

7. FERTILIZANTES BIOLÓGICOS

Gabriel Roveda, Margarita Ramírez, Ruth Bonilla



El uso excesivo de fertilizantes químicos en los frutales andinos, ha deteriorado notablemente la calidad de los suelos, debido en gran parte a la pérdida de microorganismos y a los desbalances nutricionales por excesos o déficits en la aplicación de fertilizantes. El uso de biofertilizantes en la fruticultura es una práctica agronómica recomendable, cuya función es garantizar la disponibilidad de nutrientes para la planta y una población microbiana que ayude a la descomposición de la materia orgánica. Entre mayores sean estos procesos microbianos benéficos en el suelo de un cultivo, mayor será la productividad del mismo (Azcón y Barea, 1997).

En condiciones naturales, la mayoría de las plantas tropicales se encuentran asociadas con microorganismos del suelo, los cuales mejoran la disponibilidad de nutrientes, ayudan en la descomposición de la materia orgánica, realizan procesos de fijación biológica del nitrógeno (simbiótica y asimbiótica), mejoran la absorción de nutrientes por las plantas, contribuyen con la solubilización de nutrientes poco solubles como fósforo en el suelo, acondicionan el pH del suelo, mejoran la estructura y estabilidad de los agregados del suelo, ofrecen protección a las plantas frente a microorganismos fitopatógenos del suelo, y en general, disminuyen los niveles de fertilización química.

Un biofertilizante es un producto biológico que contiene microorganismos benéficos del suelo, que al ser inoculado en el suelo o semilla para un cultivo, favorece los procesos de nutrición, crecimiento y desarrollo de las plantas mediante diversos mecanismos: incrementa la disponibilidad de nutrientes (solubilizadores de fósforo, fijadores de nitrógeno), mejora la eficiencia de toma, transporte y absorción de nutrientes (micorrizas), sustituye nutrientes esenciales (fijación de nitrógeno).

En algunos casos estos microorganismos favorecen procesos de crecimiento y desarrollo o control de plagas (promotores de crecimiento). El Instituto Colombiano Agropecuario ICA (Resolución 00375 del 27 de Febrero de 2004), define a un inoculante biológico como un producto elaborado con base en una o más cepas de microorganismos benéficos, que al aplicarse al suelo o a las semillas promueve el crecimiento vegetal o favorece el aprovechamiento de los nutrientes, en asociación con la planta o su rizosfera. Incluye entre otros los productos elaborados con micorrizas, rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal y los géneros *Rhizobium sp.*, *Bradyrhizobium sp.*, *Azotobacter sp.*, *Azospirillum sp.*, *Frankia sp.*, *Beijerinckia sp.*, y bacterias fosfato solubilizadoras (ICA, 2004).

Autores como Vassilev *et al.*, (2001), consideran que un inoculante biológico es una preparación de microorganismos que puede sustituir parcial o totalmente la fertilización química.

Los biofertilizantes se pueden aplicar en suelos degradados y donde la presencia de microorganismos ha sido afectada negativamente por el uso inapropiado de técnicas agrícolas (exceso de agroquímicos, talas, quemas, entre otras), que han propiciado la degradación del suelo y han reducido su diversidad y efectividad (Salamanca, 2002). Además, se debe inocular cuando existen poblaciones altas de microorganismos que no se asocien eficientemente con la especie de planta cultivada.

En términos generales, los inoculantes se deben aplicar en suelos que presenten deficiencia del nutriente específico, cuando existen poblaciones (bajas o altas) de microorganismos que presenten baja capacidad de colonización y/o baja eficiencia como inoculante, o en suelos donde no existan cepas nativas del microorganismo, o que sus poblaciones se hayan visto se-

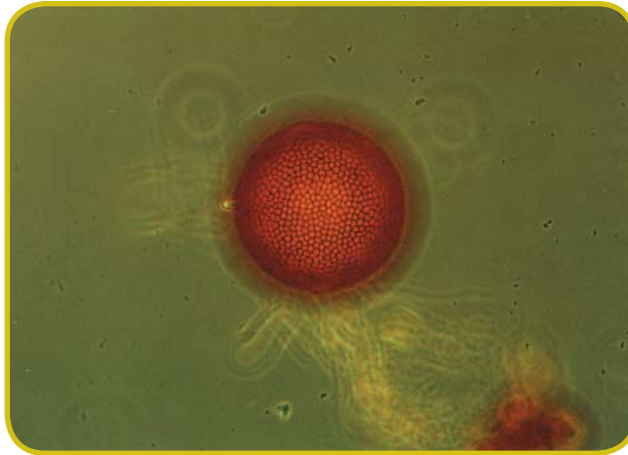
riamente reducidas por procesos de degradación de suelos.

