

20663

3 copia



BIBLIOTECA AGROPECUARIA

DE COLOMBIA

30 AGO 2004



Programa Nacional de Transferencia
de Tecnología Agropecuaria

Boletín Técnico No. 31

LA BIOFERTILIZACIÓN

Una alternativa económica para
la nutrición de la soya en el
piedemonte llanero

Carmen Rosa Salamanca Solís¹

Villavicencio-Meta, Colombia

¹ I.A. M. Sc. Suelos. Investigadora asociada. Programa Recursos Biofísicos. Corpoica, Villavicencio, Meta. csalamanca@corpoica.org.co.

La financiación de esta publicación se logró gracias a los recursos de cofinanciación del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia en el desarrollo del Plan de Oleaginosas de ciclo corto y es producto del proyecto "Efecto de los biofertilizantes sobre la eficiencia en la absorción de los nutrientes y mejoramiento integral del cultivo de soya en la Orinoquia Colombiana", ejecutado por Corpoica Regional Ocho en el período 2000 - 2001

Autor:
S. S., C. R.

I. C. A. - B. A. S.	
No. Acceso	
Compra	<input type="checkbox"/>
Conjeto	<input type="checkbox"/>
Donación	<input type="checkbox"/>
Procedencia	Depósito Legal Corpoica
Fecha	VIII-24-04
Costo	\$7.000

ISBN: 958-97452-0-2

Primera Edición

Abril de 2002

Villavicencio, Meta, Colombia

Publicación Corpoica Regional Ocho

Programa Regional de Investigación Agrícola

Código: 02.02.32.08.32.02

Edición: M.V.Z. M.Sc. César Augusto Jaramillo Salazar

Programa Regional Métodos de Transferencia de Tecnología

Foto portada: Micorrizas y raíz de soya nodulada

Fotografía: Carmen Rosa Salamanca y CIAT

Tiraje: 1000 ejemplares

Armada digital e impresión: Editora Guadalupe Ltda.

Bogotá, D.C. - Colombia

2

CONTENIDO

PRESENTACIÓN	4
INTRODUCCIÓN	5
LA MICROBIOTA DEL SUELO Y SU ACTIVIDAD	6
Microorganismos asociados con la nutrición de las plantas	7
FIJACIÓN Y MOVILIZACIÓN BIOLÓGICA DE NUTRIENTES	8
Fijación biológica de nitrógeno	8
Fijación biológica de nitrógeno en soya	9
Producción de inoculantes para soya en Colombia y los Llanos Orientales	11
Beneficios de la biofertilización nitrogenada	11
LAS MICORRIZAS. IMPORTANCIA, ESTRUCTURA Y FUNCIONES	11
Estructuras del Hongo Micorrízico Arbuscular (H. M. A.)	12
Función de las micorrizas	14
Especificidad ecológica	14
Multiplicación de los hongos micorrízicos arbusculares (H.M.A), para la producción de inoculante	14
Interacciones rizobio - micorriza	16
AVANCES DE INVESTIGACIÓN EN BIOFERTILIZANTES EN LA REGIÓN DE LA ORINOQUIA Y PIEDEMONTE AMAZÓNICO	16
Investigación con inoculantes rizobianos	16
Investigación en micorrizas en el Piedemonte Amazónico	17
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	18
GLOSARIO DE TÉRMINOS MICROBIOLÓGICOS	19
BIBLIOGRAFÍA	23

PRESENTACIÓN



En lugar a dudas la producción de soya en los Llanos Orientales ha adquirido relevancia en cuanto al número de hectáreas y productores comprometidos. En concordancia con éste desarrollo, el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural desde hace varios años ha venido financiando la investigación y la transferencia de tecnología en éste renglón de producción, a través del Plan de Oleaginosas de Ciclo Corto, liderado y elaborado por la Regional Ocho de Corpoica. Actualmente apoya el Plan de "Investigación y transferencia de tecnología para la producción competitiva y sostenible de la soya en Colombia", proceso que se ha enfocado hacia la búsqueda de nuevos recursos genéticos, alternativas de manejo integrado de suelos, aguas y de plagas, manejo ambiental, valoración socioeconómica y transferencia de tecnología, con el propósito de resolver la problemática tecnológica de éste renglón de producción y hacerlo más competitivo y sostenible en el ámbito regional.

Los sistemas alternativos de producción agrícola han adquirido actualmente gran importancia, especialmente en el aprovechamiento de recursos biológicos como la fijación del nitrógeno atmosférico por las leguminosas, el aporte de las micorrizas en mejoramiento de la absorción de agua y nutrientes por la planta, los que acompañados de otras prácticas sostenibles de manejo como la rotación de cultivos y siembra de policultivos, el control biológico, uso de especies vegetales como abonos verdes y de cobertura y los sistemas de producción orgánica entre otros, permiten apuntar al desarrollo de una agricultura sostenible y competitiva. El nitrógeno es un elemento esencial para el crecimiento y desarrollo de las especies vegetales y por su baja disponibilidad en la mayoría de los suelos de Colombia, constituye uno de los factores más limitantes de la producción de cultivos. Actualmente este nutriente representa entre 31 y 80% del costo de los fertilizantes en la producción de soya en el Piedemonte Llanero.

Este documento está dirigido a los asistentes técnicos, docentes, agricultores empresariales y se constituye en un valioso aporte al desarrollo de la producción de soya regional, como una propuesta a la reducción de costos de producción con base en las tendencias actuales de la agricultura moderna.

Jaime Triana Restrepo
Director Regional Ocho Corpoica

INTRODUCCIÓN



Los biofertilizantes son insumos biológicos de bajo costo que sustituyen total o parcialmente a los fertilizantes sintéticos. De la calidad y uso adecuado de estos productos depende la sostenibilidad de los agroecosistemas, acompañados de otras prácticas sostenibles de manejo agrícola, como son la rotación y sucesión de cultivos, la siembra de policultivos, el control biológico de plagas y enfermedades, la producción orgánica, los sistemas de cultivo y preparación del suelo, entre otros.

En la actualidad ha crecido notablemente el interés por los biofertilizantes, debido a la necesidad mundial de buscar y desarrollar alternativas más limpias y menos costosas para el suministro de nutrientes a las plantas. La reciente formación de una conciencia ecológica de la sociedad, ha surgido como consecuencia de la práctica de una agricultura intensiva y de la aplicación indiscriminada de fertilizantes químicos con el consiguiente deterioro progresivo del ambiente y contaminación de los ecosistemas, lo cual ha creado la preocupación por recuperar y estabilizar los suelos mediante el aprovechamiento de los recursos biológicos de nutrientes y lograr una productividad agrícola sostenible y un desarrollo socioeconómico equitativo (Altieri, 1997).

