

# Microbiología del suelo cultivado con palma de aceite en Colombia:

## Elemento clave para la competitividad y sostenibilidad del cultivo

### Oil Palm Soil Microbiology in Colombia: Key Factor for the Competitiveness and Sustainability of the Crop

#### AUTORES

**Tania Galindo C.**

Programa de Biología y  
Mejoramiento de la Palma,  
Cenipalma

**Hernán Mauricio Romero**

Programa de Biología y  
Mejoramiento de la Palma,  
Cenipalma  
Departamento de Biología,  
Universidad Nacional de Colombia.  
hromero@cenipalma.org

#### Palabras CLAVE

Micorrizas, bacterias promotoras de  
crecimiento vegetal, bacterias  
solubilizadoras, microorganismos  
degradadores de materia orgánica,  
desarrollo sostenible.

Mycorrhiza, growth promoting  
rhizobacteria, solubilizer,  
microorganisms, degraders of organic  
matter, sustainable development.

Recibido: 30 mayo 2010  
Aceptado: 3 junio 2010



#### Resumen

Se presenta un panorama general sobre la importancia y necesidad de la investigación en microbiología del suelo y su relación con la palmicultura en Colombia. Específicamente se revisan cuatro grupos de microorganismos: Hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA); microorganismos solubilizadores de fosfatos (MSF), bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) y microorganismos degradadores de materia orgánica. Se analizan los temas de microbiología del suelo en los que Cenipalma, como Centro de Investigación en Palma de Aceite, está desarrollando o va a desarrollar investigaciones en el marco productivo del cultivo en Colombia.

#### Abstract

A general view of the soil microbiology research for Oil Palm in Colombia is presented herein. Four groups of microorganisms are reviewed: Arbuscular mycorrhiza Fungi, phosphate solubilizer microorganisms, nitrogen fixer bacteria and degraders of organic matter. Important soil microbiology topics in which Cenipalma (Colombian Oil Palm Research Center) is currently working or planning to work in the near future are analyzed from a productive perspective.

## Introducción

El aceite de palma lideró la producción mundial de aceites y grasas en 2008 con 30% del total, ubicándose por encima de la producción de aceite de soya, canola y girasol. Asia produce el 88,3% del total del aceite de palma y Colombia es el quinto país productor con 2,2% y el primer productor en América. Colombia venía presentando mejoras sorprendentes en los rendimientos al ser comparados con los países líderes (Fry, 2007), sin embargo, durante los últimos dos años presentó una disminución en su crecimiento (Fedepalma, 2010). A pesar del liderazgo de la palma de aceite en el mercado de las oleaginosas, la competitividad del cultivo podría ser mejor de no ser por los altos costos de producción, dentro de los cuales la fertilización es el más alto. Por ejemplo, en Colombia, este costo representa más del 40% con incrementos anuales superiores al 100% (Fedepalma, 2008a). Se necesitan alternativas para aumentar la eficiencia de la fertilización, como por ejemplo el uso de microorganismos que catalicen la toma de nutrientes en el suelo, dentro de la interfaz suelo-planta llamada rizósfera.

En la actualidad el cultivo de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Colombia se posiciona como uno de los más promisorios y de mayor desarrollo debido a las condiciones climáticas y topográficas favorables para su establecimiento en diferentes regiones del país y al interés creciente de inversionistas y entidades gubernamentales para apoyar su crecimiento. El área sembrada con esta especie en 2008 en Colombia fue de 336.956 hectáreas distribuidas en 95 municipios (Fedepalma, 2009) y en 2009 de 360.537 hectáreas estimadas. Sin embargo, la palmicultura en Colombia tiene los retos de aumentar la competitividad, reducir los costos, generar valor agregado y ser sostenible integralmente.

El inicio de una línea de investigación acerca del componente microbiológico de los suelos destinados al cultivo permitirá un desarrollo más competitivo y sostenible al mediano y largo plazo. En el Centro de Investigación en Palma de Aceite (Cenipalma) se iniciaron estudios para el desarrollo de bioinsumos y sistemas de análisis de la calidad basados en la microbiota edáfica. El objetivo principal es brindar soluciones sostenibles a largo que plazo que permitan una mejor nutrición del cultivo, mediante el aprovechamiento del potencial de microorganismos benéficos.

Otros aspectos que pueden manejarse de manera complementaria, mediante estrategias que involucran microorganismos del suelo, son las enfermedades y el uso de la biomasa residual del cultivo. Se ha demostrado que la presencia de bacterias benéficas alrededor de las raíces tiene la capacidad de proteger a las plantas contra enfermedades, ya que preparan la maquinaria genética y bioquímica de respuesta sistémica frente a enfermedades, mediante un mecanismo llamado Resistencia Sistémica Inducida (Ramamoorthy et ál., 2001; Audenaert et ál., 2002; Jetiyanon y Kloepper, 2002; Ton et ál., 2002). De forma similar, hongos simbioses formadores de micorrizas provocan en la planta la expresión de genes relacionados con defensa y es muy posible que alisten a la planta para posibles ataques por parte de microorganismos que puedan causar enfermedad (Cordier et ál., 1998; Revisado en Smith y Read, 2008).

Respecto al aprovechamiento de biomasa residual del cultivo, promover su descomposición a través de microorganismos degradadores nativos de materia orgánica, que eficientemente agilicen las tasas de transformación de estos materiales, sería un aporte importante para la palmicultura.

Otro aspecto estratégico y prioritario en la investigación del aceite de palma es la sostenibilidad del cultivo. Este se constituye en punto crítico de la expansión y mejora nacional e internacional del área sembrada. A nivel global, como medida para promover la sostenibilidad, se ha creado la RSPO (*Roundtable on Sustainable Palm Oil*, regida por el Código Civil Suizo y creada en 2004), la cual certificará cultivos que quieran comercializar productos relacionados con la palma de aceite en mercados europeos a partir de 2010 (Fedepalma, 2008b; Chandran, 2007). Por tanto, para los palmicultores en Colombia es de vital importancia demostrar en el mediano y corto plazos la adopción de principios y criterios que permitan alcanzar este tipo de certificaciones, ya que de esta manera se abrirán mercados y se hará un manejo ambiental responsable del cultivo. Adoptar prácticas basadas en el uso del recurso biológico del suelo, desarrolladas a partir de investigaciones en ciencia básica acerca de las interacciones planta-microorganismo-suelo, para el manejo de la fertilización y el acondicionamiento del suelo, así como para fortalecer los cultivos frente al ataque de enfermedades y como estrategia para manejo de residuos, daría puntos de sostenibilidad al cultivo.