En los últimos años en Colombia se ha estudiado y evaluado la acción de biofertilizantes con microorganismos que participan de la fijación de nitrógeno (simbiótica y asimbiótica), hongos formadores de micorrizas arbusculares que contribuyen con la absorción de nutrientes y agua, y bacterias capaces de solubilizar el fósforo presente en el suelo. De igual forma, se han realizado investigaciones empleando la doble inoculación de micorrizas arbusculares y cepas de *Rhizobium* asociadas con plantas de arveja (Peñaranda y Roveda., 2004; Roveda *et al.*, 2007).

ICA- CORPOICA tienen una gran experiencia en biofertilizantes como en *Rhizobium* desde 1985, Micorrizas desde 1994, *Azotobacter* desde el año 2000 y recientemente con bacterias solubilizadoras (2005). Además, cuenta con el Banco de Germoplasma de Microorganismos Biofertilizantes (*Rhizobium*, *Azotobacter*, *Azospirillum* y hongos formadores de Micorrizas Arbusculares).

Hongos Formadores de Micorrizas Arbusculares (HFMA)

En condiciones naturales, la mayoría de las plantas tropicales adaptadas a diversos nichos ecológicos se encuentran asociadas con microorganismos del suelo, como las micorrizas, que desempeñan un papel clave en el ciclaje de nutrientes en el ecosistema y en la protección de las plantas contra estrés cultural y ambiental (Figuras 14 y 15). Esta estrategia de la evolución ha sido muy exitosa y, a pesar de que su conocimiento se reporta desde hace más de un siglo, sólo durante las últimas décadas el hombre ha empezado a utilizarla en las producciones frutícolas, donde existen evidencias de su potencial y éxito para el

Figura 14. Espora de micorrizas.

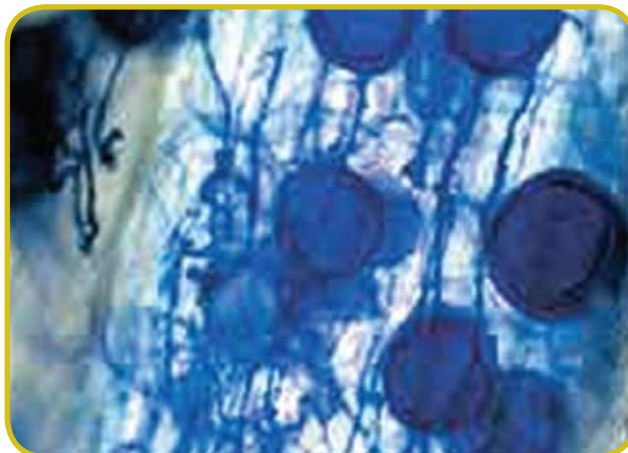
Fuente: Roveda, 2003.

desarrollo competitivo y sostenible de estas especies (Janos, 1980; Diederichs y Moawad, 1993).

Más del 90% de las especies vegetales existentes en el planeta se encuentran micorrizadas cuando crecen en condiciones naturales y de éstas, 95% de los casos corresponden a la asociación con hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA), los cuales se clasifican dentro de la clase Zygomycetes, orden Glomales; y se distribuyen en tres familias: Glomaceae, Acaulosporaceae y Gigasporaceae; y seis

géneros: *Glomus*, *Sclerocystis*, *Acaulospora*, *Entrophospora*, *Gigaspora* y *Scutellospora* (Schenck y Pérez 1988, Morton 1990).