En la rizósfera se llevan a cabo importantes procesos que definen el desarrollo y la producción de las plantas. Existe un flujo de compuestos, producto de la fotosíntesis, que son exudados por la raíz en forma de carbohidratos, aminoácidos, vitaminas, enzimas, nucleótidos, etc. Esto hace de este sitio, una zona ideal para el crecimiento de una gran variedad de microorganismos que al establecerse, tienen diferentes funciones relacionadas con las plantas. Gracias a estos organismos existe la disponibilidad de nutrimentos a través de la liberación del fósforo (P), potasio (K), la fijación biológica de N_2 , la producción de hormonas vegetales, la simbiosis con hongos formadores de la micorriza y el control biológico natural (Ferrera Cerrato y Pérez, 1995).

LA MICROBIOTA DEL SUELO Y SU ACTIVIDAD

En el suelo, medio natural para el desarrollo de las plantas, habita una comunidad compleja y variada de algas, bacterias, hongos y actinomicetos. Estos microorganismos, junto con los virus y los componentes de la microfauna (amebas, artrópodos, flagelados, nemátodos y otros), forman la microbiota del suelo

Y aunque se estima que existen en el suelo unas 30.000 especies de bacterias y 1.500.000 de hongos, solo se han identificado 8% y 1%, respectivamente.

Los microorganismos encuentran nichos adecuados para desarrollarse como en la fase sólida del suelo, en la superficie de las partículas, en el interior de los agregados o asociados a las raíces, ese conjunto queda inmerso en la atmósfera del suelo y en su solución acuosa (Barea, 1997).

Las principales actividades de los microorganismos en el suelo son: descomposición y mineralización de la materia orgánica, producción de humus, ciclaje de nutrientes y energía, fijación de nitrógeno atmosférico, producción de compuestos complejos que causan agregación del suelo, degradación de xenobióticos del suelo y control biológico de plagas y enfermedades (Moreira y Siquiera, 2002).

La actividad y diversidad de la microbiota, además de condicionar la fertilidad del suelo, determina la estabilidad y funcionamiento de los ecosistemas naturales y agroecosistemas. *La diversidad microbiana es esencial para garantizar los ciclos de los nutrientes y los fenómenos de descomposición de material vegetal en cualquier ecosistema terrestre. En un gramo de suelo pueden existir decenas de millones de microorganismos. Sin embargo, la disponibilidad de nutrientes asimilables, particularmente de sustratos carbonados metabolizables, es baja.*

Ahora bien, cuando se introducen plantas en el sistema, la situación de los microorganismos cambia en forma drástica, teniendo en cuenta que estas son la principal fuente de sustratos energéticos al suelo. Para definir esta nueva situación, Lorenz Hiltner introdujo en 1904 el término rizósfera, que designaba el volumen de suelo que rodea las raíces y que resulta afectado por el desarrollo de ellas.

El aporte de compuestos carbonados solubles e insolubles, responsables del efecto rizosférico, ocurre en forma de exudados que se liberan de las células vivas o muertas de la raíz y otros restos vegetales (Barea, 1997).

Los exudados y secreciones resultantes de los procesos metabólicos producidos por las plantas tienen una alta diversidad y son compuestos utilizados por los microorganismos y también son producidos por estos. Estos comprenden varios tipos de aminoácidos, ácidos orgánicos, carbohidratos, derivados de ácidos nucleicos, factores de crecimiento, enzimas y otros diversos compuestos. Los microorganismos también producen efectos negativos como: desnitrificación, reducción de sulfatos, producción de compuestos inhibitorios e inmovilización de nutrientes (Moreira y Siqueira, 2002).

La liberación de sustratos orgánicos por las raíces es superior cuando las plantas crecen en presencia de microorganismos que en ausencia de ellos. Se ha comprobado que el porcentaje de carbono procedente del fotosintato, liberado al suelo en presencia de microorganismos, era del 12-18% y en su ausencia era del 5-10%.

Para compensar ese consumo de compuestos carbonados, los microorganismos aportan a las plantas nutrientes, y sobre todo estimulan la fotosíntesis, con el consiguiente incremento de la producción de compuestos carbonados por el vegetal.

En la zona rizosférica se dan diferentes tipos de interacción entre las comunidades de microorganismos, que se agrupan en dos formas generales: interacciones positivas y negativas. Los microorganismos del suelo pueden ser saprófitos, simbioses parasíticas y simbioses mutualistas.

- Los saprófitos utilizan, en "vida libre", compuestos orgánicos procedentes de residuos animales, vegetales o microbianos.
- Los simbioses parasíticas infectan órganos de las plantas causándole enfermedades.
- Los simbioses mutualistas, colonizan las raíces de las plantas donde encuentran compuestos carbonados, benefician el desarrollo y nutrición de la planta aportándole nutrientes minerales.

En el caso de la simbiosis mutualista, se ha llegado a un grado de especialización tal, que existe obligatoriedad e interdependencia; aunque puedan vivir separados, determinadas actividades fisiológicas, solo pueden ser llevadas a cabo en simbiosis. Las simbiosis mutualistas son responsables de la fijación del nitrógeno y de las micorrizas (Barea, 1997).

Las interacciones microbianas expresadas por fenómenos de antagonismo, competición o sinergismo que tienen lugar en la rizosfera, son fundamentales ya que pueden determinar el éxito o fracaso de la introducción en el suelo de microorganismos que son aplicados como biofertilizantes o como agentes de control biológico (Andrade, 1999).

• **Microorganismos asociados con la nutrición de las plantas**

Durante el período de evolución de las plantas y los microorganismos, los procesos de mayor importancia son las diferentes simbiosis establecidas entre bacterias, hongos, actinomicetos, cianobacterias y diferentes tipos de plantas.

En las simbiosis mutualistas el simbionte coloniza las raíces de las plantas donde se encuentran compuestos carbonados que benefician el desarrollo de la planta aportándole nutrientes minerales. La simbiosis mutualista más conocida es la simbiosis leguminosa-rizobio que es responsable de la fijación de nitrógeno de la atmósfera y la

asociación que se establece entre grupos específicos de hongos del suelo y las raíces de las plantas, que genera el fenómeno llamado micorriza. Son varias las formas de expresión de esta simbiosis, pero se reconoce en ella un papel trascendental en la nutrición vegetal (Barea, 1997).