## Áreas de interés para la palmicultura

El agroecosistema de la palma de aceite está inmerso en una red de interacciones biológicas complejas y dinámicas que deben ser tenidas en cuenta para su manejo agronómico. Los microorganismos conviven con las plantas, se comunican con ellas mediante el contacto directo y señales químicas, viven sobre ellas, aprovechan los fotosintatos que se producen en las hojas y que son transportados a las raíces de las plantas, compiten entre sí, producen sustancias únicas y mantienen procesos bioquímicos importantes para el cultivo. Las comunidades microbianas asociadas a la palma de aceite responden al establecimiento del cultivo, tratando de mantener un equilibrio que puede o no favorecer el establecimiento de microorganismos benéficos, o bien, aquellos que causan enfermedades. Más aún, este equilibrio podría y ha mantenido por años comunidades activas de microorganismos que no han sido comúnmente estudiados bajo las condiciones específicas de ecosistemas colombianos donde se está estableciendo la palmicultura.

Los microorganismos benéficos asociados a la palma de aceite son protagonistas del ciclaje de los nutrientes en el agroecosistema. En la Figura 1 se muestran diferentes grupos de microorganismos involucrados en este proceso y que, con la investigación básica y de desarrollos tecnológicos, podrían ser coadyuvantes de la fertilización y de la degradación de materia orgánica.

Investigadores de los primeros países productores de aceite de palma como Malasia e Indonesia, y otros en Costa de Marfil, Ecuador y Colombia, han realizado y publicado resultados de algunos experimentos con microorganismos del suelo. Bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre como *Azospirillum* sp. y *Azotobacter beijerinckii*, microorganismos solubilizadores de fosfatos como *Aeromonas* sp, *Aspergillus niger*, y diferentes géneros de hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) han sido aislados y probados *in planta* (Ramlah y Mohd Tayeb, 1991; Amir et ál., 2001; Schultz, 2001; Adiwiganda y Goenadi, 2002; Motta y Munévar, 2005). En los diferentes estudios donde se ha aplicado se registra, para *E. guineensis*, aumentos en las tasas de crecimiento de hasta 100% y disminución de costos de 36% debidos a la fertilización. Así mismo, se han reportado incrementos en la eficiencia de la

fertilización fosfatada de 5,6 veces debido al uso de micorrizas arbusculares (Blal et ál., 1990).

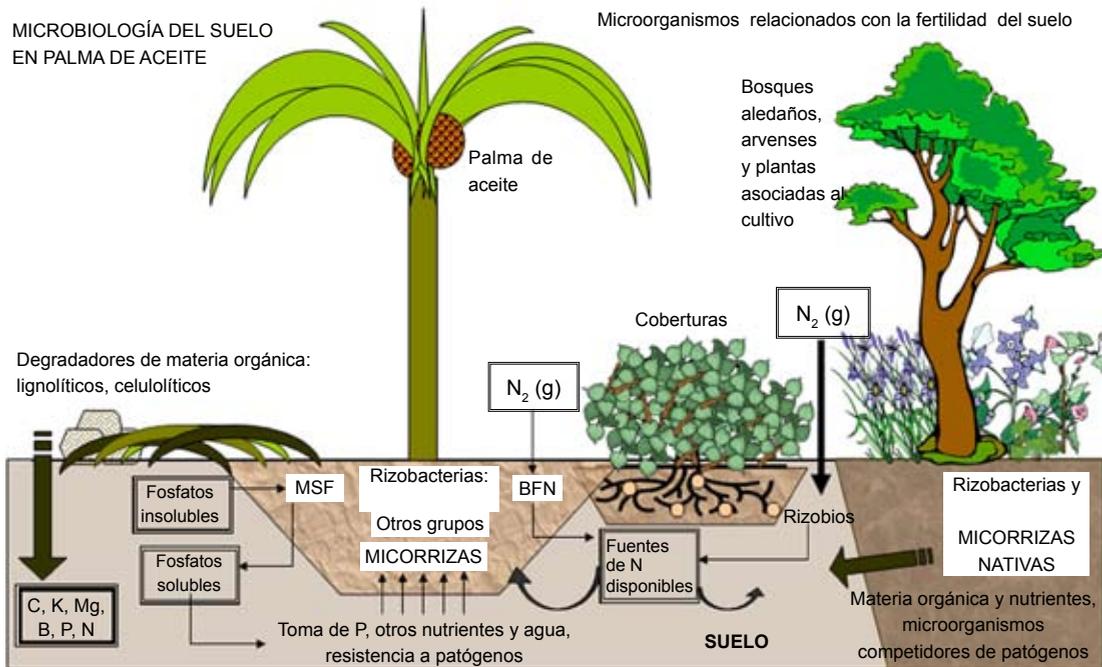
Los beneficios de la inoculación de palma de aceite con microorganismos promotores de crecimiento vegetal se deben posiblemente a que las plantas de palma de aceite no poseen pelos radicales, lo cual hace que sus raíces se vean notablemente beneficiadas al aumentar su superficie de absorción mediante una profusa red de micorrizas y microorganismos asociados. Adicionalmente, la demanda nutricional de este cultivo es de las más altas al ser comparadas con otros cultivos; solo el cultivo de banano tiene mayores requerimientos (Foster, 2003).

Por otro lado, los suelos de las zonas tropicales donde se desarrolla el cultivo de la palma presentan serias limitaciones nutricionales que podrían ser manejadas con la aplicación de microorganismos o consorcios adecuadamente estudiados y aplicados. En Colombia, los suelos donde se desarrolla el cultivo son por lo general fijadores de fósforo, ácidos y, en algunos municipios, presentan altos niveles de salinidad sódica (Munévar, 1998). Experimentalmente se ha comprobado que la inoculación con microorganismos seleccionados y bioaumentados en los mismos suelos de donde han sido aislados permiten un incremento de la productividad vegetal (Hungria et ál., 2006).

A continuación se presentan los principales grupos de microorganismos promotores de crecimiento vegetal: Hongos formadores de micorrizas arbusculares, microorganismos solubilizadores de fosfatos y microorganismos fijadores de nitrógeno.

