



Microorganismos del suelo y biofertilización



"Crops for Better Soil" Life 10 ENV ES 471

Apuntes elaborados por: Asociación Vida Sana.



INDICE

El suelo hábitat para la vida	1
Funciones de los organismos vivos del suelo	2
El papel físico de los organismos del suelo.....	3
El papel bioquímico de los microorganismos	4
Principales organismos del suelo.....	4
Macroorganismos.....	5
Microorganismos.....	5
Los microorganismos del suelo.....	6
Microorganismos promotores del crecimiento de las plantas (PGPR)	9
Micorrizas	10
¿Qué son las micorrizas?	10
El papel de las micorrizas en los sistemas agrarios.....	16
Manejo de las micorrizas en los sistemas agrarios.....	18
Las micorrizas en sistemas intensivos de secano.....	20
Bacterias fijadoras de nitrógeno.....	21
Rhizobium.....	22
Azotobacter.....	25
Interacción entre los diferentes microorganismos del suelo: la micorizosfera.....	26
Efectos de las micorrizas en las comunidades de bacterias de la rizosfera	26
Efectos de las bacterias de la rizosfera en las micorrizas	27
Aportaciones interacción entre micorrizas y bacterias a la agricultura ecológica	28
Interacción de las prácticas agrícolas con los microorganismos del suelo.....	28
Biofertilizantes	30
Tipos de biofertilizantes que encontramos en el mercado	31
Indicaciones y usos	34
Bibliografía.....	36
ANEXO 1: Biofertilizantes utilizados en el proyecto <i>Life 10 ENV ES 471</i>	36



1.1. Funciones de los organismos vivos del suelo

Cada tipo de organismo realiza una función específica. Algunos, como las algas, son fotosintéticas, otros, como las cianobacterias, son capaces de fijar nitrógeno atmosférico. Sin embargo, la mayoría de los organismos del suelo utilizan la materia orgánica o la mineral como fuente de nutrientes y energía. Muchos están especializados en romper la materia orgánica de plantas y animales, dando sustancias simples, inorgánicas, que pueden ser devueltas a la atmósfera o arrastradas con las aguas de drenaje o ser incorporadas al stock de reserva mineral o al complejo arcillo-húmico. Otros organismos establecen relaciones simbióticas con otros organismos vivos, como *Rhizobium*, cianobacterias, micorrizas, etc. Para una buena gestión de los suelos es preciso conocer el hábitat y las costumbres alimentarias de los organismos que lo pueblan para favorecer el desarrollo de los organismos benéficos y reducir la actividad de los dañinos.

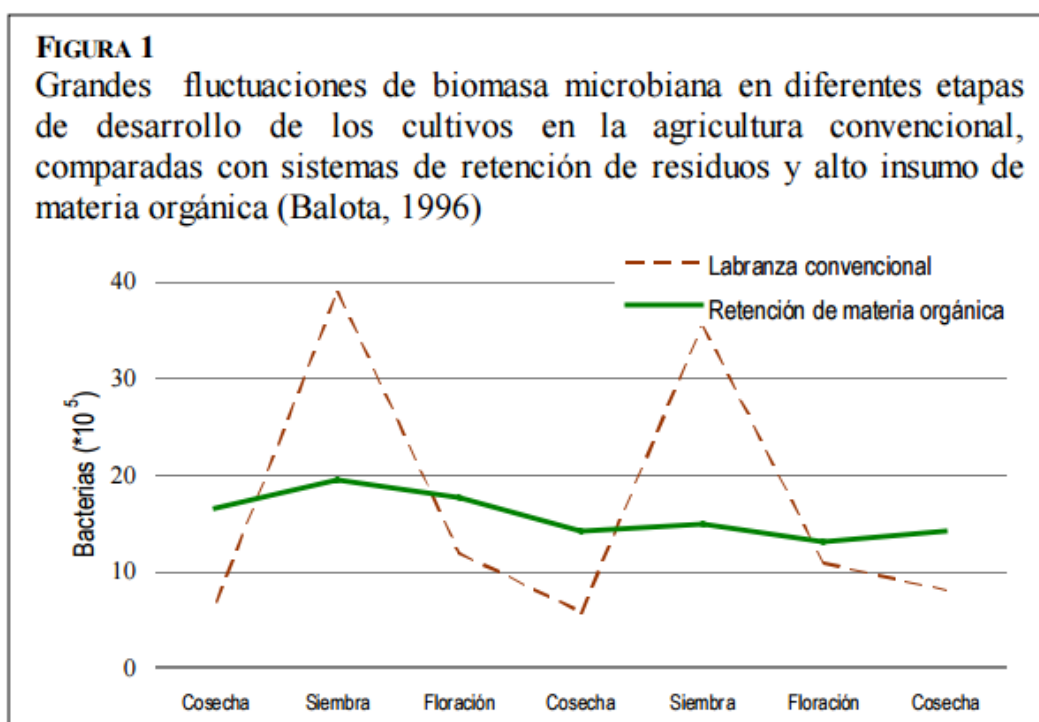


Figura 2: Efecto del laboreo en las poblaciones de bacterias del suelo. Fuente: Conservación de recursos naturales para la agricultura sostenible. FAO