Las micorrizas permiten aumentar el área de exploración de las raíces en el suelo, aumentando la zona de contacto entre la planta y el suelo, que se refleja en mayor absorción de nutrientes y agua (Gianinazzi y Gianinazzi, 1983, Sieverding 1986, Varma y Hock, 1995, Ramírez, 2003; Godbold y Sharrock, 2003; Richardson *et al.*, 2003; Kuyper *et al.*, 2004).

Figura 15. Raíces colonizadas por micorrizas arbusculares.

Fuente: Peñaranda, 2006.

Las micorrizas arbusculares (MA) pueden ser utilizadas en la fruticultura en forma de biofertilizantes, tanto en vivero o en plantas producidas *in vitro*, y constituyen una alternativa valiosa para solucionar problemas de propagación, aclimatación y nutrición de frutales por que reducen costos de producción, permitiendo sistemas de producción más eficientes, precoces y productivos, que contribuyen con la sostenibilidad porque requieren una menor aplicación de insumos, fertilizantes, riego y pesticidas. Adicionalmente, esta tecnología puede ser fácilmente transferible a técnicos y agricultores para la producción de frutales, por tratarse de biofertilizantes, tal como lo reportan Azcón y Barea (1997).

En el ámbito mundial se reportan múltiples experiencias acerca de los beneficios de las micorrizas arbusculares (MA) en especies de frutales, estas diferencias son atribuibles a una mayor absorción de nutrientes, mayores niveles en la producción de hormonas y mayores contenidos de clorofila. Estas diferencias se han observado en especies tropicales como mora excelsa, *Pioria copai-fera* en Caribe (Trinidad Tobago y Panamá), y en múltiples árboles tropicales de la familia Fabacea, dicotiledóneas y angiospermas. Otros autores reportan beneficios en especies como chirimoya (Azcón y Barea, 1997), en *Tamarindus indica*, *Parkia biglobosa*, *Sclerocarria birrea*, *Balanites aegypticae*, *Adansonia digitata*, *Codyla pinnatta*, *Saba senegalensis*, *Landolfia heudelotti*, *Dialium guineensis*, *Anacardium occidentale*, *Afsellia africana*, y *Aphala seneganensis*. Existen también experiencias positivas con la aplicación de inóculos de micorrizas (*Glomus*, *Scutellospora* y *Entrophospora*) en frutales tropicales como arazá (*Eugenia sptipitata*), borojó (*Borojoa sorbillis*) y chontaduro (*Bactris gasipaies*).

Resultados obtenidos en el Grupo de Investigación de Colciencias, llamado "Raíces del Futuro", han mostrado múltiples efectos benéficos con el uso de estos hongos formadores de micorrizas arbusculares en diversas

especies, donde se destacan hortalizas, especies perennes como yuca, plátano, ñame y recientemente en frutales como mora y uchuva. Así, plántulas de uchuva inoculadas con hongos de los géneros *Gigaspora margarita* y *Scutellospora heterogama*, estimulan el crecimiento y desarrollo de plantas más de diez veces en tamaño y peso, como consecuencia de una mejor nutrición de la planta. Situación que se refleja en aspectos como la calidad del fruto en cuanto a tamaño y peso, mayor acumulación de ácido ascórbico y mayor tolerancia a enfermedades y plagas, entre otros (Suárez y Roveda, 2007).

En plántulas de mora procedentes de cultivo de tejidos, se observó que plántulas inoculadas con cepas nativas de hongos formadores de micorrizas arbusculares presentaron una mejor tolerancia y adaptabilidad al medio, y presentaron efectos benéficos en el crecimiento y desarrollo de las plantas, como acumulación de biomasa, tanto en la parte aérea como radical, área foliar y porte de planta, y en segundo lugar, se determinaron efectos benéficos relacionados con la nutrición vegetal, expresados en la absorción de elementos esenciales, tales como fósforo, nitrógeno, calcio y magnesio (Cabra y Roveda, 2007; Roveda *et al.*, 2007), (Figura 16). Estas tecnologías tienen aplicación en un gran número de especies, como tecnología incorporada a la semilla, tanto a nivel de vivero y campo, como en el manejo de los materiales micropropagados (Sieverding 1986, 1991; Sánchez 1999; Ramírez 2003).