### Micorrizas

Son asociaciones simbióticas mutualistas entre hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) del suelo y plantas. Hay siete diferentes tipos de micorrizas, pero las de mayor importancia a nivel agronómico en las zonas tropicales son las micorrizas arbusculares (MA) (Sieverding, 1991). La simbiosis con las micorrizas ayuda no solo a una toma de nutrientes más eficiente por la planta, sino también contribuye a la tolerancia al déficit hídrico, la resistencia al ataque de patógenos, la tolerancia a niveles altos de metales pesados y la agilización de crecimiento en etapas tempranas del desarrollo, especialmente bajo condiciones de vivero. Por su parte, el hongo de la micorriza se alimenta de carbohidratos producto de la fotosíntesis que le pro-



**Figura 1.** Microorganismos del suelo relacionados con la fertilidad en el agroecosistema de la palma de aceite. En el suelo las comunidades microbianas asociadas a las raíces de las plantas en la rizósfera (representada por las zonas sombreadas en la figura) son importantes protagonistas del reciclaje de nutrientes y la transformación de materia orgánica. Los degradadores de materia orgánica pueden agilizar la liberación de nutrientes provenientes de los desechos del cultivo como tusa y hojas viejas. Los microorganismos solubilizadores de fosfatos (MSF) hacen disponibles los fosfatos insolubilizados en el suelo; las micorrizas rápidamente pueden traslocar estos fosfatos solubles hacia la planta. El nitrógeno atmosférico que es incorporado a través de la fijación biológica de nitrógeno por parte de bacterias rizosféricas de vida libre (BFN) y simbióticas de leguminosas de cobertura (Rizobios) puede llegar a suplir una importante fracción de los requerimientos de la fertilización nitrogenada en el sistema. Las tasas de incorporación o reciclaje de nutrientes (representadas en la figura en recuadros de doble línea) deben ser estimadas bajo diferentes condiciones edáficas y agronómicas para el cultivo, y se debe establecer su relación con la actividad microbiológica del suelo. Estudios agroecológicos de las tasas de solubilización de fosfatos, fijación de nitrógeno y descomposición de la biomasa in situ dará una idea del aporte real de los microorganismos del suelo en el cultivo. Un banco de cepas eficientes de cada grupo permitiría desarrollos tecnológicos con los cuales se aproveche el recurso biológico del suelo. La descripción detallada de cada grupo de microorganismos se presenta en el texto.

vee la planta de forma directa y efectiva a través del contacto celular entre las hifas y las células de la raíz (Guerrero, 1996; Read, 1999; Azcón-Aguilar y Barea, 2006; Liu et ál., 2007).

Aunque los registros son escasos, se ha documentado previamente que la palma de aceite (*E. guineensis*) presenta infección de sus raíces con HFMA de forma natural (Morton, 1942; Nadarajah, 1980; Blal et ál., 1990; Ramlah y Mohd Tayeb, 1991; Moawad y Vleck, 1998; Motta y Munévar, 2005; Morales y

Bernal, 2007). En Malasia se documentaron seis especies de hongos Glomales en un estudio exploratorio (Nadarajah, 1980). En la revisión hecha por Ramlah y Mohd Tayeb (1991), se citan como géneros que presentan las mayores concentraciones de esporas en plantaciones de palma, a *Glomus*, *Sclerocystis*, y *Entrophospora*, encontrados predominantemente a profundidades no mayores de 15 cm del suelo en plantaciones malasias. Otros géneros que parecen encontrarse ocasionalmente son *Acaulospora* y *Gi-*



*gaspora*. Llama la atención que no se citan especies del hongo en estos reportes, lo cual representa un vacío en el conocimiento ya que a nivel de género, estos hongos difieren enormemente en su biología y eficiencia en la promoción de crecimiento en palma de aceite (Schultz, 2001). Por eso, estudios con especies (y no solo géneros) de HFMA son esenciales para determinar la eficiencia de la simbiosis y su utilidad en términos económicos.

Ramlah y Mohd Tayeb, (1991) citan trabajos donde se ha evaluado la dependencia de la palma de aceite por micorrizas arbusculares (MA), encontrándose que, si bien las plantas no son micotróficas obligadas, es decir, que pueden crecer sin micorrizas, la simbiosis se puede establecer aun a concentraciones de fósforo cercanas a  $300 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ . A mayores concentraciones del nutriente, la actividad biológica de las MA se ve disminuida (Tai, 1986 cit. en Ramlah y Mohd Tayeb, 1991). En Colombia, se ha encontrado que a concentraciones edáficas de  $53 \text{ mg P} \cdot \text{kg}^{-1}$  se observan incrementos en parámetros de crecimiento debidas a los HFMA aplicados (Motta y Munévar, 2005).

Corley y Tinker (2003) exponen la posibilidad de que las micorrizas sean protagonistas del aprovechamiento eficiente del fósforo en palma de aceite. Al calcular la concentración mínima necesaria del nutriente en la solución del suelo, para alcanzar un crecimiento normal de la planta, se obtiene un valor de  $3 \times 10^6 \text{ mol P} \cdot \text{L}^{-1}$ . Dado que este valor teórico es mayor a las concentraciones reales luego de una fertilización, los autores advierten que es muy posible que la aparente eficiencia de uso del nutriente por parte de las palmas alcanzada en el campo podría deberse a la ocurrencia natural de micorrizas arbusculares. Blal et ál. (1990) demostraron utilizando  $^{32}\text{PO}_4^{3-}$  que la aplicación de HFMA mejoraba la eficiencia de fertilización tanto con roca fosfórica como con superfosfato, en un factor de 2,7 a 5,6 respecto a las plantas no inoculadas, en suelos tropicales fijadores de fósforo en Costa de Marfil. Este dato es importante teniendo en cuenta que en Colombia existen depósitos minerales de roca fosfórica que permiten la utilización de esta fuente de fósforo cuyo costo, en promedio, es 2,9 veces menor que otras fuentes de P soluble (Arias, 2008).

Experimentalmente se ha demostrado que la aplicación de HFMA en plántulas de palma micropropagadas *in vitro* es una alternativa promisoriosa en la mejora de su establecimiento y tasas de mortalidad al

transplante (Widiastuti y Tahardi, 1993). Schultz et ál. (1998) reportaron un aumento en la tasa de supervivencia de plántulas de palma de aceite transplantadas a partir de material propagadas *in vitro*, de 70% en tratamientos no inoculados frente a un 90-95% en tratamientos inoculados con HFMA.

