, R.A. 1994. Ecología de las micorrizas en ecosistemas tropicales. XVII Reunión Latinoamericana de Rizobiología (RELAR). Ciudad de La Habana, Cuba. p. 38
- Howeler, R.H. *et al.* 1987. Practical aspects of mycorrhizal technology in some tropical crops and pastures. *Plant and Soil*. 100 (1-3):249
- Kawall, Y. & Yamamoto, Y. 1986. Increase in the formation and nitrogen fixation of soybean nodules by vesicular arbuscular mycorrhizae. *Plant Cell Physiol*. 27 (3):399
- Lopes, E. *et al.* 1983. Caracterizacáo das micorrizas vesiculararbusculares (MVA) e seus efeitos no crescimento das plantas. *R Bras Ci Solo* 7 (1):1
- Marschner, H. 1995. Mineral nutrition of Higher Plants. (2nd ed). *Academic Press*. London
- Morales, D. 2008. Programa de Restauración y Silvicultura del Bosque, ACG. <http://www.acguanacaste.ac>. Consulta: septiembre del 2008

- Merryweather, J. & Fitter, A. 1996. Phosphorus nutrition of and obligately mycorrhizal plant treated with the fungicide benomyl in the field. *New Phytol.* 132:307
- Morfología de plantas vasculares. <http://www.simbiotica.org/fungi.htm>. Consulta: septiembre del 2008.
- Powell, C. 1976. Mycorrhizal fungi stimulate clover growth in New Zeland hill country soils. *Nature* 264: 436
- Popoff, O.2008. Beinofungi: Micorrizas. <http://www.fai.unnc.edu.ar>. Consulta: septiembre del 2008.
- Rivas, G.G. 1997. Micorrizas: manejo integrado de plagas. *Hoja Técnica.* 20:1
- Schweiger, P.F. *et al.* 1995. Root hair length determines benefical effect of a *Glomus* species on shoot growth of some pasture species. *New Phytol.* 131:247
- Tovar, J. 2000. Incremento en invernadero de la calidad y cantidad del follaje de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) variedad Florida 77 causado por la combinación de fertilización biológica y química en un suelo de la serie bermeo de la sabana de Bogotá. *Revista de la Facultad de Ciencias. Edición especial.* 11:61

Recibido el 20 de octubre del 2008

Aceptado el 18 de febrero del 2009