En el caso de simbiosis tripartita planta-micorriza-rizobio, se ha demostrado que la micorriza incrementa la formación de nódulos, así como su desarrollo y la actividad biológica. Esto se debe a que incrementa la capacidad de traslocación de nutrientes como el fósforo dentro de la planta (Liderman, 1991).

FIJACIÓN Y MOVILIZACIÓN BIOLÓGICA DE NUTRIENTES

Las simbiosis mutualistas establecidas entre las plantas superiores y ciertos integrantes de la microbiota del suelo desempeñan una función clave, tanto en los ecosistemas naturales como en los modificados por el hombre, ya que los microorganismos implicados desarrollan actividades que inciden en la nutrición de las plantas y desempeñan funciones que estas no pueden realizar por sí mismas (fijación de N_2) o realizan con dificultad captación de nutrientes que se difunden lentamente en el suelo. A cambio, los microorganismos heterótrofos asociados reciben de la planta sustratos carbonados, así como un nicho ecológico protegido.

La diversidad natural de las comunidades microbianas del suelo puede aprovecharse mediante el aislamiento e identificación de nuevas cepas que sirvan de inoculantes microbianos en agricultura y en programas de revegetación. En este tema se ha puesto especial énfasis en la fijación simbiótica de N_2 (Rhizobium), micorrizas y en el control biológico de enfermedades de las plantas. De Rhizobium en particular hay copiosa información genética, bioquímica, fisiológica y ecológica. Algunos problemas persistentes, como el de incrementar la competitividad de las cepas seleccionadas frente a la población naturalizada del suelo (Barea, 1997).

• Fijación biológica de nitrógeno

La fijación biológica de nitrógeno (FBN), además de su importancia en la fertilidad del suelo, es uno de los mecanismos de reposición del nitrógeno que se pierde mediante la desnitrificación, absorción por los cultivos, percolación y erosión. Por lo tanto es un proceso básico para que la vida continúe en la tierra (Echegaray-Alemán, 1995).

De la inmensa reserva de nitrógeno (N_2) que comprende cerca de 78% de la atmósfera, no está disponible a todos los eucarióticos (incluidas las plantas) y la mayoría de procarióticos. Apenas una porción relativamente pequeña de especies procarióticas poseen la enzima nitrogenasa, que es capaz de reducir el N_2 a la forma inorgánica combinada como NH_3 , que puede ser disponible para las plantas y otros organismos (Moreira y Siquiera, 2002).

La mayoría de los seres vivos no pueden utilizar el nitrógeno atmosférico como una fuente de nitrógeno para la síntesis de sus proteínas, y solo ciertos microorganismos que contienen el complejo enzimático de la nitrogenasa pueden llevarla a cabo.

Los microorganismos capaces de catalizar el rompimiento del triple enlace de nitrógeno y activarlo para que se combine con otros elementos químicos, como el hidrógeno o el oxígeno, se les conoce como microorganismos fijadores de nitrógeno o diazotrofos (Mishustin y Shil Nikova, 1971).

De los nutrientes minerales el nitrógeno es el más caro, debido al proceso industrial utilizado para su producción, tiene una alta demanda de energía proveniente del gas natural o el petróleo por lo cual es potencialmente el más contaminante, y generalmente el más limitante para la producción vegetal. Entre tanto la incorporación de nitrógeno atmosférico por algunos microorganismos diazotróficos en el sistema suelo-planta es conocida desde inicios del siglo XX. Muchas investigaciones se han efectuado para entender y maximizar la fijación biológica de nitrógeno (F.B.N) para la producción de alimentos (Franco y Balieiro, 1999).

El interés por la FBN en la actualidad ha crecido notablemente en los países conscientes de la necesidad de buscar y explorar una alternativa más limpia y menos costosa que la fijación industrial del nitrógeno por el proceso de Haber y Bosch, para la producción sintética de nitrógeno que es esencialmente la reducción del nitrógeno a amoníaco, reacción que utiliza una gran cantidad de energía para romper la estabilidad del triple enlace de la molécula del nitrógeno, Figura 1.

La aparición de una conciencia ecológica en la sociedad surgida del deterioro progresivo del medio natural como consecuencia de una agricultura intensiva y de la aplicación indiscriminada en fertilizantes nitrogenados químicos, con la consiguiente contaminación de los ecosistemas, conduce a una mayor atención por los biofertilizantes y a la preocupación por recuperar y estabilizar suelos y aprovechar zonas marginales mediante la revegetación con especies autofertilizantes (Rodríguez Moiround y Cervantes, 1991).

El proceso de FBN, realizado por las bacterias de la familia Rhizobiaceae, que se asocian con raíces de diversas leguminosas, desempeña un papel fundamental, no solo supliendo las necesidades de nitrógeno de las plantas hospederas, como también enriqueciendo el suelo con sus residuos de cosecha (Jordán, 1984), Figura 2.

Este proceso biológico es considerado el segundo más importante en el planeta después de la fotosíntesis, junto con la descomposición de la materia orgánica (Moreira y Siquiera, 2002).

• Fijación biológica de nitrógeno en soya

La soya, al igual que otras leguminosas, presenta la característica de asociarse con bacterias benéficas del suelo llamadas rizobios, que penetran en las raíces y forman nódulos. Las bacterias capaces de nodular la soya están clasificadas en dos especies: *Bradyrizobium japonicum* y *Bradyrizobium elkanii* (Hungria et-al, 1999), Figura 3.

La viabilidad económica del cultivo de soya, se debe en parte al proceso de fijación biológica de nitrógeno realizado por la simbiosis con bacterias del género *Bradyrizobium*. En ausencia de la simbiosis sería necesaria la aplicación de dosis elevadas de nitrógeno mineral que hacen poco rentable el cultivo.

La aplicación de nitrógeno que eleva los costos para el agricultor, puede producir impacto ambiental negativo por las grandes pérdidas asociadas con los fertilizantes nitrogenados causadas por lixiviación, contaminación de lagos y ríos y por desnitrificación, con implicación en la capa de ozono.