Schultz (2001) utilizando plántulas de palma de aceite micropropagadas *in vitro*, bajo condiciones de invernadero, encontró un aumento en el éxito de transplante y una mejora en la aclimatación de plántulas. Esto se logró luego de un proceso riguroso de selección de once (de veinte) cepas de HFMA, las cuales ocasionaron incrementos positivos de parámetros de crecimiento y resistencia al transplante. La autora reporta tasas de supervivencia de 83-100% en plántulas inoculadas, frente a 55% en plántulas no inoculadas. Se encontró igualmente un incremento de dos veces en parámetros de crecimiento y de tres veces en la toma de fosfato al compararlos con controles no inoculados. De veinte aislamientos diferentes de micorrizas evaluadas, todas ellas colonizaron las raíces de *Elaeis gineensis*. Las cepas más eficientes en cuanto a un aumento de crecimiento y toma de fósforo fueron aisladas en Colombia e hicieron parte del banco de MA del Centro Internacional de Agricultura Tropical, CIAT; estas fueron *Glomus manihotis*, *Entrophospora columbiana*, *Acaulospora mellea* y *Acaulospora appendicula*. Cabe resaltar que actualmente se está trabajando en la producción de materiales *in vitro* para palma de aceite en Colombia. Contar con el conocimiento acerca de las micorrizas de palma de aceite y el proceso detallado de micorrización en plántulas permitirá un aprovechamiento efectivo de las dos tecnologías, micorrizas y propagación *in vitro* de plántulas, las cuales se perfilan como altamente promisorias en los próximos años (Rocha, 2007).

En Latinoamérica, Ancupa (Asociación de Cultivadores de Palma de Aceite) lidera la investigación en microbiología del suelo de este cultivo en Ecuador. Allí se ha demostrado que palmas de aceite se asocian con micorrizas arbusculares (MA) de manera natural y que la intensidad de micorrización así como las concentraciones de esporas presentes está determinada por algunos factores agronómicos como material vegetal, condiciones de riego, aplicación de fertilizantes y estado fitosanitario del cultivo (Morales y Bernal, 2007). Plantas de diferentes materiales vegetales presentan diferentes grados de micorrización. Los investigadores

ecuatorianos han encontrado que *E. guinensis* y *E. oleifera* contienen en sus rizósferas mayores concentraciones de esporas (13 a 14 esporas \* g<sup>-1</sup> peso seco de suelo) frente a híbridos interespecíficos OxG Coarí (8 esporas \* g<sup>-1</sup> peso seco de suelo). Esto contrasta con los valores de porcentaje de colonización radical los cuales fueron mayores en el material Coarí (60%) al compararlos con *E. guinensis* (48%). Por otro lado, en suelos con menores niveles de riego se encontraron mayores concentraciones de esporas (15 esporas \* g<sup>-1</sup> peso seco de suelo) y menores porcentajes de colonización (43%) al comparar con suelos que se someten a riego (10 esporas \* g<sup>-1</sup> peso seco de suelo; 58% colonización radical). La fertilización parece provocar mayores niveles de colonización en raíces (51% en palmas frecuentemente fertilizadas y 39% en palmas poco fertilizadas) pero disminución en las concentraciones de esporas en rizósfera (16 esporas \* g<sup>-1</sup> peso seco de suelo, frente a 13 en las plantas fertilizadas). Así mismo, plantas sanas presentan mayores niveles de colonización (50%) frente a plantas afectadas por pudriciones en algunos de sus tejidos (26%).

En Colombia, en 1994 se retomó un estudio hecho en 1988 en Hacienda Cuernavaca, ubicada en los Llanos Orientales. En este estudio preliminar se utilizaron diferentes cantidades de inóculo micorrícico (0, 500, 1.000 y .2000 g) de concentración desconocida. Estos se aplicaron en el momento del transplante desde el vivero al sitio definitivo de siembra. Al retomar el estudio en 1994 se encontraron dos géneros de micorrizas asociadas a la palma de aceite: *Glomus* y *Acaulospora* (Munévar, 1995). Estos mismos géneros fueron encontrados en plantaciones del Ecuador recientemente (Morales y Bernal, 2007).

Posteriormente, Motta y Munévar (2005) realizaron inoculación de HFMA a plántulas de vivero y encontraron que al aplicar una dosis de 200 g de un inóculo comercial a palmas de aceite, éstas triplicaron su biomasa aérea en relación con el tratamiento no inoculado. Estos resultados llevaron a los autores a sugerir un potencial muy alto para mejorar las condiciones de crecimiento de la palma de aceite a través de la micorrización, mencionando la posibilidad de una sustitución de fertilizantes químicos. Los mismos autores reportan un aumento notable de la acumulación de Boro en plantas inoculadas con la mayor dosis de micorrizas (200 g), así como aumentos en los contenidos de N, Cu, P y K, aunque estos de menor magnitud.

Finalmente, en la más reciente revisión de micorrizas en palma de aceite, realizada por un grupo de expertos en micorrizas (Phosri et ál., 2001), se expone la potencialidad de los HFMA para incrementar la productividad en sistemas de agricultura convencional y su importancia para el funcionamiento de sistemas agrícolas sostenibles. Los autores presentan un análisis de la situación de Colombia como país productor de aceite de palma en referencia a otros países productores y las perspectivas que se abren con la aplicación de micorrizas y tecnologías asociadas.

### Microbiota asociada a las micorrizas y a la rizósfera

La rizósfera es el volumen de suelo afectado directamente por exudados radicales de las plantas. Se estima que cerca de 40% de los productos de la fotosíntesis en la planta es traslocado a las raíces para sostener las complejas comunidades microbianas rizosféricas (Rovira, 1965). La formación de micorrizas provoca un cambio en los exudados radicales. En consecuencia, las comunidades microbianas asociadas a la rizósfera se ven afectadas formándose un nicho micorrizosférico diferencial. Allí las micorrizas interactúan con los microorganismos en diferentes maneras, ya sea de forma mutualista o competitiva, modificando muchas veces la función o establecimiento de las micorrizas o bien, las interacciones de la planta con los microorganismos del suelo. Por esta razón, los microorganismos micorrizosféricos deben ser en lo posible aislados, estudiados y analizados para explorar su utilización como posibles mejoradores de la simbiosis (Revisado en Osorio, 2007).

Hay dos grupos que presentan alto potencial como posibles coinoculantes de micorrizas y que se proponen ser aislados y cuantificados en investigaciones realizadas por Cenipalma, los cuales se describen a continuación:

#### *Microorganismos solubilizadores de fosfatos (MSF)*

En suelos ácidos, el fósforo se inmoviliza con óxidos e hidróxidos de hierro y aluminio; (Bohn et ál., 1993). Este es un problema predominante en los suelos tropicales altamente meteorizados y en suelos con altos valores de acidez (Sánchez y Uehara, cit. en Osorio 2004). No obstante, bajo condiciones favorables de pH y con la intervención de microorganismos, las formas insolubles de fósforo pueden pasar a formas solubles,



principalmente mediante la producción microbiana de ácidos orgánicos que compiten con el fosfato y forman complejos con los cationes que lo inmovilizan, liberando fosfato a la solución de suelo (Alexander 1981; Kucey, 1989; Rodríguez y Fraga 1999).