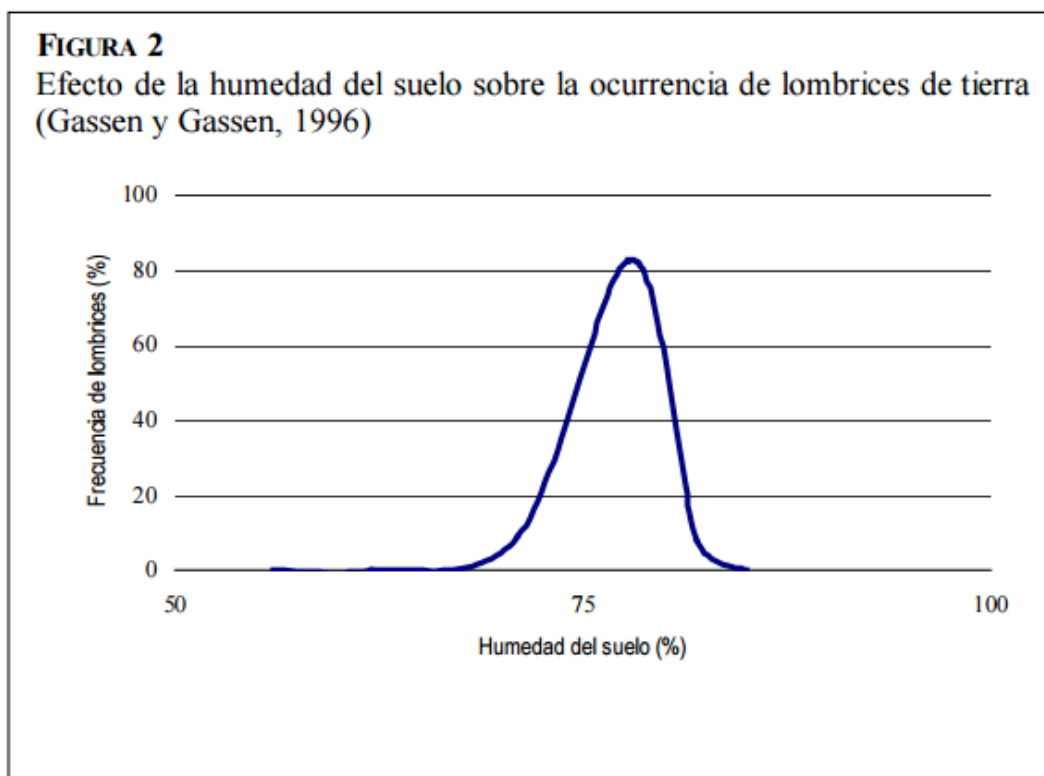


Figura 3: Efecto de la humedad en la presencia de lombrices de suelo. Fuente: Conservación de recursos naturales para la agricultura sostenible. FAO

1.1.1. El papel físico de los organismos del suelo

Además de su papel en el ciclo de los nutrientes del suelo muchos organismos tienen funciones básicas para el mantenimiento de una buena estructura y del funcionamiento del suelo.

- Transportan fragmentos orgánicos y minerales, mezclándolos, facilitando la formación del complejo arcillo-húmico.
- Las galerías de las lombrices de tierra, topes, conejos y otros animales, cruzan los horizontes, facilitando el descenso de las raíces en profundidad y la aireación y el drenaje de los suelos.
- Los microorganismos del suelo, especialmente los hongos, favorecen una buena estructura pues estabilizan los agregados envolviéndolos con sus redes de micelios y evitando que sean arrastrados por el agua de lluvia u otros agentes responsables de la erosión.



1.1.2. El papel bioquímico de los microorganismos

Es el papel más conocido e importante. Sin ellos el ciclo de la vida se interrumpiría y no podrían reciclarse los residuos orgánicos que llegan al suelo ni integrarse en el ciclo de la vida los minerales que forman parte de las rocas.

- *La transformación de materia orgánica.* Las materias carbonadas (azúcares, almidón, celulosa) son la fuente principal de energía de los microorganismos. Para su desarrollo precisan también de nitrógeno, pues para la descomposición de 30 g de celulosa se precisa 1 g de nitrógeno. Esto permite comprender la importancia de la relación C/N en los aportes orgánicos.

Degradan moléculas complejas de materia orgánica, formando humus. El humus se asocia con las arcillas para formar el complejo arcillo-húmico, que favorece la aireación, el almacenamiento de agua y la fertilidad.

El humus será mineralizado posteriormente, lentamente, liberando el nitrógeno y otros elementos, que se vuelven así disponibles para las plantas.

- *La solubilización de los minerales.* Los elementos contenidos en las materias minerales del suelo (K, Ca, Mn, Mg, etc) pueden también ser solubilizados por los microorganismos edáficos y volverlos asimilables para las plantas.
- *Fijación de nitrógeno.* Diversos grupos de bacterias, tanto libres como simbioses, son capaces de fijar el nitrógeno atmosférico.

1.2. Principales organismos del suelo

Como ya hemos dichos los organismos del suelo son muy numerosos y de características muy diferentes. En un suelo biológicamente vivo están presentes en grandes cantidades. En los suelos agrícolas que han sido sometidos a prácticas muy agresivas como el laboreo o el uso de productos químicos su presencia se reduce considerablemente.



BIOMASA MEDIA DE UN SUELO BIOLÓGICAMENTE ACTIVO

10 a 20 gr/m² de protozoarios
100 a 200 gr/m² de lombrices de tierra
50 a 100 gr/m² de otros organismos animales
> 1000 gr/m² de bacterias
> 300 gr/m² de actinomicetos
> 1000 gr/m² de hongos

Podemos clasificarlos en dos grandes grupos:

1.2.1. Macroorganismos

La macrofauna del suelo está constituida por los animales visibles del suelo, los cuales pertenecen a grupos muy diferentes entre sí: mamíferos, anélidos, moluscos y artrópodos. Algunos de estos animales capaces de vivir en el suelo tienen un tamaño considerable, como algunos mamíferos insectívoros adaptados a la vida subterránea (topos) y roedores (ratones). Ambos tipos fabrican redes de galerías que permiten un buen drenaje y aireación de los suelos.

Dentro de los macroorganismos también incluimos las raíces de las plantas y su papel también es clave ya que son el refugio y la fuente de alimentos de muchos organismos como veremos más adelante en el apartado dedicado a la rizosfera.

1.2.2 Microorganismos

Los microorganismos, por su gran versatilidad bioquímica, son los intermediarios entre el mundo mineral y el mundo vivo. Con sus innumerables reacciones metabólicas permiten incorporar los materiales del suelo en el mundo viviente y están en la base de toda productividad, por lo que debe darse a los microorganismos el papel fundamental que les corresponde en la fertilidad de los suelos.



Microorganismos	Microflora	< 5 μm	Bacterias Hongos
	Microfauna	< 100 μm	Protozoarios Nemátodos
Macroorganismos	Mesoorganismos	100 μm – 2 mm	Gusanos de primavera Ácaros
	Macroorganismos	2 – 20 mm	Lombrices Milpiés Barrenador de madera Caracoles y babosas
Plantas	Algas Raíces	10 μm > 10 μm	

N. B. Las partículas de arcilla son menores de 2 μm .

Tabla 1: Clasificación de los organismos del suelo. Fuente: Conservación de recursos naturales para la agricultura sostenible. FAO

Vamos a estudiar los microorganismos del suelo con mayor interés agronómico y de qué forma, en lugar de perjudicarlos con nuestras prácticas, podemos ponerlos a trabajar a nuestro favor para mejorar la salud y la productividad de las cosechas.