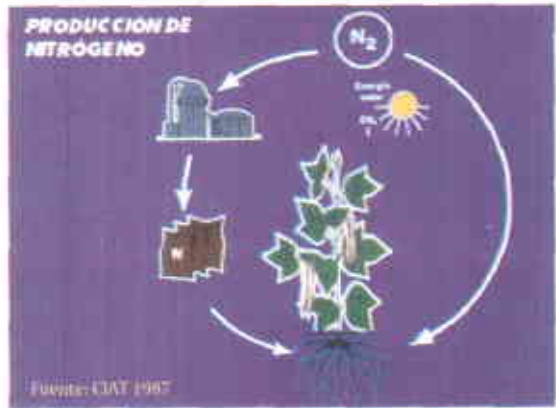


Figura 1. Producción de nitrógeno industrial y biológica



Figura 2. Proceso de fijación de nitrógeno



La inoculación de la semilla de soya con cepas específicas de rizobio, acompañada de una alta germinación y un suministro adecuado de nutrientes al cultivo, hacen posible maximizar la contribución del proceso de fijación biológica de nitrógeno y obtener producciones satisfactorias (Campo y Hungría, 2000)

• **Producción de inoculantes para soya en Colombia y los Llanos Orientales**

Los primeros inoculantes que contenían cepas de *Bradyrhizobium* fueron traídos de los Estados Unidos. Con el propósito de obtener cepas más eficientes y competitivas adaptadas a las condiciones edafoclimáticas de Colombia, el ICA adelantó el proceso de investigación entre 1976 y 1998 el que actualmente realiza CORPOICA, en el cual se ha logrado seleccionar las mejores cepas de *B. japonicum* específicas para soya bajo las condiciones agroecológicas de los Llanos Orientales (Munévar y Ramírez, 1990; Munévar, 1994; Salamanca y Ramírez, 2000).

Mediante el proceso de investigación se seleccionó la cepa de rizobio ICA J-01 y se entregó en 1988 a los productores de los Llanos Orientales. La inoculación de la soya con esta cepa permitió un incremento en rendimiento del 81% comparada con la soya no inoculada y sin fertilización nitrogenada. En suelos de vega la cepa J-01 reemplazó la fertilización con nitrógeno en niveles entre 170 y 200 kg-ha⁻¹ (Munévar, 1994).

• **Beneficios de la biofertilización nitrogenada**

- Recurso natural renovable y de fácil manipulación
- Reemplaza la fertilización nitrogenada inorgánica
- Suministra el nitrógeno requerido por la soya
- Reduce las pérdidas de nitrógeno por lavado, arrastre y volatilización
- Aumenta la producción hasta en una tonelada por hectárea cuando la soya es inoculada con cepa ICA J-01 en suelos de vega de los Llanos Orientales
- Económico y sin costo ambiental
- Reduce los costos de producción de soya entre 5 y 11 por ciento (Vega y Altillanura)
- Previene la dependencia del mercado externo de los fertilizantes nitrogenados

LAS MICORRIZAS

IMPORTANCIA, ESTRUCTURA Y FUNCIONES

Una de las simbiosis mutualistas implicadas en el ciclaje de nutrientes es la que ocurre entre las raíces de las plantas y ciertos hongos del suelo, conocida como "micorrizas". Esta asociación simbiótica es considerada universal porque la forman la mayoría de especies vegetales y por su presencia en casi todos los ecosistemas (Azcón y otros, 1991).

Los hongos formadores de micorriza arbuscular forman parte de la diversidad biológica del suelo y afectan también la diversidad y composición de la vegetación, por lo cual adquieren el carácter de recurso biótico multipropósito, cuya conservación y manejo tiene implicaciones más allá de su potencial como bioinsumo, pues además de producir beneficios ecológicos, al mejorar las condiciones físico-químicas y biológicas del suelo, previene la erosión y contribuye en los procesos de revegetación en suelos degradados (Guerrero, 1996).

Se llama micorrizas a la simbiosis mutualista entre determinados hongos y raíces. El hongo, una vez que alcanza la rizosfera, coloniza la corteza de la raíz y desarrolla un micelio externo que, a modo de sistema radical complementario, ayuda a la planta a adquirir nutrientes minerales y agua del suelo. La micorriza que viene a constituir una extensión de la raíz, se considera el componente metabólico más activo de los órganos de absorción de nutrientes de las plantas. A su vez, la planta hospedera proporciona al hongo simbionte, heterótrofo, nutrientes orgánicos y un nicho protector (Barea, 1997), Figura 4.

Son varias las formas de expresión de la simbiosis micorrizica, pero se le reconoce un papel trascendental en la nutrición vegetal. La endomicorriza arbuscular es la micorriza más difundida en el reino de las plantas, se identifica por formar estructuras características llamadas propágulos como hifas, arbuscúlos, vesículas y esporas.

• Estructuras del hongo micorrízico arbuscular (H.M.A)

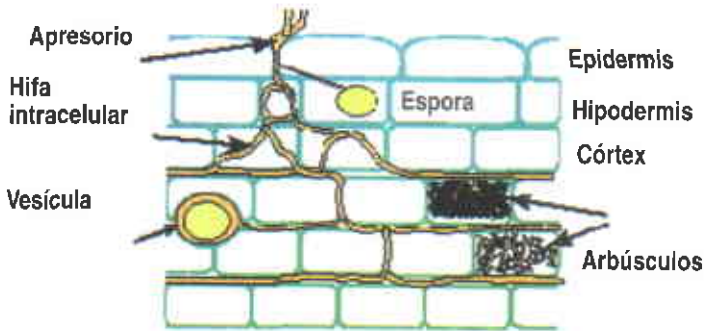
Durante el contacto y desarrollo del hongo dentro de la raíz se forman diversas estructuras de tamaño microscópico.

- El micelio, que se origina a partir de esporas germinadas, penetra en la raíz y da inicio a la colonización interna (micelio interno); mientras que las hifas se asocian a la raíz externamente, explorando el suelo (micelio externo), Figura 5.
- Las vesículas son estructuras ovaladas a esféricas, cuya función más probable es la de almacenar los nutrientes (Moreira y Siqueira, 2002), Figura 6.
- Los arbuscúlos son estructuras intracelulares cuya función es la transferencia de nutrimentos del suelo hacia el huésped, Figura 7.
- Las esporas tienen forma oval a globosa y presentan diferentes colores y tamaños y son estructuras importantes en la reproducción del hongo y aseguran la supervivencia en el suelo, Figura 8.

Los microorganismos de la rizosfera condicionan la formación y función de las micorrizas, mientras que el establecimiento de la simbiosis produce cambios cualitativos y cuantitativos en los exudados radicales de la microbiota. Se produce entonces un nuevo equilibrio en el suelo en torno a la raíz micorrizada, que se manifiesta con la constitución de la micorrizósfera (Barea, 1997).

La micorrizósfera está influenciada por la planta hospedera, por factores edáficos como el pH, componentes del suelo, contenido de nutrientes, materia orgánica y también por las propiedades físicas del suelo; como también por factores climáticos y prácticas de manejo del sistema agrícola (Liderman, 1992). Aunque la atención se ha concentrado en su potencial como biofertilizante, las ventajas de la micorriza no se limitan al ámbito de la nutrición mineral. Las plantas reciben beneficios adicionales tales como resistencia a estrés hídrico, exclusión de patógenos radicales y tolerancia a metales pesados. De hecho, muchos especialistas prefieren ver esta simbiosis como

Figura 4. Proceso de colonización de la raíz por el hongo micorrízico.