Los microorganismos que producen altas cantidades de ácidos orgánicos y/o que poseen enzimas fosfatasas que intervienen en la solubilización de fosfatos en el medio en donde crecen se denominan solubilizadores de fosfatos (MSF) (Sundara-Rao y Sinha, 1963). Entre los géneros bacterianos de reconocida capacidad solubilizadora de fosfato se encuentran *Pseudomonas*, *Enterobacter*, *Bacillus*, *Proteus*, *Citrobacter*, *Klebsiella*, y *Serratia* (Rodríguez y Fraga, 1999). Entre los géneros de hongos que poseen actividad solubilizadora de fosfato se encuentran *Aspergillus* spp., *Penicillium* spp. y algunas levaduras (Whitelaw et ál., 1999; Vázquez et ál., 2000; Vassilev et ál., 2001).

Una investigación realizada en Colombia con este grupo de microorganismos y su efecto en el cultivo, reporta un aumento de actividad de las enzimas fosfatasa ácida, celulasas, concentración de MSF y microorganismos celulolíticos, en suelos adicionados con un producto formulado cuyo principio activo lo constituían bacterias solubilizadoras de fosfatos (Ángulo et ál., 2009).

### **Bacterias fijadoras de nitrógeno (BFN) no asociadas a leguminosas**

Un grupo muy especial de bacterias tienen la capacidad de asimilar nitrógeno atmosférico gaseoso utilizando la enzima nitrogenasa que cataliza la conversión del gas inerte  $N_2$  a amoníaco o amonio. Este grupo de reconocida acción promotora de crecimiento vegetal puede llegar a proveer una importante fracción del nitrógeno asimilable disponible en el suelo. Existen bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre, es decir que no necesitan a las plantas para sobrevivir, endófitas facultativas, que son aquellas que pueden o no vivir asociadas dentro de los tejidos de las plantas y endófitas obligadas, o sea, que necesitan entrar en simbiosis con las plantas, viviendo en el interior de ellas para sobrevivir (Revisado en Baldani et ál., 1997). Dentro de los géneros y/o especies más conocidos de bacterias fijadoras de nitrógeno de vida libre está *Azotobacter* encontrado principalmente en la rizósfera de gramíneas. Bacte-

rias del género *Azospirillum* son endófitas facultativas encontradas asociadas a diferentes pastos y cereales. Bacterias de los géneros *Acetobacter*, *Herbaspirillum* y *Burkholderia* se han encontrado dentro de tejidos vegetales exclusivamente. Algunos de estos géneros se consideran promotores de crecimiento vegetal no solo por su capacidad de fijación de nitrógeno, sino también por producir reguladores de crecimiento vegetal como auxinas, citoquininas y ácido abscísico (Revisado en Glick et ál., 1999). Muchos de estos diazótrofos, facultativos y obligados, fueron aislados en plantas de palma de aceite adulta en Brasil durante la pasada década (Ferreira et ál., cit. en Baldani et ál., 1997), lo que indica que las palmas presentan de forma natural asociaciones con BFN, las cuales podrían participar activamente en el desarrollo de estas plantas.

Las BFN de vida libre o simbiosis facultativas pueden ser útiles en la palmicultura al ser aplicadas en la rizósfera según se ha demostrado previamente (Amir et ál., 2001; Azlin et ál., 2005; Azlin et ál., 2007; Carvalho et ál., 2008). Por ejemplo, se ha demostrado que *Azospirillum* spp. puede suplir hasta 40% de los requerimientos de nitrógeno de palma en etapa de vivero; aumentar las tasas de crecimiento de raíz y tallo en 30 y 60% respectivamente; además de permitir un aumento de las tasas fotosintéticas de la planta asociada hasta en 100% ( $5,9 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  en plantas no inoculadas frente a  $11,6 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  en plantas inoculadas) (Amir et ál., 2001), bajo condiciones controladas.

En Indonesia, al aplicar a lotes de cultivos de palma de aceite un biofertilizante, se lograron disminuciones de los costos de fertilización hasta del 36% cuando se combinaron con fertilizantes convencionales. Estos biofertilizantes fueron aislados de ultisoles nativos de ese país y consistían principalmente en MSF y BFN (Adiwiganda y Goenadi, 2002.).

En  
Latinoamerica,  
Ancupa del  
Ecuador, lidera  
la investigación en  
microbiología  
del suelo del  
cultivo de  
palma de aceite.

## Bacterias fijadoras de nitrógeno asociadas a coberturas

Las coberturas generalmente utilizadas en palma de aceite permiten mejorar el estado nutricional del suelo y las palmas, gracias a su asociación con rizobios y bacterias simbioses obligadas de las raíces de plantas leguminosas que proveen el nitrógeno que requiere la planta hospedera. Los rizobios se reconocen porque tienen la capacidad de fijar nitrógeno de forma muy eficiente frente a otras BFN; su característica formación de nódulos en las raíces de las leguminosas asegura el intercambio de nutrientes y fotosintetatos necesarios para mantener la simbiosis.

Para promover un programa de uso eficiente de la fijación de nitrógeno a través de las coberturas, que supla las necesidades del cultivo de palma en un porcentaje considerable, de manera que se sustituya parcialmente el uso de fertilizantes nitrogenados de síntesis química, es necesario primero determinar en qué medida las coberturas aportan nitrógeno a las palmas. En consecuencia, se podrían buscar alternativas de manejo de las coberturas que aumenten o disminuyan este aporte de nitrógeno al sistema. Se ha demostrado que la falta de agua, la acidez, las altas temperaturas del suelo y la aplicación excesiva de insumos químicos como fungicidas, fertilizantes y herbicidas afecta el establecimiento y función de los rizobios (Graham y Vance, 2003; Graham et ál., 2004; Hungría et ál., 2006). Paralelamente, es necesario iniciar una selección de cepas que toleren las condiciones limitantes de los suelos utilizados para sembrar palma y que sean eficientes en las tasas de fijación de nitrógeno.

En Latinoamérica, el cultivo de soya es un claro ejemplo del potencial que presentan las leguminosas como fertilizantes biológicos en agroecosistemas. Por ejemplo, la selección de cepas de rizobios adaptados a los suelos argentinos, brasileros y uruguayos, después de varios ciclos de inoculación con cepas foráneas, fue un avance importante para posicionar el cultivo como uno de los más competitivos del mundo. Actualmente la producción de soya de dichos países contribuye a la mitad de la producción mundial. Programas organizados de investigación con un apoyo importante gubernamental, promueven la investigación relacionada con la selección de cepas de *Bradyrhizobium* eficientes en soya en dichos países. Investigadores brasileros

reportan tasas de aportes de nitrógeno superiores a los 300 kg N\*ha<sup>-1</sup> en el suelo por parte de la simbiosis, proveyendo entre 69 y 94% del contenido foliar de nitrógeno en soya sin fertilización química nitrogenada (Hungría et ál., 2006).