En la Figura 17 se observa como los propágulos de hongos formadores de micorrizas, esporas, hifas y fragmentos de raíz colonizados invaden la raíz de la planta. Luego desarrollan estructuras internas como las vesículas, que son estructuras de almacenamiento de nutrientes, los arbusculos, que son encargados del intercambio nutricional tanto para la planta como para el hongo, y las hifas, las cuales crecen para poder absorber los nutrientes

Figura 16. Comparación entre raíces con y sin micorrizas arbusculares.



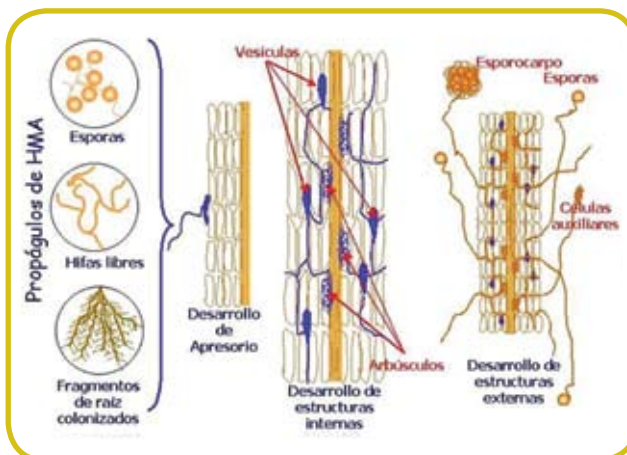
Fuente: Peñaranda, 2007.

del suelo que la planta con su raíz no alcanza a tomar.

Efectos benéficos de los hongos formadores de micorrizas en plantas:

- Estimulan el crecimiento y producción de la planta en general.
- Inducen la producción de hormonas, que ayudan en el crecimiento y desarrollo de la planta.
- Incrementan notablemente la superficie de absorción de nutrientes y agua por las plantas en el suelo.
- Mejoran la absorción de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg y S, entre otros) y agua.
- Incrementan la vida útil de las raíces absorbentes; las raíces micorrizadas persisten durante mayor tiempo que las raíces no micorrizadas.

Figura 17. Proceso de infección de las plantas por parte de las micorrizas arbusculares.



Fuente: Serralde, 2002.

- Ayudan a tolerar el estrés abiótico (sequía, deficiencia de nutrientes, toxicidad por iones y metales pesados, sales).
- Ayudan a tolerar el estrés biótico por plagas y enfermedades debida a hongos patógenos del suelo (*Phytophthora* spp. *Pythium* spp., *Fusarium* spp y *Rhizoctonia*).
- Mejoran las condiciones físicas del suelo (formación de agregados, protección contra la erosión).
- Sustituyen en forma parcial o total el uso de fertilizantes químicos de síntesis.
- Establecen relaciones sinérgicas con otros microorganismos del suelo.
- Aumentan la eficiencia de otros microorganismos benéficos del suelo, al mejorar el crecimiento de la planta e incrementar la producción de exudados de la raíz.

Bacterias fijadoras simbióticas de Nitrógeno

Con excepción del agua, el nitrógeno generalmente es considerado el nutriente más limitante para el crecimiento de las plantas en su ambiente natural (Franco & Döbereiner, 1994).

El nitrógeno molecular (N_2) es la única reserva de nitrógeno accesible en la biosfera. Prácticamente ilimitada, esta reserva no es directamente utilizada por los vegetales y animales. El nitrógeno es un constituyente esencial de moléculas fundamentales de todos los seres vivos: aminoácidos, proteínas, ácidos nucleicos, vitaminas, entre otros. Para que el nitrógeno molecular pueda ser asimilado, es necesario que sea reducido y los únicos seres capaces de realizar esta reacción son las *Eubacteria* y *Archea*, por el proceso denominado fijación biológica de nitrógeno (Baca, Soto & Pardo, 2000).