Estructuras del Hongo Micorrízico Arbuscular (HMA)



Figura 5. Micelio interno y externo



Figura 6. Vesículas

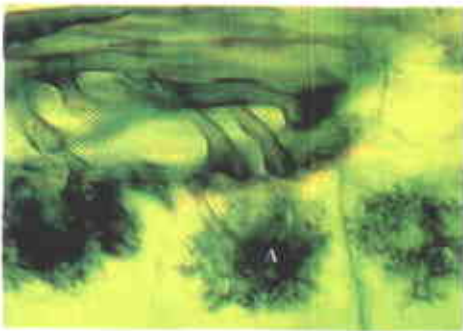


Figura 7. Arbúsculos



Figura 8. Esporas de HMA Scutellospora calospora

una adaptación multifuncional cuyo rol va más allá de la que convencionalmente se le asigna (Guerrero, 1996)

- **Función de las micorrizas**

- Incrementa el volumen de la raíz y hace más eficiente la absorción y transporte agua y nutrientes
- Cumplen un papel importante en el ciclaje de nutrientes en el sistema suelo-planta
- Aumenta la productividad vegetal
- Mejora la calidad nutricional de las especies vegetales
- Participa en la recuperación de suelos degradados
- Permite una mayor resistencia de las plantas a la sequía, a altas temperaturas, a toxinas orgánicas e inorgánicas y a la acidez del suelo
- Protege a las plantas contra los organismos patógenos del suelo (Adaptado de Sieverding, 1991).

- **Especificidad ecológica**

Los hongos que forman micorriza se encuentran en la mayor parte de los suelos y deben ser considerados como un recurso biológico, cuyo estudio y manejo adquiere cada vez más relevancia en agricultura, silvicultura y conservación de ecosistemas naturales.

En general los hongos micorrízicos arbusculares (H.M.A) son simbiosiontes obligados, pero no hospederos específicos, más bien existe cierta especificidad ecológica resultado de un proceso de coevolución en el que interactúan factores como: latitud, altitud, tipo de suelo, composición florística y prácticas antrópicas.

Con frecuencia, las poblaciones naturales de hongos micorrizógenos son insuficientes o ineficientes para el establecimiento de una buena simbiosis, lo cual afecta negativamente el desarrollo de una comunidad vegetal, tanto en ecosistemas agrícolas como naturales. En estos casos, la eficiencia de la micorriza puede ser incrementada, ya sea por manejo cultural de los hongos nativos de un determinado suelo, o por inoculación de hongos más eficientes y competitivos.

Por lo anterior, la inoculación de hongos formadores de micorriza no debe ser una práctica indiscriminada sino que debe responder a condiciones ecológicas y edáficas particulares. En ocasiones, puede resultar más apropiado el manejo de los hongos nativos y no la introducción de hongos exóticos.

El uso práctico de la micorriza encaja dentro de una estrategia de gestión biológica de la fertilidad de los suelos, dirigida a obtener una productividad sostenida. Los sistemas de inoculación y manejo cultural de hongos micorrizógenos son tecnologías ecológicamente racionales, y aparecen como una de las prácticas de base biológica más promisorias e innovativas para los sectores agrícola y forestal (Guerrero, 1996).

- **Multiplicación de los hongos micorrízicos arbusculares (H.M.A) para la producción de inoculante**

El cultivo de los hongos micorrízicos arbusculares (H.M.A) en plantas hospederas en el suelo ha sido un factor limitante en la producción de estos. Sin embargo, la

tecnología desarrollada que más se utiliza para obtener el inóculo está constituida por la mezcla de suelo y raíces infectadas, esporas y micelio del hongo micorrízico, Figura 9.

Cuando la cantidad de esporas presentes en la muestra de suelo rizosférico proveniente del campo es reducida (menor de 10), se recomienda reproducir los hongos en condiciones controladas, con plantas micotróficas y sustratos estériles.

Este sistema conocido como cultivo en planta "trampa" permite multiplicar hongos nativos, ampliar la cantidad de esporas o promover la esporulación de los hongos que no se expresaron en la muestra. También permite obtener esporas en todos los estados de desarrollo y con todos los atributos morfológicos para la identificación taxonómica (Cano, 1996), Figura 10.



Autor: Camen Rosa Salamanca S

Figura 9. Cama para la multiplicación de micorrizas



Figura 10. Proceso para la obtención, identificación, análisis de calidad, multiplicación y uso de las micorrizas

Debido a la especificidad ecológica de los hongos M.A, se requiere de una amplia diversidad de cepas adaptadas a diferentes condiciones de suelo y compatibles con diferentes cultivos, por lo cual se deben hacer ensayos de efectividad a nivel local y regional (Sieverding, 1991). De ahí la necesidad de contar con bancos de germoplasma con gran diversidad, como estrategia para el desarrollo de la industria de producción de inóculo de micorriza, donde gran parte del éxito en el mercado de este tipo de insumo depende de la certificación de la calidad del producto (Cano, 1996).

- **Interacciones rizobio - micorriza**

Se han publicado numerosos trabajos con la intención de comprender las interacciones rizobio-hongo MA. Algunos de estos estudios apuntan a que la micorriza aumenta la efectividad de la fijación al mejorar el estado nutricional de la planta. En determinados casos aumentan el número de nódulos. La micorriza influye en las relaciones hídricas de la planta, el balance hormonal y la tasa de fotosíntesis mejora la nutrición fosfórica, etc., lo cual puede beneficiar la nodulación y fijación de nitrógeno (Andrade, 1999).

AVANCES DE INVESTIGACIÓN EN BIOFERTILIZANTES EN LA REGIÓN DE LA ORINOQUIA Y PIEDEMONTE AMAZÓNICO

- **Investigación con inoculantes rizobianos**

La inoculación con rizobio es la forma más económica de suministrar nitrógeno al cultivo de la soya en condiciones del Piedemonte Llanero y Altillanura. Ésta ha permitido sustituir la fertilización nitrogenada entre 70 y 150 kg de nitrógeno por hectárea (3 a 6.5 bultos de urea/ha) para obtener una óptima producción, en suelos de vega o terraza alta del Piedemonte Llanero, con incrementos de producción de $1t.ha^{-1}$. Igualmente, con el uso de inoculante se reducen los costos de producción de soya entre 5% y 11% y se evitan las pérdidas de nitrógeno por lixiviación, escorrentía, volatilización y reduce la contaminación ambiental (Salamanca y Ramírez, 2000), Figuras 11, 12 y 13.