## Microorganismos degradadores de lignina y celulosa (lignolíticos) y (celulolíticos)

Plantas de beneficio de aceite de palma con niveles de procesamiento por encima de 20 t/h de RFF y 160.000 t RFF/año generan cantidades de material de desecho que justifican un programa de manejo y reciclaje tecnificado de estos desechos (Miranda et ál., 2007). Dentro de las alternativas de manejo de estos residuos por parte de los palmicultores en Colombia, están tres prácticas: 1) disponer tusa en plato, 2) compostar residuos y 3) picar y disponer en plato los residuos. Cualquiera de estas prácticas tiene la característica de lenta degradabilidad de las fibras que componen estos materiales. Por ejemplo, el compost de tusa presenta altos contenidos de lignina (20%), de celulosa (28,5%) y hemicelulosa (16,2%) (Torres et ál., 2004). Microorganismos degradadores de estos materiales podrían agilizar el proceso y mejorar la calidad del material que se reincorpora al suelo.

## Uso actual de bioinsumos en la Zona Oriental palmera colombiana

Los antecedentes obtenidos de forma experimental junto con resultados no publicados de experimentos hechos por plantaciones, empresas productoras de bioinsumos y universidades colombianas, han animado a los palmicultores a utilizar tecnologías basadas en microorganismos del suelo dentro de su plan de manejo agronómico. Hay una tendencia cada vez mayor a la adopción de esta alternativa. A continuación se presenta el caso de la Zona Oriental colombiana, donde se realizó una encuesta relacionada con el uso de bioinsumos en la palmicultura.

Se encuestaron 33 plantaciones (que representan el 30% del área cultivada) acerca del uso de bioinsumos. Se encontró que 28 utilizan algún tipo de bioinsumo, siendo los hongos entomopatógenos (HEP) el tipo de bioinsumo más comúnmente utilizado



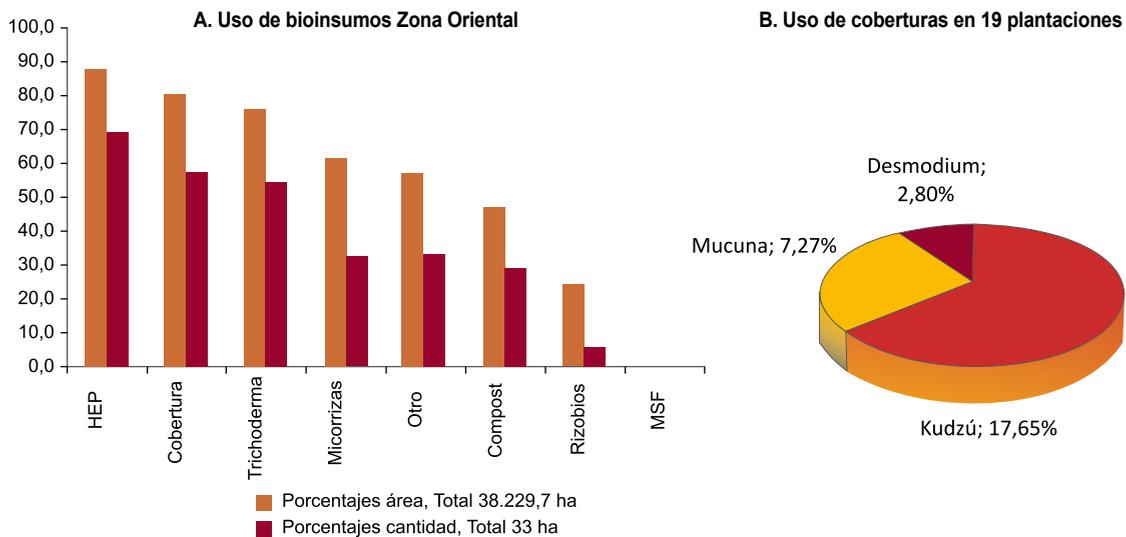
(23 plantaciones, 33.667 ha) (Figura 2A). Estos microorganismos han sido estudiados por Cenipalma durante más de ocho años, son de fácil aislamiento, mantenimiento y producción, luego de un cuidadoso proceso de selección. Si bien los HEP no son el tema central de esta revisión, sí son referentes importantes para el uso de microorganismos del suelo, ya que la infraestructura necesaria para su producción, los procesos de control de calidad y aplicación son similares. Una plantación que utilice HEP dentro de su programa de manejo agronómico podría igualmente utilizar insumos que contengan microorganismos del suelo como principio activo.

En la Zona Oriental se observa el uso común de hongos del género *Trichoderma*, presentándose en dieciocho plantaciones (29.207 ha) de las 33 encuestadas. No hay hasta el momento publicaciones de estudios básicos acerca de las interacciones de estos hongos con los demás microorganismos asociados a la palma.

El uso de HFMA se presentó en once de las plantaciones encuestadas. Este grupo central en el estudio de la microbiología del suelo asociada a plantas debe ser el eje principal sobre el cual se desarrolle la investigación de los microorganismos rizosféricos por las razones ya expuestas.

El 81% de las plantaciones encuestadas hace uso de cobertura (19 plantaciones, 30.964 ha). En la Fi-

gura 2B se presenta el tipo de cobertura utilizada. Un aspecto positivo es que se está empezando a diversificar la especie de planta leguminosa que se usa como cobertura; además de kudzú (*Pueraria phaseoloides*) ya se observa en las plantaciones uso de mucuna (*Mucuna pruriens*), desmodium (*Desmodium* sp) y maní forrajero (*Arachis pintoii*). Al respecto, Cenipalma, dentro del programa de Manejo Integrado del Suelo, adelanta actualmente investigaciones encaminadas a encontrar especies tropicales de leguminosas que se adapten a las condiciones del cultivo. Un aspecto que llama la atención es que el uso de coberturas se está realizando sin la aplicación conjunta de rizobios (ver Figura 2A), agentes centrales de la actividad fijadora de nitrógeno en las raíces de las plantas. Este es, por tanto, un tema que debe desarrollarse por completo en el área de microbiología del suelo en el cultivo de la palma en Colombia. En el futuro se espera realizar una selección de cepas de bacterias nativas rizobiales que se asocien eficientemente con plantas leguminosas de cobertura, con el fin de encontrar aislamientos o consorcios que aumenten las tasas de fijación de nitrógeno en las calles del cultivo, permitiendo así aumentos en los contenidos edáficos de nitrógeno asimilable por las palmas. Esta aproximación podría tener un impacto considerable en el manejo del cultivo a largo plazo si se tiene en cuenta que cepas de rizobios,



**Figura 2.** A. Porcentajes de número de plantaciones y áreas totales de estas plantaciones que utilizan algún tipo de bioinsumo en la Zona Oriental colombiana. HEP: hongos entomopatógenos. Otro: Amoníacos, microorganismos eficientes, ácidos húmicos, enzimas, caldos nutritivos, insectos controladores biológicos de plagas. MSF: Microorganismos solubilizadores de fosfatos. B. Tipo de cobertura utilizada en 19 plantaciones.

seleccionadas por su notable tasa de acumulación de nitrógeno, pueden llegar a causar un reemplazo en la fertilización nitrogenada total en cultivos de leguminosas como la soya y el frijol.