La fijación biológica de nitrógeno es un proceso mediante el cual la mayor parte de nitrógeno atmosférico es incorporado a la materia viva a lo largo de la evolución del planeta. Este proceso constituye la principal vía de incorporación de nitrógeno al ecosistema, que constantemente es reciclado para la atmósfera principalmente por la acción de organismos descomponedores de materia orgánica en el suelo. De esta forma, la acción de los microorganismos fijadores de nitrógeno y desnitrificadores garantiza un reservorio inagotable de nitrógeno en la atmósfera. Además de garantizar un ecosistema en equilibrio, conlleva a una reducción en la aplicación de dosis excesivas de compuestos nitrogenados de síntesis, como por ejemplo el nitrato que contamina aguas y los vegetales que serán consumidos por el hombre, de esta forma posibilita el desarrollo de una agricultura menos agresiva con el medio ambiente (Peoples & Craswell, 1992).

Dentro de las bacterias de vida libre se encuentra la familia *Azotobacteraceae*, representada en su mayoría por el género *Azotobacter*, el cual es aeróbico, heterótrofo y fijador de nitrógeno. Dentro de las especies conocidas de *Azotobacter*, las más comunes son *A. chroococcum*, *A. vinelandii* y *A. paspali*, siendo esta última la más estudiada ecológicamente (Becking, 1991, Franco & Döbereiner, 1994).

Numerosas investigaciones en el ámbito mundial (Bagyaraj y Menge, 1978; Bashan *et al.* 1996; Martínez y Dibut, 1997, Bonilla *et al.*, 2000 Bonilla y Galvis 1999, Bonilla *et al.*, 2001) demuestran las bondades de la utilización de bacterias asimbióticas del género *Azotobacter*, en lo que se refiere a la reducción del periodo de tiempo de germinación, en las semillas de tomate, ají y algodón, inoculadas con estos microorganismos probablemente por la inducción de la producción de hormonas de crecimiento (EDAFON, 2006).

Efectos del uso de bacterias asimbióticas fijadoras de nitrógeno:

- *Azotobacter sp* y *Azospirillum sp* son dos microorganismos que funcionan como fijadores de nitrógeno y promotores de crecimiento vegetal (Figuras 18 y 19).
- Producen fitohormonas.
- Incrementan la velocidad de germinación de semillas.
- Incrementan la respuesta a la fertilización química u orgánica.
- Reducen el uso de la fertilización nitrogenada convencional.
- Aumentan la tolerancia al estrés hídrico y al ataque de plagas o enfermedades (EDAFON, 2006).

Azotobacter sp y *Azospirillum sp* se encuentran en mayor abundancia en suelos

Figura 18. Bacteria fijadora de nitrógeno (*Azotobacter*).



Fuente: http://www.bact.wisc.edu/Microtextbook/index.php?module=Book&func=displayarticle&art_id=274.

Figura 19. Bacteria fijadora de nitrógeno (*Azospirillum*).



Fuente: <http://www.buap.mx/investigacion/microbio/image2.jpg>.

con valores de pH cercanos a la neutralidad, pero cuando el pH es menor de 5 se les encuentra en forma esporádica y en suelos con pH menor de 4.5 no se logran aislamientos (Sylvia, 1989).

Bacterias solubilizadoras de fosfatos (MSF)

Los microorganismos fosfato solubilizadores abundan en la rizósfera y representan 10% de la población microbiana del suelo. Existe una gran variedad de estos microorganismos que incluyen bacterias Gram negativas y positivas, incluso algunas especies de *Streptomicetos* poseen la capacidad de disolver fosfatos de baja solubi-

lidad (Moura, *et al.*, 2001; Vásquez *et al.*, 2000; Singer *et al.*, 1999; Kim *et al.*, 1998; Freitas *et al.*, 1997).

En general, los estudios que han involucrado MSF han mostrado aumento en el crecimiento de las plantas y en el contenido de P en los tejidos vegetales, pero con una amplia variación en la efectividad. Las inoculaciones conjuntas con otros microorganismos formadores de micorrizas arbusculares y bacterias fijadoras de N han sido más exitosas. De hecho, se han observado efectos sinérgicos sobre el crecimiento de las plantas para coinoculaciones con los géneros *Azospirillum*, *Rhizobium*, *Azotobacter* y MSF.