En experimentos semicomerciales realizados en Oxisoles de terraza alta del Piedemonte Llanero, en 1999 y al evaluar el efecto de la aplicación adicional de urea en soya (Variedad Orinoquia 3) inoculada con la cepa ICA J-01, se encontró una mayor producción de grano ($2.976 kg.ha^{-1}$) en la soya inoculada y sin la aplicación de la fuente sintética de nitrógeno, en comparación con el rendimiento obtenido con la aplicación de $50 kg.ha^{-1}$ de urea ($23 kg.ha^{-1} N$) y $100 kg.ha^{-1}$ de urea ($46 kg.ha^{-1} N$) con producciones de $2.223 kg.ha^{-1}$ y $1.528 kg.ha^{-1}$, respectivamente, Figura 14.

Los resultados indican que el rendimiento obtenido con la fuente biológica supera entre 49.3 y 94.7% al logrado con la adición de uno y dos bultos de urea respectivamente, lo cual demuestra que se puede obtener una alta productividad con genotipos seleccionados de soya sin ninguna fertilización nitrogenada, hecho que permite reducir los costos (Valencia, 1999). La soya obtiene todo el nitrógeno requerido por el cultivo para un buen desarrollo a través de la simbiosis con rizobio. Este proceso no



Figura 11. Cultivo de soja sin inocular en suelo de vega



Figura 12. Cultivo de soja fertilizado con nitrógeno



Figura 13. Cultivo de soja inoculado con la cepa de rizobio J-01

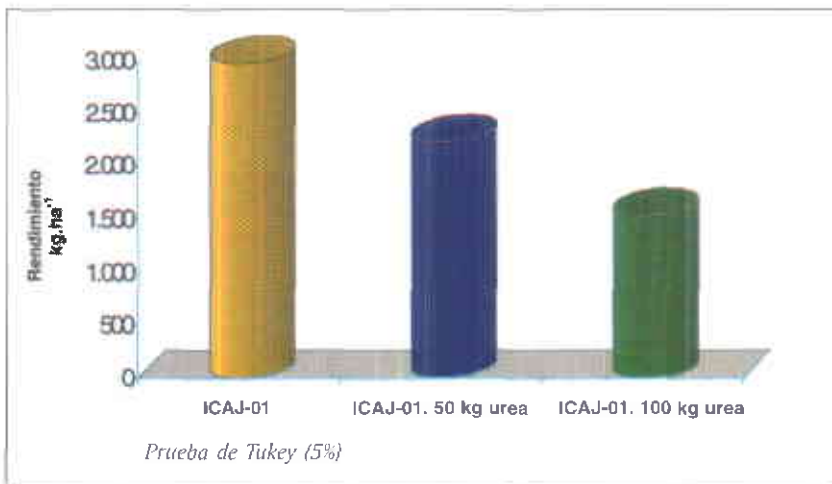


Figura 14. Rendimiento comparativo de soja (Variedad Orinoquia 3) inoculada con la cepa, ICAJ-01 y con la adición de fertilizante nitrogenado. Corpoica La Libertad. 1999.

produce contaminación al ambiente porque las bacterias fijadoras de nitrógeno solamente son activas cuando hay falta de este elemento en el suelo o la planta (Baldani y Dobereiner, 1999).

• Investigación en micorrizas en el Piedemonte Amazónico

El trabajo de investigación realizado por CORPOICA y financiado por PRONATTA, en la región amazónica del Guaviare entre 1996 y 1999, confirmó la diversidad, distribución y eficiencia potencial de hongos micorrízicos arbusculares nativos que posee este ecosistema.

Mediante el aprovechamiento y manipulación de este recurso biológico incorporado como alternativa para el manejo sostenible de los sistemas de producción agropastoriles del Guaviare, se lograron producciones de forraje de *Brachiaria decumbens* de 3.110 kg.ha⁻¹ con micorrizas nativas con un incremento de 13,8% con respecto a la micorriza introducida; en la calidad nutricional la pastura presentó un alto contenido de proteína cruda (14,85%) y la mayor eficiencia en la absorción de fósforo (15,25 kg.ha⁻¹) con la micorriza nativa con un incremento de 26% con respecto a la micorriza introducida. Como también se observó un mejor establecimiento, desarrollo y mayor eficiencia en la absorción de nutrientes (N, K, B, Zn) de las especies frutales más cultivadas en la región como son arazá, borojón y chontaduro (Salamanca, 1999).

La investigación permite concluir que la región amazónica del Guaviare es un banco valioso de micorrizas que por su gran diversidad, eficiencia potencial y alto valor ambiental debe aprovecharse para la producción masiva de inóculo en forma comercial y fomentar su uso en los diferentes sistemas de producción de los Llanos Orientales debido a su especificidad ecológica y para beneficio socioeconómico y ambiental de las comunidades agrarias (Salamanca, 1999).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Debido al deterioro ecológico causado por el uso indiscriminado de fertilizantes y plaguicidas, cuyos residuos han provocado serios problemas de contaminación, es prioritario fortalecer la investigación sobre el conocimiento de la rizosfera y la manipulación dirigida de los microorganismos simbióticos y aprovechar los beneficios que se obtienen por los procesos biogeoquímicos que se realizan en la rizosfera. Gracias a estos organismos existe la disponibilidad de nutrimentos a través de la liberación del P y K, la fijación biológica de N₂, la producción de hormonas, la captación y el transporte de nutrientes por los hongos formadores de micorrizas y el control biológico natural, con el fin de incrementar el desarrollo y producción de la soya en los Llanos Orientales, que acompañado de un manejo adecuado de los agroecosistemas, permite una producción sostenida, con una mayor relación costo/beneficio y menor riesgo de impacto ambiental.

Dada la importancia económica de los biofertilizantes, se requiere continuar la investigación sobre las fuentes biológicas que más inciden en la producción. Para determinar las cepas de rizobio y de micorrizas más eficientes en la fijación y movilización biológica de nutriente y la aplicación práctica en el cultivo de soya en las zonas productoras de la Orinoquia colombiana.

GLOSARIO DE TÉRMINOS MICROBIOLÓGICOS

Actinomicetos: Organismos que difieren de las bacterias en que su estructura celular está ramificada, pero a pesar que se asemejan a los hongos en su apariencia filamentososa muestran más afinidad a algunos bacilos gram-positivos. Tienen capacidad para descomponer celulosa y otros polisacáridos.