## Consideraciones finales

La utilización de microorganismos del suelo tiene un potencial muy alto para mejorar la competitividad del cultivo de palma de aceite en Colombia. Sin embargo, es importante realizar investigaciones básicas y aplicadas que permitan utilizar este potencial de manera eficiente y efectiva. Para ello, es necesario enfocar los esfuerzos de investigación hacia los siguientes temas relacionados con microbiología del suelo:

- Generación de conocimiento básico acerca de las interacciones de microorganismos del suelo con las diferentes variedades, líneas y materiales vegetales de palma de aceite en el país.
- Construcción de bancos de microorganismos del suelo caracterizados bioquímica y fisiológicamente

para iniciar procesos de selección de cepas promisorias.

- Estandarización de metodologías de evaluación agronómica de la respuesta a la inoculación con biofertilizantes cuyos principios activos sean microorganismos del suelo.
- Participación, promoción y divulgación acerca de las verdaderas bondades del uso de alternativas biológicas complementarias de la fertilización química.
- Participación y soporte técnico en la elaboración de políticas de control de calidad de bioinsumos basados en microorganismos del suelo que sean o vayan a ser utilizados en el cultivo de palma en Colombia.

## Agradecimientos

La investigación en Cenipalma es financiada por el Fondo de Fomento Palmero (FFP) administrado por Fedepalma.



## Bibliografía

- Adiwiganda, Y.T. Goenadi, D.H. 2002. The use of EMA Bio Fertilizer for Oil Palm. International Oil Palm Conference. Nusa Dua. Bali.
- Alexander, M. 1981. *Introducción a la microbiología del suelo*. AGT Editor S.A. Capítulo 20. 355-371p.
- Amir H.G.; Shamsuddin Z.H.; Halimi M.S.; Ramlan M.F.; Marziah M. 2001. Effects of *Azospirillum* inoculation on N<sub>2</sub> fixation and growth of oil palm plantlets at nursery stage. *J Oil Palm Res* 13:42-49
- Angulo, J.; García, A. M.; Gutiérrez, V.; Martínez, M. 2009. Efecto de materia orgánica y bacterias fosfato solubilizadoras en la actividad B *glucosidasa* y fosfatasa en suelos de palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.). *En: Memorias del XVIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo* 16 - 20 de noviembre, 2009 – Costa Rica.
- Arias, N. 2008. Medidas para reducir el impacto negativo del alto costo de los fertilizantes: eficiencia y rentabilidad. Documento presentado en Tertulia palmera. Bogotá, abril de 2008.
- Audenaert, K.; Pattery, T.; Cornelis, T.; Höfte, M. 2002. Induction of Systemic Resistance to *Botrytis cinerea* in Tomato by *Pseudomonas aeruginosa* 7NSK2: Role of Salicylic Acid, Pyochelin, and Pyocyanin. *MPMI* 15(11): 1147-1156.
- Azcón-Aguilar C.; Barea, J.M. 1996. Arbuscular mycorrhizas and biological control of soil-borne plant pathogens - An overview of the mechanisms involved. *Mycorrhiza* 6:457-464.

- Azlin, C. O.; Amir, H. G.; Chan L. K. 2005. Isolation and Characterization of Diazotrophic Rhizobacteria of Oil Palm Roots. *Malaysian Journal of Microbiology*. Vol 1, 2005. pp. 31-35.
- Azlin, C. O.; Amir, H. G.; Chan L. K.; Zamzuri, I. 2007. Effect of plant growth promoting rhizobacteria on root formation and growth of tissue cultured oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Biotechnology* 6 (4):549-554.
- Baldani, J.; Caruso; Baldani, V.; Goi, S.; Döbereiner, J. 1997. Recent advances in BNF with non-legume plants. *Soil Biology and Biochemistry* 29:911-922.
- Blal, B. C.; Morel, V.; Gianinazzi-Pearson, J. C.; Fardeau, S.; Gianinazzi. 1990. Influence of vesicular-arbuscular mycorrhizae on phosphate fertilizer efficiency in two tropical acid soils planted with micropropagated oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.). *Biol Fertil Soils* 9:43-48.
- Bohn, H., B.; Mc Neal; G.A. O'connor. 1993. *Química del suelo*. México. 335 p.
- Carvalho A, L.V.; Alves, B.; Baldani, V.; Reis, V. 2008. Application of 15N natural abundance technique for evaluating biological nitrogen fixation in oil palm ecotypes at nursery stage in pot experiments and at mature plantation sites. *Plant Soil* 302:71-78.
- Chandran, M. 2007. Producción sostenible de aceite de palma: Retos y oportunidades. *En: Memorias XV Conferencia Internacional sobre Palma de Aceite. Palmas* (Colombia) 28 (Número especial).