2. LOS MICROORGANISMOS DEL SUELO

El suelo es el hábitat ideal para el desarrollo de los microorganismos ya que su estructura constituye un entramado en el que pueden acomodarse tanto en el exterior como en el interior de los agregados. Pero para ello el suelo ha de tener una buena estructura donde el agua y el aire circulen con facilidad y se hallen en un equilibrio que permita el desarrollo de las colonias de microorganismos.

La mayor concentración de microorganismos se encuentra en la zona cercana a las raíces en lo que se conoce como en nombre de rizosfera. Las raíces corresponden a una biomasa de 5 a 6 Tm por hectárea en un campo cultivado. Su actividad bioquímica produce unos exudados radiculares, que contienen, según las especies vegetales, entre el 10 y el 50 % de la energía fijada por fotosíntesis. Estos exudados ricos en compuestos carbonatados sirven de alimento a los microbios de la rizosfera que, a cambio, proporcionan minerales que necesita la planta.



Si los suelos actuales, especialmente en aquellos que se ha practicado una agricultura muy intensiva, no están ya biológicamente muertos es gracias a la ingente cantidad de raíces que quedan en los suelos tras la cosecha, y que constituyen las últimas fuentes de materia orgánica en el suelo, aunque sea en cantidades insuficientes para frenar la erosión sino hay otros aportes. Un campo de trigo proveerá de 2 a 6 Tn de raíces por hectárea, que se transformarán en 200 a 600 Kg de humus al descomponerse.

En la rizosfera, en contacto mismo con las radículas, la densidad microbiana llega a ser tal que, en ocasiones, las raíces aparecen recubiertas por una especie de manguito que prácticamente las aísla del suelo (bacteriorrizas). Todas las actividades nutritivas de la planta se hacen por la intermediación de este recubrimiento microbiano, lo que da idea de las repercusiones que éste puede tener en el desarrollo y la salud de la raíz y, por tanto, del vegetal.

En general, el efecto de la rizosfera aumenta progresivamente conforme se va desarrollando la planta, empieza a sentirse en el momento de la germinación, alcanzando un máximo en el momento de la fructificación, decreciendo después lentamente. El descenso es muy lento debido a las sustancias nutritivas que encuentran los microorganismos asociados a las micorrizas en los restos de las raíces, cuando la raíz o la planta mueren.

Interés agronómico de la rizosfera

El papel agronómico de la rizosfera es muy considerable por su intervención en:

1. La modificación de la estructura del suelo.

Los microorganismos juegan un papel importantísimo en la agregación de los suelos, sobre todo, en lo que se refiere a la secreción de sustancias agregantes. Los hongos, por su micelio abundante, que forma una especie de red cohesionadora de las partículas del suelo, serían particularmente activos en este sentido.

2. La nutrición de las plantas (principalmente en el metabolismo del nitrógeno y por la solubilización de elementos minerales).

La actividad de los grupos bacterianos mineralizadores (amonificadores) está muy aumentada en la rizosfera, siendo la mineralización del



nitrógeno cuatro veces más activa en la rizosfera que en el suelo testigo, mientras que los grupos nitrificadores apenas se ven modificados.

En la rizosfera, el metabolismo del nitrógeno se ve activado en todos sus eslabones, desde la fijación del nitrógeno atmosférico hasta la nitrificación, de modo que la planta se encuentra siempre en las mejores condiciones para extraer del suelo el nitrógeno que precisan.

El conjunto de la microflora tiene también una acción metabólica muy importante en relación con los elementos minerales; el carbonato cálcico y otros compuestos insolubles son solubilizados y el calcio y otros elementos puestos a disposición de las plantas.

3. Secreción de sustancias activadoras del crecimiento como las hormonas.
4. La salud de las plantas, por su control en las infecciones patógenas.

Los hongos parásitos son más virulentos cuando atacan raíces estériles que cuando lo hacen a raíces con rizosfera. Los mecanismos de control son muy complejos, pero se atribuye un papel relevante a los fenómenos de secreción de sustancias antibióticas por los microorganismos de la rizosfera.

En resumen, la multitud de microorganismos que encontramos en la rizosfera se relacionan con las plantas de diferentes formas: saprofítica (se alimentan de los residuos de las raíces), parásita (causan enfermedades a las plantas) o simbiótica (proporcionan un beneficio a las plantas a cambio de alimento). Hay tres tipos de microorganismos que establecen simbiosis con las raíces de las plantas: bacterias promotoras del crecimiento vegetal, hongos formadores de micorrizas arbusculares y bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico.



2.1. Microorganismos promotores del crecimiento de las plantas (PGPR)

En la rizosfera existen gran número de microorganismos que establecen relaciones de simbiosis con las plantas. Estos microorganismos intervienen en el ciclo de algunos elementos minerales como el fósforo, el nitrógeno, el carbono, el hierro, etc y favorecen la nutrición de las plantas. A cambio se aprovechan de los exudados de las raíces en forma de ácidos orgánicos, mucílagos, aminoácidos o azúcares.

Los PGPR favorecen el crecimiento de las plantas por diferentes mecanismos: síntesis de fitohormonas (fundamentalmente el ácido indolacético), promueven el crecimiento de la raíz y la proliferación de los pelos radicales, inhiben el crecimiento de microorganismos patógenos y producen sustancias quelantes del hierro (sideróforos) que aumentan su absorción por parte de las plantas. Además intervienen en la fijación del nitrógeno (bacterias fijadoras de nitrógeno) y aumentan la absorción de agua y nutrientes y la absorción del fósforo (micorrizas). A estos dos últimos grupos vamos a dedicar un apartado especial por su gran importancia en la vida de las plantas y en el desarrollo de una agricultura más sostenible.

Los mecanismos por los que las PGPR controlan los microorganismos patógenos son: la competencia por el nicho ecológico o sustrato, síntesis de compuestos químicos inhibitorios como los sideróforos, los antibióticos y las enzimas líticas destoxicadoras e inducción de resistencia en la planta.