Actividad biológica: El metabolismo energético en el cual el CO_2 es el producto final, es realizado por diversos microorganismos heterótrofos del suelo, cuya función principal es descomponer sustratos orgánicos. La evolución del CO_2 se utiliza para estimar indirectamente la actividad microbiana. Para cuantificar el metabolismo aeróbico se usa una técnica volumétrica donde se determina la cantidad de CO_2 producido.

Antagonismo: Interacción negativa en la que una población microbial produce una sustancia que es capaz de inhibir a otras poblaciones.

Bacterias: Son organismos procarióticos que no tienen semejanza ni de vegetales ni de animales, generalmente no son fotosintéticos, varían de tamaño (0.2 a 1.5 mm de diámetro). Las bacterias del suelo son quimioheterotróficas y juegan un papel importante en el ciclaje de energía y nutrientes.

Biogeoquímica: Es el estudio del intercambio de los materiales químicos entre los componentes biótico y abiótico de la biosfera.

Catalizador: Sustancia que acelera o disminuye la velocidad de una reacción, permaneciendo inalterable en forma y cantidad.

Cianobacterias: Organismos unicelulares, procarióticos semejantes a las bacterias y de vida acuática.

Ciclos biogeoquímicos: Las trayectorias más o menos recurrentes de los elementos químicos entre los organismos y el medio ambiente, en ambos sentidos. "bio" se refiere a los organismos vivos y «geo» a las rocas, al suelo, al aire y el agua de la tierra.

Cepa: Raza, linaje.

Colonia: Población de células de microorganismos sobre un medio sólido que es visible a simple vista.

Diazotróficos: Organismos fijadores de nitrógeno atmosférico (N_2).

Diversidad biológica: Variabilidad entre organismos vivos, generalmente está atribuida a la diversidad de especies, sin embargo puede ser medida en varios niveles taxonómicos (familia, género, intraespecies), o está dada en términos de determinadas características genéticas o fenotípicas (morfológicas, bioquímicas, fisiológicas, simbióticas, etc.).

Ecología: Ciencia que estudia las interrelaciones entre organismos y entre organismos en su medio ambiente.

Ecosistema: Comunidad de organismos y el medio ambiente en que ellos viven.

Esporas: Células reproductoras especializadas, formadas por algunos hongos.

Eucarióticos: Organismos que tienen extensas membranas internas conectadas a la membrana plasmática, que las separan del resto del citoplasma, denominadas organelas. Los protozoarios, algas, hongos, plantas y animales, pertenecen a esta división.

Exudados: Compuestos de bajo peso molecular que se liberan en las células sin ningún proceso metabólico. Las raíces de las plantas excretan sustancias orgánicas a la rizósfera proporcionando un medio rico en nutrientes, necesarios para el crecimiento y multiplicación de la microbiota.

Hábitat: El lugar donde vive un organismo.

Heterótrofo: Organismo cuya principal función ecológica en el suelo es descomponer las sustancias orgánicas complejas como fuentes de energía o asimilarlos como fuentes de carbono, cerrando los ciclos biogeoquímicos de muchos elementos.

Hongo: Organismo compuesto de células eucarióticas portadoras de esporas, no fototrófico que contiene paredes celulares rígidas.

Hospedero: Organismo capaz de soportar el crecimiento de un virus u otro parásito.

Inoculante: Mezcla de un cultivo de una cepa de rizobio con un soporte

Micotrofia: Capacidad de la planta para adquirir nutrientes por medio de un hongo

Micorriza: Literalmente hongo-raíz. Asociación simbiótica entre hongos específicos con las raíces finas de las plantas superiores.

Microbiología del suelo: Rama de la ciencia del suelo que estudia los microorganismos que habitan el suelo, sus funciones y actividades.

Microorganismo: Organismo vivo tan pequeño que no puede ser visto a simple vista (<0.1 m.m.) incluye bacterias, hongos, protozoos, algas microscópicas y virus.

Microbiota: Comunidad variada de algas, bacterias, hongos y actinomicetos; junto con los virus y los componentes de la microfauna (amebas, artrópodos, flagelados, nemátodos y otros) forman la microbiota del suelo

Nicho ecológico: Papel que un organismo desempeña dentro del ecosistema.

Nitrogenasa: Enzima que cataliza la reducción de N_2 a NH_4 , se localiza en el interior de las bacterias fijadoras de nitrógeno. Esta enzima tiene dos componentes principales: proteína ferrosa y proteína molibdeno-ferrosa.

Nódulos: Estructuras especializadas formadas en las raíces de la soya, donde ocurre el proceso de fijación biológica de nitrógeno.

Parásito: Microorganismo que infecta órganos de las plantas, causándoles enfermedades.

Procarióticos: Organismos carentes de membrana nuclear. Tiene habilidad para fijar nitrógeno atmosférico, producir metano, en algunas especies. Las bacterias y cianobacterias pertenecen a esta división.

Propiedades biológicas: El suelo como ecosistema, además de los constituyentes orgánicos e inorgánicos contiene muchos organismos incluyendo animales y microorganismos, cuya diversidad comprende hongos, bacterias, actinomicetos, algas y virus con innumerables géneros y especies, cuyas proporciones relativas están influenciadas por el medio. Los microorganismos tienen importancia por su ubicuidad, diversidad y sobre todo por su actividad.

Rhizobium: Son bacterias del suelo de la familia Rhizobiaceae, que inducen la formación de nódulos en las raíces de la soya, comúnmente denominados rizobios.

Rizósfera: Se refiere al volumen de suelo que rodea las raíces y que está bajo su influencia.

Simbiosis: Ciertos organismos viven en íntima relación con la planta, en decir en simbiosis, que puede ser mutualista cuando ambos simbiosntes se benefician de la asociación, o parasítica, cuando la planta sufre daño con beneficio para el microorganismo.

Sinergismo: Asociación entre organismos que se benefician mutuamente, aún cuando ambos organismos son capaces de sobrevivir en su medio natural.

Sostenibilidad: Se refiere a la capacidad de un agroecosistema para mantener la producción a lo largo del tiempo, frente a los limitantes ecológicos y a las presiones socioeconómicas.

Sustrato: Sustancia, base o nutriente sobre el cual crece un organismo.

Quimioheterótrofos: Son organismos que utilizan compuestos orgánicos como fuente de energía y carbono; y son los más comunes en los suelos. Están representados por bacterias como *Pseudomonas* y hongos como *Aspergillus* y los actinomicetos.