- Cordier, C.; Pozo, J.; Barea, J.M.; Gianinazzi, S.; Gianinazzi-Pearson, V. 1998. Cell Defense Responses Associated with Localized and Systemic Resistance to *Phytophthora parasitica* Induced in Tomato by an Arbuscular Mycorrhizal fungus. *1MPMI* 11(10):1017–1028.
- Corley, R.H.V.; Tinker, P.B. 2003. *The Oil Palm*. Fourth Edition Blackwell Science. 338-339p.
- Fedepalma. 2007. Actualización de costos para producción de aceite de palma. Informe Final 3. Bogotá, Junio 18 de 2007. 15p.
- Fedepalma. 2008a. Impacto del alza de los precios de fertilizantes en el sector agropecuario. Tertulia Palmera mayo – 2008. Disponible en: [http://www.fedepalma.org/tertulias/mayo\\_08.htm](http://www.fedepalma.org/tertulias/mayo_08.htm)
- Fedepalma. 2008b. Los Principios y Criterios de la RSPO. Documento de trabajo en regiones. Septiembre 8. Enviado por mmazorra@fedepalma.org al correo institucional de Fedepalma (tgalindo@cenipalma.org) con ocasión del Taller Regional en Zona Oriental.
- Fedepalma, 2010. Balance económico del sector palmero colombiano en 2009. Boletín Económico (Colombia). Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. 5 pp.
- Foster, H. 2003. Assessment of Oil Palm Fertilizer Requirements. En: T. Fairhurst, and R. Härdter (eds). 2003. Oil Palm: Management for Large and Sustainable Yields. PPI/PPIC and IPI. Singapore. 384p.
- Fry, J. 2007. Factores que afectan la competitividad de costos en los principales países productores de aceites vegetales. En: Memorias XV Conferencia Internacional sobre Palma de Aceite. Palmas (Colombia) 28(Número especial).
- Glick, B.R.; Patten, C.; Holguín, G. y Penrose, D.M. 1999. Auxin production. En: Biochemical and Genetic Mechanisms Used by Plant Growth Promoting Bacteria. Imperial College Press, London UK. 200 p.
- Graham, P.H. y Vance, C.P. (2003). Legumes: Importance and constraints to greater utilization. *Plant Physiol.* 131:872-877.
- Graham, P.H.; Hungria, M. y Tlustý, B. (2004). Breeding for better nitrogen fixation in grain legumes: where do the rhizobia fit in? *Plant Management Network, Crop. Science*. On line [<http://www.plantmanagementnetwork.org/cm>], March 2004.
- Guerrero, E. 1996. Micorriza: Fundamentos biológicos y estado del arte. 3-46 p. En: Guerrero, E (Editor). 1996. Micorrizas. Recurso biológico del suelo. *Fondo FEN de Colombia*. Bogotá. 208 p.
- Hashim, A. 2003. Ganoderma Versus Mycorrhiza. *Oil Palm Bulletin* 47 p. 6 – 14.
- Hungria, M.; Campo, R.J.; Mendes, I.C.; Graham, P.H. 2006. Contribution of biological nitrogen fixation to the N nutrition of grain crops in the tropics: the success of soybean (*Glycine max* L. Merr.) in South America. In: Singh, R.P.; Shankar, N.; Jaiwal, P.K., eds. *Nitrogen nutrition and sustainable plant productivity*. Houston, Texas: Studium Press, LLC, p.43-93.
- Jetiyanon, K.; Kloepper, J. 2002. Mixtures of plant growth-promoting rhizobacteria for induction of systemic resistance against multiple plant diseases. *Biological Control* 24: 285–291.
- Kucey Rmn; Janzen Hh; Leggett Me. 1989. Microbially mediated increases in plant available phosphorus. *Adv. Agron.* 42: 199-228.
- Liu, J.; Maldonado-Mendoza, I.; Lopez-Meyer, M.; Cheung, F.; Town, C.; Harrison, M. 2007. Arbuscular mycorrhizal symbiosis is accompanied by local and systemic alterations in gene expression and an increase in disease resistance in the shoots. *The Plant Journal* 50(3): 529-544.
- Miranda, H.; Schuchardt, F.; Wulfert, K.; Tjahjono, D. 2007. Manejo sostenible de efluentes y tusas en plantas de beneficio de palma de aceite mediante un nuevo proceso. *Palmas* (Colombia) 28 (No. Especial Tomo II):191-198.
- Moawad, A.; Vleck, P.L.G. 1998. Potencial contribution of (vesicular-) arbuscular mycorrhiza to nutrient efficient crops. En: *Proc. BTIG Workshop Oil Palm improvement through biotechnology*, (Ed. J.S. Tahardi et al.) Biotechnology Research of Unit for State Crops, Bogor (Indonesia). 48 -58 pp.
- Morales, R.; Bernal, G. 2007 Estudio del comportamiento micorrizico en el cultivo de la palma aceitera en la zona de Quinindé, Ecuador. *Revista Ancupa* (Ecuador) 5 Año 1.
- Morton, A.G. 1942. A study of the relationship between growth and mycorrhizal development in the oil palm. Internal report, Lever Bros y Unilever.
- Motta, D. Munévar, F. 2005. Respuesta de plántulas de palma de aceite a la micorrización. *Palmas* (Colombia) 26(3):11-20.
- Munévar, F. 1995. Evaluación de la asociación micorriza - palma de aceite. *Ceniavances* (Colombia)12:1-4.
- Munévar, F. 1998 Problemática de los suelos cultivados con palma de aceite en Colombia. En: *Memorias XII Conferencia Internacional sobre Palma de Aceite*. Retos y oportunidades para la palma de aceite. *Palmas* (Colombia) 19 (Número especial).
- Nadarajah, P. 1980. Species of Endogonaceae and mycorrhizal association of *Eleais guineensis* and *Theobroma cacao*. In: *Tropical mycorrhizal research*. (Ed. Mikola, P). Oxford Science Publishers, Oxford. 232-237 p.
- Osorio, N.W. 2007. A Review on Beneficial Effects of Rhizosphere Bacteria on Soil Nutrient Availability and Plant Nutrient Uptake. *Rev.Fac.Nal.Agr.* (Medellín) 60(1):3621-3643.
- Osorio, W. 2004. El rol de la materia orgánica en el manejo de suelos ácidos del trópico. En: Valenzuela, I. (Ed.) 2004. *Programa y Memorias del XVI Congreso Latinoamericano y XII Colombiano de las Ciencias del Suelo, Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo*.
- Phosri, C. Rodríguez, A. Sanders, I. Jeffries, P. 2010. The role of mycorrhizas in more sustainable oil palm cultivation. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 135,(3). On line desde 21 Oct. 2009
- Phosri, C.; Rodríguez, A.; Sanders, I.; Jeffries, P.; Ramamoorthy, V.; Viswanathan, R.; Raguchander, T.; Prakasam, V.; Samiyappan, R. 2001. Induction of systemic resistance by plant growth promoting rhizobacteria in crop plants against pests and diseases. *Crop Protection* 20:1-11.
- Ramlah Ali, A. S.; Mohd Tayeb, D. 1991. Status of Mycorrhizal Research in Oil Palm. *Porim Bulletin* (Malasia) 23: 4-14.
- Read, D.J. 1999. Mycorrhiza – State of the art. En: Varma, A. Hock, B. (Eds.). 1999. *Mycorrhiza. Structure, Function, Molecular Biology and biotechnology*. Segunda Edición. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 3-34 p.
- Rocha, P.J. 2007. Cultivo de tejidos: una herramienta valiosa para el desarrollo de la palma de aceite en Colombia. *Palmas* (Colombia) 28(1).
- Rodríguez, H.; Fraga, R. 1999. Phosphate bacteria and their role in plant growth promotion. *Biotechnology advances* 17:319-339.