Figura 4: Modificación en la raíz de trigo por la inoculación de Azospirillum en trigo.
Fuente: Dobbelaere, S (1999)

2.2. Micorrizas

2.2.1. ¿Qué son las micorrizas?

Las raíces de los vegetales pueden ser colonizadas por un gran número de especies de hongos, tanto en superficie como en su interior. A esta asociación de un hongo filamentoso con la raíz de una planta se denomina "micorriza". El término micorriza se aplica a cerca de 6.000 hongos diferentes, que establecen relaciones con las raíces de las plantas. El número y la variedad de plantas que pueden asociar sus raíces a un hongo es muy grande. La relación establecida entre hongo y raíz es también muy variable. Son posibles todos los grados de interdependencia y de especificidad (algunas especies de hongo sólo pueden asociarse con una sola especie de vegetal).

Las raíces sólo pueden formar micorrizas a partir del momento en que el vegetal es capaz de realizar la fotosíntesis, después del desarrollo y apertura de las primeras hojas. Por su parte, los hongos formadores de micorrizas, con



frecuencia se desarrollan únicamente en las cercanías de las raíces de las plantas y no colonizan el suelo. Se ha observado también que otros microorganismos de la rizosfera pueden actuar, estimulando la formación de micorrizas.

Las micorrizas se clasifican en dos grandes grupos, según las hifas de los hongos permanezcan en el exterior de la raíz (ectomicorrizas) o penetren en el interior (endomicorrizas).

- **ECTOMICORRIZAS**

Son de pequeña talla, generalmente carnosas y en que las radículas de la planta huésped pueden llegar a desaparecer en favor de estructuras engrosadas de formas características y de coloración variable (gris, blanco, rojo, azulado, amarillo, ocre, negro, etc). El micelio del hongo sólo penetra parcialmente los espacios intercelulares de los tejidos corticales sin penetrar dentro de las células.

La asociación puede afectar a la totalidad de las raíces o sólo a una parte, y en una misma planta puede coexistir más de un tipo de hongo, que se pueden distinguir por su distinta coloración. En las ectomicorrizas cada parte conserva su individualidad, aunque hay cambios morfológicos externos y/o internos.

Este tipo de micorrizas lo forman muchos de los árboles presentes en bosques y selvas y dan lugar a las populares setas.



Figura 5: Ectomicorrizas. Fuente: biology-forums.com

- **ENDOMICORRIZAS**

El aspecto exterior es poco indicativo de su existencia. Aunque hay escasez de pelos absorbentes, las raíces jóvenes presentan opacidades y son más carnosas. Aquí el micelio penetra y se instala en el interior de las células del parénquima de la raíz y en su interior. Las endomicorrizas aparecen en diversidad de plantas, herbáceas, leñosas, etc. Las más especializadas son simbioses de Ericáceas, Orquidiáceas y Gencianáceas, aunque se presentan en algunos miembros de casi todas las familias de Angiospermas y en algunos Pteridófitos y Briófitos.

Entre los hongos implicados en la formación de las endomicorrizas está la familia de las Endogonacias, que son hongos que sólo pueden vivir en simbiosis con raíces de plantas superiores. Penetran en las células del parénquima radicular y forman unas formas arbustivas (arbusculo) que sirven para intercambiar sustancias, y vesículas, ricas en lípidos de reserva, constituyendo las micorrizas endotróficas vesículo-arbusculares (conocidas como VAM), que se encuentran en un 90 % de las plantas superiores y en muchos vegetales inferiores. Estas micorrizas tienen un

gran papel en la agricultura por su capacidad de captar y acumular nutrientes y transferirlos a las plantas micorrizadas. El hongo, a su vez, obtiene glúcidos y factores de crecimiento sintetizados por las plantas. Estas micorrizas crecen en relación estrecha con gran variedad de cereales, hortalizas, forrajes, etc., a los que permiten un incremento de rendimiento en su cultivo por su capacidad aumentada de absorción de nutrientes.



Figura 6: Endomicorriza en una raíz de cebolla. Fuente: Universidad Nacional a Distancia. Colombia.

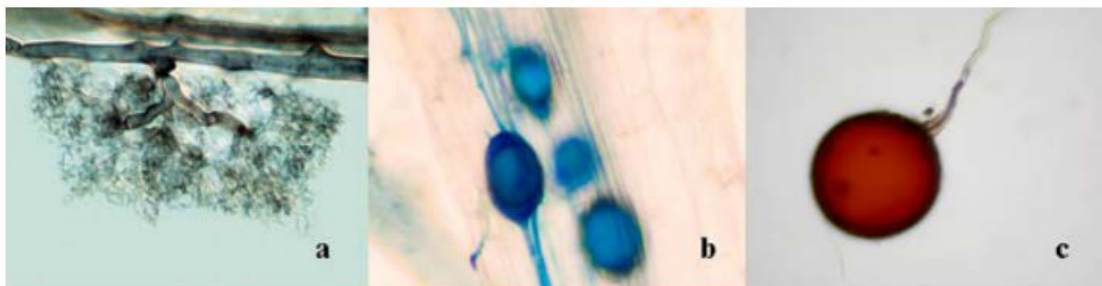


Figura 7: Hongos formadores de micorrizas arbusculares. a) Arbúsculo (Peterson, R.L et al. 2006) b) Vesículas. c) Espora
Fuente: Martínez LB, Pugnaire FI (2009).



Casi todas las plantas presentan micorrizas. En cebollas y puerros se visualizan fácilmente con una lupa de pequeño aumento; los puerros tiernos, por ejemplo, tienen raíces blancas que amarillean debido a las micorrizas. Sin embargo, hay algunas plantas que no micorrizan, como es el caso del altramuz.

Este tipo de micorrizas es muy antiguo. Se han encontrado restos fósiles ya en el Devónico, mientras que la simbiosis con fijadores de nitrógeno es mucho más reciente, del Jurásico.

Las micorrizas son muy importantes, sobre todo para los árboles, para los que no sólo intervienen como aporte de fósforo sino también de otros elementos, incluso de agua. Los árboles dependen mucho más de las micorrizas que las otras plantas. Las presentan un gran número de árboles forestales, sobre todo especies que viven en grandes altitudes y aquellas que viven en suelos ácidos (pH cercano a 4), suelo silicoso y no calcáreo, bien aireado, rico en humus, pero relativamente pobre en nitrógeno y fósforo, por lo que todo ataque a la microflora forestal puede tener repercusiones dramáticas sobre los árboles.