Xenobióticos: Compuestos químicos sintéticos, no existentes naturalmente en el ambiente, (originado del griego, xeno que significa extraño y biótico, vida).

Referencia: Glossary of Soil Microbiology terms compiled by David Sylvia, 1998. Tomado de: <http://courses.soil.ncsu.edu/ssc532/otherinfo/glossary.htm>

BIBLIOGRAFÍA

- ANDRADE, G. 1999. Interacciones microbianas en la rizosfera. En: Inter-relacao fertilidade, biología do solo e nitricao de plantas. Soil fertility. Soil biology, and plant nutrition interrelationships. Editores: José Oswaldo Siqueira et-al Vicoso: SBCS, Lavras: UFLA/DCS. pp. 551-575.
- ALTIERI, M.A. 1997. Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable. La Habana, Cuba. 249p.
- AZCÓN, A.C.; GARCÍA, G.F. y BAREA, J.M. 1991. Micorrizas. En: Fijación y movilización biológica de nutrientes. Vol. II. Consejo superior de investigaciones científicas. Madrid, España. pp.129-147.
- BALDANI, V.L.D.; DOBEREINER, J., 1999. Alternativas para una agricultura más ecológica. En: Inter-relacao fertilidade, biología do solo e nitricao de plantas. Soil fertility. Soil biology, and plant nutrition interrelationships. Editores: José Oswaldo Siqueira et-al Vicoso: SBCS, Lavras: UFLA/DCS. pp. 171-174.
- BAREA, J.M. 1997. Biología de la rizosfera. Consejo superior de investigaciones científicas. Madrid, España. Investigación y ciencia. Junio de 1997. 9p.
- CANO S, C.A. 1996. Manejo de un banco de germoplasma de hongos formadores de micorriza arbuscular (MA). En: Micorrizas. Recurso biológico del suelo. Editor: Eduardo Guerrero Forero. Fondo FEN. Bogotá, Colombia. pp. 125-141.
- CAMPO, R.J.; HUNGRÍA, M. 2000. Compatibilidad de uso de inoculante e fungicida, no tratamiento de semillas de soya. Londrina, Embrapa. Circular técnica/Embrapa-soya. 32p.
- ECHEGARAY-ALEMÁN, A. , 1995. Ciclo del nitrógeno y fases que lo constituyen. En: Agromicrobiología. Elemento útil en la agricultura sustentable. Proedaf. Instituto de Recursos Naturales. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo, Estado de México. pp. 7-35.
- FRANCO, A.A.; BALEIRO, F de C. 1999. Fixacao biológica de nitrógeno: Alternativa aos fertilizantes nitrogenados. En: Inter-relacao fertilidade, biología do solo e nitricao de plantas. Soil fertility. Soil biology, and plant nutrition interrelationships. Editores: José Oswaldo Siqueira et-al Vicoso: SBCS, Lavras: UFLA/DCS. pp. 577-595.
- FERRERA CERRATO, R; PÉREZ M. J, 1995. Efecto de rizosfera. En: Agromicrobiología. Elemento útil en la agricultura sustentable. Proedaf. Instituto de Recursos Na-

- turales. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Montecillo, Estado de México. pp. 36-53.
- GUERRERO, F. E. 1996. Micorriza. Fundamentos biológicos y estado del arte. En: Recurso biológico del suelo. FONDO FEN - Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. pp. 5-7.
- HUNGRÍA, M., VARGAS, M.A.T.; ANDRADE, D de S.; CAMPO, R.J.; CHUEIRE, L.M. de O.; FERRERIRA, M.C y MÉNDEZ, I.C. 1999. Inter-relacao fertilidade, biología do solo e nitricao de plantas. Soil fertility. Soil biology, and plant nutrition interlation ships. Editores: José Oswaldo Siqueira et-al Vicoso: SBCS, Lavras: UFLA/DCS. pp. 597-620.
- JORDAN, D. C. 1938. Rhizobiacea Conn. In: Bergey s manual of systematic bacteriology. Krieg, N.R.; Holt, J.D (Ed). London: Willims and Wilkins, 1984.v.1, pp.234-244.
- LIDERMAN, R. G. 1991. Mycorrhizal interactions in the rhizosphere. In: C.Keister y L. Cregan (eds). The rhizosphere and plant growth. Klawer Academia Publishers. Wageningen, Holanda. pp. 340-348.
- LIDERMAN, R. G. 1992. Vesicular-arbuscular mycorrhizae and soil microbial interactions. In: Bethlenfalvay, G. J. & Liderman, R. G.; eds. Mycorrhizae in sustainable agriculture. Madison, ASA Special Publication, pp. 45-70.
- MISHUSTIN, E. N.; SHIL NIKOVA.1971. In: Biological Fixation of Atmospheric Nitrogen. The Macmillan Press, Ltda., Londres, Reino Unido. pp. 373-413.
- MOREIRA, F.M.S.; SIQUEIRA, J.O. 2002. Microbiología e bioquímica do solo. Lavras: Editora. UFLA. 626p.
- MUNÉVAR, M.F; RAMÍREZ, G.M. 1990. *Uso correcto de inoculantes para soya*. Cepas-ICA. ICA. Plegable Divulgativo No. 223. Bogotá.
- MUNÉVAR, M.F. 1994. Inoculación de la soya. En: El cultivo de la soya. ICA-CORPOICA. Ministerio de Agricultura. Fondo de oleaginosas de ciclo corto. Manual de asistencia técnica No. 60. pp 53-63.
- RODRÍGUEZ, B.C.; MOIROUND, A.; CERVANTES, E. 1991. Actualidad de la fijación simbiótica de nitrógeno en plantas actinorríficas En: Fijación y movilización biológica de nutrientes. Vol. II. Consejo superior de investigaciones científicas. Madrid, España. pp. 91-103.
- SALAMANCA S, C.R.; 1999. Las micorrizas como estrategia de mejoramiento nutricional de pasturas y especies frutales en el departamento del Guaviare. Boletín técnico No. 20. CORPOICA-PRONATTA. Villavicencio, Meta, Colombia. 24p.
- SALAMANCA S, C.R.; RAMIREZ G. M. 2000. ICA J-01 Biofertilizante para soya. Inoculante de rizobio para los Llanos Orientales. Plegable divulgativo No. 16. CORPOICA-Ministerio de Agricultura. Fondo de oleaginosas de ciclo corto. Villavicencio, Meta, Colombia.
- SIEVERDING, E. 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. Technical Cooperation - Federal Republic of Germany (GTZ). 367p.
- VALENCIA R, R. A. 1999. Informe de investigación. CORPOICA. Villavicencio, Colombia. 32p.