La reforestación de muchos suelos (sobre todo de praderas y otros en que no hubiera árboles desde hacía años) no es posible si los árboles no están inoculados con su correspondiente micorriza. Hoy es común, en las reforestaciones, el uso de plantones inoculados con hongos seleccionados.

En suelos áridos, donde se intenta la fijación de arenales, las micorrizas son esenciales, dadas las condiciones adversas del medio, bajo nivel de nutrientes, grandes fluctuaciones de temperatura y humedad, erosión, etc.

Las micorrizas pueden ser alteradas por factores externos, como el agua (por inundación prolongada), fuego o sustancias antiparasitarias, habiéndose probado la acción tóxica sobre las mismas de herbicidas, insecticidas y fungicidas.

El efecto favorable de las micorrizas se da, especialmente, cuando las condiciones ecológicas son limitantes respecto a los elementos nutritivos, aumentando su solubilidad o desbloqueándolos. En condiciones difíciles (humus ácido, p. ej.) la nutrición nitrogenada del vegetal, tanto en su forma mineral como



orgánica, se asegura gracias a las micorrizas, pues las raíces de los árboles sin hongos son incapaces de extraer el suficiente nitrógeno. Por el contrario, en suelos ricos, con abundante nitrógeno nítrico y con microorganismos muy activos, no se forman micorrizas, pues la asociación no es necesaria.

El interés natural y económico de las micorrizas es enorme, algunas especies de plantas no pueden germinar o emitir nuevos brotes en ausencia de su hongo simbionte, el crecimiento está claramente estimulado y presentan mayor resistencia al parasitismo. El caso más remarcable es el de las orquídeas con tubérculos (Orchis, Ophrys), que son totalmente dependientes de la formación de la endomicorriza con el hongo Rhizoctonia.

En las comunidades vegetales naturales es común que los hongos conecten a nivel de sus raíces diferentes vegetales, de la misma o distinta especie, creando un puente para la transferencia de sustancias nutritivas de una planta a otra.

Muchos hongos comestibles forman micorrizas con especies forestales. Estas ectomicorrizas tienen como huéspedes, exclusivamente, a especies leñosas forestales (Pináceas -pinos, abetos, cedros, alerces, abetos rojos-, Fagáceas -castaños, hayas, encinas-, Betuláceas -nogales, abedules-, etc). Los hongos implicados son muchos, principalmente basidiomicetos (amanitas, rúsulas, boletos, lactarias) y ascomicetos (trufas).

Hoy, el aporte masivo de superfosfatos acaba con las micorrizas. Muchas plantas seleccionadas son incapaces de establecer esta simbiosis, pues el criterio de selección es eliminar las formas micorrizables por tener un rendimiento menor ante el superfosfato (la planta intercambia glúcidos por fósforo al hongo simbionte, por lo que rinde menos). En Europa tenemos menos del 20 % de trigos micorrizables, mientras que en Turquía aún lo son en un 80 %.

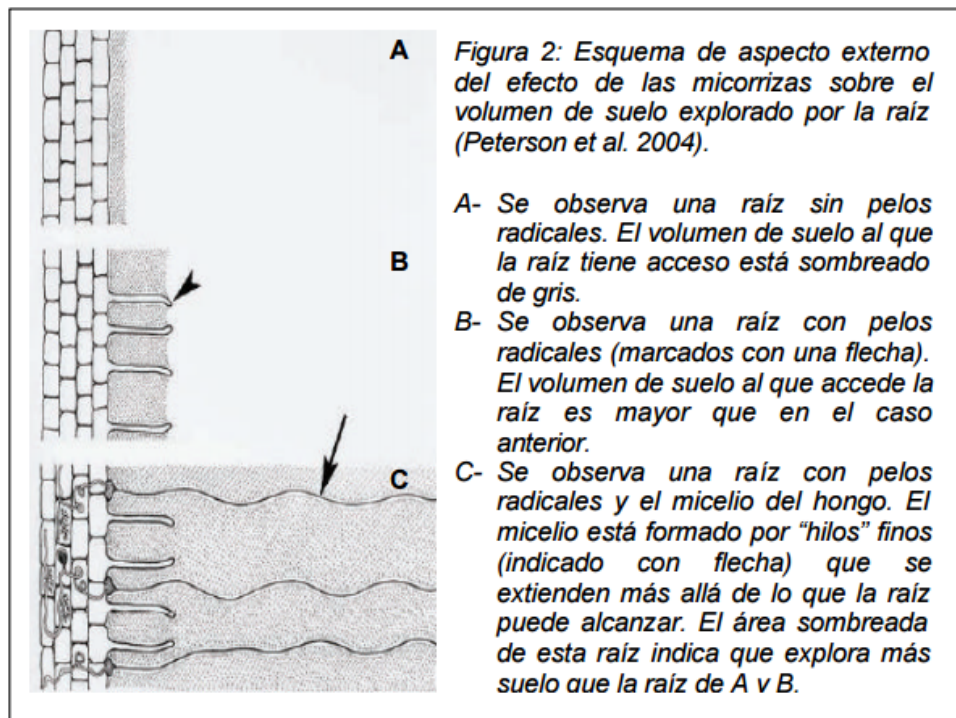


Figura 8. Esquema de aspecto externo del efecto de las micorrizas sobre el volumen de suelo explorado por la raíz (Peterson et al. 2004). Fuente: Faggioli V (2008)

2.2.2. El papel de las micorrizas en los sistemas agrarios

Las micorrizas arbusculares (MA) tienen un papel clave en los sistemas agrarios garantizando la productividad y la calidad en producciones más sostenibles. Las funciones más importantes son:

- Aumento de la estabilidad del suelo

En 1g de suelo podemos encontrar hasta 30m de micelio de micorrizas. Esta red de micelio juega un gran papel en estabilizar la estructura del suelo y puede llegar a suponer hasta el 50% del micelio total. Además las micorrizas segregan unas sustancias proteínicas pegajosas llamadas glomalinas que también contribuyen a estabilizar el suelo y evitar la erosión.

- Aumento der la retención de agua en el suelo



La glomalina segregada por las micorrizas es hidrófila y contribuye a aumentar la capacidad de retención del agua en el suelo.

- Incremento de la absorción de fósforo

El fósforo es un elemento poco móvil dentro del suelo. Las micorrizas aumentan considerablemente el volumen de suelo explorado por las raíces. Se ha estimado que la inoculación con micorrizas puede reducir un 80% las aplicaciones de fertilizantes fosfóricos.

- Protección de las plantas contra enfermedades producidas por hongos y microorganismos del suelo

Existen numerosos estudios que demuestran cómo la presencia de micorrizas aumenta la tolerancia de la planta a la presencia de ciertos microorganismos patógenos. Se ha demostrado para *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Verticillium*, *Thielavopsis*, *Aphanomyces*, *Phytophthora* y *Pythium* y también para nematodos del género *Heterodera*, *Meloidogyne*, *Pratylenchus* y *Radopholus*.

- Aumento del contenido nutricional de las plantas

Muchos suelos son deficientes en nutrientes lo que se traduce en plantas con contenidos bajos en elementos esenciales para la salud humana. Por ejemplo un 30% de los suelos mundiales son deficientes en zinc. Las micorrizas pueden aumentar la absorción de Zn en un 50%.

Las micorrizas también aumentan la producción de metabolitos secundarios de la planta que, además de aumentar su resistencia al estrés, son de interés en las propiedades medicinales y protectoras de la salud de determinadas plantas como carotenos, antioxidantes o aceites esenciales.

- Control de malas hierbas

Existen fuertes evidencias de que las micorrizas juegan un papel en las comunidades de plantas existentes en un ecosistema. De esta forma podrían determinar el tipo y la proporción de malas hierbas que crecen en los cultivos.



Función de las micorrizas arbusculares (MA)	Servicio ecosistémico que realizan
Modificación de la morfología de las raíces y creación de una red de micelio en el suelo.	Aumenta la adherencia planta/suelo y la estabilidad del suelo (mejora de la estructura del suelo).
Aumento del agua y los minerales disponibles para la planta.	Aumento del crecimiento de las plantas y disminución del uso de fertilizantes.
Amortiguación del efecto del estrés abiótico	Aumenta la resistencia de las plantas a la sequía, salinidad, contaminación por metales pesados y niveles bajos de nutrientes minerales.
Secreción de glomalina en el suelo.	Aumento de la estabilidad del suelo y la retención de agua.
Protección contra patógenos de las raíces.	Aumenta la resistencia de las plantas al estrés biótico y reduce el uso de pesticidas.
Modificación del metabolismo y fisiología de las plantas	Bioregulación del desarrollo de la planta y aumento de la calidad de la planta para la salud humana.

Tabla 2: Principales servicios ecosistémicos que ofrecen las micorrizas arbusculares.
Fuente: Gianinazzi S *et al* (2010)

2.2.3. Manejo de las micorrizas en los sistemas agrarios

La selección de plantas que se desarrollan gracias a la gran cantidad de nutrientes disponibles en forma de abonos químicos ha dado lugar a genotipos de plantas que son menos receptivos a la simbiosis con micorrizas. Algunas variedades incluso han perdido totalmente su capacidad para micorrizar. Esto ha afectado a la producción agraria en zonas donde las plantas han de crecer en suelos pobres ya que ha limitado su capacidad de formar micorrizas. A pesar de ello, las micorrizas todavía son las responsables de la absorción de una buena parte del fósforo por parte de los cultivos.

El monocultivo también ha tenido un efecto negativo en las micorrizas ya que diversidad de cultivos se traduce en diversidad de hongos micorrícicos. A todo ello se ha de sumar el efecto negativo que sobre los hongos del suelo tiene



la aplicación de abonos químicos y herbicidas que suele ir asociada al monocultivo. Tampoco se ha de olvidar que la disminución de biomasa de hongos en el suelo tiene efectos negativos sobre su estructura y aumenta el riesgo de erosión.

Para proteger la presencia de micorrizas en los cultivos es necesario:

REDUCIR

- Fertilizantes químicos: dificulta la simbiosis entre las raíces y las micorrizas
- Laboreo: rompe las redes de micelio
- Barbecho desnudo: reduce la diversidad de hongos micorrízicos
- Rotaciones con plantas que no forman micorrizas: disminuye la presencia de micorrizas en el suelo
- Pesticidas y herbicidas: son tóxicos para las micorrizas

PROMOVER

- Estrategias de gestión que simulen el funcionamiento de ecosistemas naturales
- Uso de fertilizantes orgánicos
- Rotaciones con abonos verdes o pastos
- Rotaciones largas que incluyan cultivos que formen micorrizas para aumentar su diversidad.
- Inoculación con diversos inóculos de micorrizas para contrarestar las prácticas que afectan a las poblaciones.

Alta dependencia	Baja dependencia	No micorrizan
Judías, guisantes y leguminosas en general. Lino Girasol Maíz y cereales de verano Patatas y otras raíces	Trigo y otros cereales	Colza, mostaza y <i>Brassica spp</i> Lupino



Tabla 3: Nivel de dependencia de diferentes tipos de cultivos con las micorrizas (VAM). Fuente: Conservación de recursos naturales para la agricultura sostenible. FAO

2.1.4. Las micorrizas en cultivos extensivos de secano

Las micorrizas aumentan la capacidad de resistencia de las plantas a situaciones de estrés debidas a diferentes causas como falta de agua, falta de nutrientes, presencia de sal en el suelo, etc. Estas situaciones de estrés son especialmente comunes en suelos de zonas áridas y semi-áridas donde solemos encontrar cultivos extensivos de secano.

En España se han llevado a cabo diferentes estudios que demuestran estos beneficios. Por ejemplo, una cepa resistente a la sequía de la micorriza *Glomus intraradices* asociada a una bacteria nativa redujo un 42% las necesidades de agua en un cultivo de *Retama sphaerocarpa* (Marulanda et al. 2006).

En los ecosistemas semiáridos se da un fenómeno que ayuda a mantener la humedad del suelo: la formación de islas de recursos. Las islas de recursos son zonas donde una mayor acumulación de recursos permite que la vegetación pueda desarrollarse. En estas zonas la red de micelio de MA es muy abundante y son el principal recurso de inoculación micorrícica de las nuevas plántulas. Por tanto, las islas de vegetación natural existentes en las zonas semiáridas son una fuente de inóculo micorrícico autóctono para los cultivos y es necesario protegerlas y promover su presencia en el diseño del paisaje agrario en este tipo de agrosistemas.

Muy recientemente se ha observado que cambios en la disponibilidad hídrica, puede provocar grandes variaciones en el estado micorrícico de las plantas. Las raíces de ciertas especies (de los géneros *Quercus*, *Eucalyptus*, *Populus*, etc) pueden pasar de estar predominantemente colonizadas por ectomicorrizas durante periodos húmedos a estar predominantemente colonizadas por MA durante periodos de sequía severa.

Tabla 1. Efecto de *G. mosseae* sobre tедера (*B. bituminosa* L. var. *albomarginata*, ecotipo Famara) 6 meses después de la inoculación.

Tratamiento	Diámetro (cm)	Longitud (cm)	Peso seco (g)		Colonización (%)	DMR (%)	Contenido mineral (mg/planta)		
			Aéreo	Radical			N	P	K
Control	0,45 b*	29,3 b	5,6 b	1,5 b	-----	-----	0,19b	0,01a	0,25b
<i>G. mosseae</i>	0,56 a	40,8 a	13,3 a	7,5 a	43,4	66	0,30a	0,02a	0,31a

*Valor medio de 15 repeticiones. Dentro de cada columna, los valores seguidos por la misma letra son estadísticamente iguales según el test de Tukey ($P \leq 0.05$).



Figura 9: Efecto de la inoculación con micorrizas de tедера, planta forrajera autóctona de las islas Canarias. Fuente: Jaizme-Vega, MR (2010)

2.3. Bacterias fijadoras de nitrógeno

Podemos encontrarlas en la naturaleza bajo dos formas:

- En estado libre en el suelo
- En simbiosis

En estado libre pueden fijar nitrógeno en aerobiosis (nitrobacterias) o en anaerobiosis (*Clostridium*, *Klebsiella*). Pero las cantidades de nitrógeno fijadas por estos organismos son, en general, poco importantes. Son insuficientes para permitir el desarrollo de una agricultura. Se estima que estas fijaciones son del orden de 10 a 20 Kg N/ha/año. La excepción son los *Azotobacter* si son potenciados con métodos de cultivo adecuados. Ambos generan amoníaco como primer producto final estable.

La importancia agrícola relativa de las bacterias fijadoras libres no es mucha, las producciones son débiles, debido a que para realizar esta reacción precisan mucha energía y utilizan la energía proveniente de materia orgánica. Se calcula que se precisan 50 átomos de "carbono orgánico" para fijar un átomo de



nitrógeno. Esta fijación demanda un contenido en materia orgánica muy elevado, que sólo existe en los bosques y no en zonas agrícolas.

Hay otra fijación mucho más eficaz que la libre, es la fijación simbiótica. La más común es la simbiosis con plantas leguminosas. Esta fijación se hace mediante bacterias del tipo *Rhizobium* que viven en los nódulos radiculares de las leguminosas. Cuando los pelos absorbentes de una raíz entran en contacto con una de estas bacterias, los pelos se ensortijan y las paredes de la célula se disuelven bajo la influencia de las enzimas formando un nódulo. Una vez dentro del nódulo la bacteria obtiene los nutrientes necesarios (compuestos del carbono) y el oxígeno de la planta; a su vez la planta recibe compuestos nitrogenados producidos por la bacteria a partir del nitrógeno gaseoso de la atmósfera del suelo. Este proceso es llamado fijación simbiótica del nitrógeno. Cuando las raíces de la planta se descomponen los compuestos nitrogenados quedan disponibles para otros microorganismos y plantas

Ejemplos de producción de algunas asociaciones:

- Con judías: 80 Kg N/Ha/año
- Con alfalfa de 4 años: 400 Kg N/Ha/año

Con esta última forma se obtiene nitrógeno en cantidad y calidad adecuadas.

2.3.1 *Rhizobium*

El *Rhizobium* es una de las bacterias del suelo más conocidas por la simbiosis que establecen con las leguminosas. El proceso de establecimiento del nódulo no es sencillo y es necesario que se den unas condiciones muy específicas

- Presencia de elementos minerales en el suelo.
Ciertas deficiencias o excesos de algunos minerales afectan directa o indirectamente a la nodulación. La presencia de molibdeno en cantidad suficiente es necesaria ya que es un constituyente de la nitrogenasa. Otros elementos como el calcio, fósforo, azufre, cobre o zinc tienen efectos en el pH del suelo y afectan directamente en la fijación. Todas las estirpes



bacterianas necesitan valores de pH del suelo superiores a 5, a excepción del *Rh lupini* (pH 3,2) y *Rh. japonicum* (pH 4,2).

Un exceso de nitrógeno en el suelo impide la simbiosis ya que deja de ser interesante para la planta.

- Temperatura.

La temperatura ideal para que se establezca la simbiosis está entre 15-20°C. Por debajo de 7°C la nodulación es difícil. La temperatura afecta al metabolismo de la planta (respiración, fotosíntesis, transpiración) y con ello a la disponibilidad de carbono para llevar a cabo la simbiosis. La actividad de los nódulos es máxima con temperaturas del suelo cercanas a los 30°C.

- Luz.

Afecta a la simbiosis a través de la fotosíntesis controlando la cantidad de carbono que va a estar disponible para el desarrollo y funcionamiento de los nódulos.

- Agua.

La baja disponibilidad de agua por parte de la planta disminuye la fijación de nitrógeno. Por ello también es clave la simbiosis que las leguminosas establecen con las micorrizas para aumentar su disponibilidad de agua entre otras ventajas.

- Otros factores.

La presencia en el suelo de ciertos contaminantes como herbicidas o algunos patógenos dificultan el establecimiento de los nódulos.

La asociación *Rizhobium*-leguminosa es bastante específica, cada especie bacteriana se asocia en general con una sola especie de leguminosa:

Estirpe bacteriana	Grupo de leguminosas
1 <i>Rhizobium meliloti</i>	Alfalfa, meliloto
2 <i>Rh. trifolii</i>	Trébol
3 <i>Rh. leguminosarum</i>	Guisantes, almortas, lentejas, habas
4 <i>Rh. phaseoli</i>	Judías
5 <i>Rh. lupini</i>	Lupino, ornithopus
6 <i>Rh. japonicum</i>	Soja

Tabla 4: Estirpe bacteriana y plantas con las que establece simbiosis.

Las leguminosas no nodulan cuando el suelo contiene nitrógeno soluble, por lo que el abonado de síntesis impide la simbiosis entre la bacteria y la leguminosa.



Figura 10: Nódulos de *Rizhobium* en la raíz de una habera. Fuente: Fotografía Montse Escutia.



2.3.2 Azotobacter

El *Azotobacter* es una bacteria que vive libre en la rizosfera y tiene la capacidad de fijar nitrógeno de la atmósfera del suelo. Una de las personas que más estudió su utilidad para la agricultura fue el ingeniero agrónomo argentino Jorge Samuel Molina. En la segunda mitad del siglo pasado estudió la importancia de los microorganismos del suelo y las ventajas de dejar el rastrojo de paja en lugar de quemarlo en las grandes extensiones de la Pampa argentina¹. Posteriormente se han llevado a cabo experimentos en Rusia como biofertilizante para trigo, avena, cebada y maíz y también con semillas inoculadas en la India. Los resultados de estos experimentos indican que sólo se obtienen beneficios en suelos con altos contenidos de materia orgánica.

El principal problema en la fijación del nitrógeno por el *Azotobacter* es cómo obtener las grandes cantidades de energía libre necesaria para poder fijar cantidades importantes de nitrógeno. Según Pimentel para la fijación industrial de un kilo de nitrógeno se requieren 17.600 Kcal. Según Revelle la misma cantidad de energía es requerida para la fijación simbiótica del nitrógeno por las leguminosas. Pimentel afirma que cada kilo de celulosa tiene una energía acumulada de 4.200 Kcal; una hectárea de maíz deja un rastrojo de 6.700 kilos de materia orgánica seca, cuyo componente principal es la celulosa. Así, en una hectárea de rastrojo de maíz se encuentran 28.140.000 Kcal. Los subproductos de la descomposición anaerobia de la celulosa son las fuentes de energía que permiten la fijación del nitrógeno.

Retomando los datos anteriores, considerando que un rastrojo de maíz proporciona 28.140.000 Kcal/ha, que produce un 65% de energía libre, se obtienen 18.291.000 Kcal que se podrían utilizar para la fijación de nitrógeno, que necesita 17.600 Kcal/Kg de N, lo que daría una posibilidad de fijación de 1039 Kg de N/ha/año.

Las bacterias anaerobias de la descomposición de la celulosa producen subproductos, que van a ser aprovechados como fuente de energía por el *Azotobacter* sp. para la fijación de nitrógeno atmosférico. Este nitrógeno va a ser

¹ Escribió libros de divulgación agraria muy interesantes como “Hacia una nueva agricultura”, “Una nueva conquista del desierto” o “Tranqueras abiertas”.



utilizado a su vez para el desarrollo de bacterias como *Cytophaga* (aerobia) y por las bacterias anaerobias de la descomposición de la celulosa. Por lo que además de la fijación del nitrógeno atmosférico, el *Azotobacter* va a permitir mejorar la estructura del suelo y su aireación, por la acción favorable que ejerce sobre los microorganismos del suelo. Esta mejora de la estructura va a favorecer el desarrollo de los cultivos. Todo ello gracias a la incorporación de rastrojos.

La técnica para activar al *Azotobacter* se puede resumir en las siguientes acciones:

- Distribuir o dejar materiales fibrosos sobre la superficie del suelo, como paja, de forma que un 50% se entierre en los primeros 5-10 cm del suelo, y el otro 50% se deja en superficie.
- Evitar la compactación del suelo y en el caso de que el suelo tenga suela de labor romperla.
- Hacer rotaciones de cultivo.

2.4 Interacción entre los diferentes microorganismos del suelo: la micorizosfera

Es evidente que los diferentes tipos de microorganismos que viven en el suelo no están aislados. Interactúan entre ellos en lo que se conoce como la micorizosfera, espacio que, además de las raíces de las plantas, tiene en cuenta el papel de las hifas de los hongos micorrízicos y su interacción con las distintas colonias de bacterias. Los investigadores han podido ver los efectos de estas interacciones pero todavía se desconoce mucho de los mecanismos que actúan ya que muchos de ellos se producen a nivel celular.

2.4.1. Efectos de las micorrizas en las comunidades de bacterias de la rizosfera:

- Los hongos producen sustancias ricas en carbono que las bacterias pueden aprovechar.
- Modifican el pH
- Existe una competencia por los nutrientes entre ambas poblaciones



- Los hongos pueden segregar sustancias que estimulen o inhiban el crecimiento de las colonias de bacterias
- La mejora en la estructura del suelo promovida por las hifas de los hongos proporciona hábitats adecuados para el desarrollo

Muchos de estos efectos han podido ser observados aunque todavía no se conocen bien los mecanismos por los cuales la presencia de micorrizas modifica el desarrollo de las colonias de bacterias.

Como ya hemos visto, las micorrizas también interaccionan con colonias de hongos patógenos dificultando su desarrollo. En el caso de las bacterias fijadoras de nitrógeno parece que las micorrizas favorecen la nodulación. La mayor disposición por parte de la planta de fósforo proporcionado por el hongo, facilita la actividad de las bacterias fijando nitrógeno. Existe pues una simbiosis entre la planta, las micorrizas y las bacterias fijadoras de nitrógeno.

2.4.2. Efectos de las bacterias de la rizosfera en las micorrizas:

- Efectos en la receptividad de la raíz
- Efectos en el reconocimiento entre el hongo y la raíz
- Efectos en el crecimiento del hongo
- Modificaciones en la química de suelos de la rizosfera
- Efectos en la germinación de los propágulos del hongo

En el caso de las bacterias fijadoras de nitrógeno estimulan el desarrollo de las micorrizas con aportes suplementarios de nitrógeno.

Muchos de los efectos de las bacterias sobre las micorrizas han sido estudiados en laboratorio. Existen grandes dificultades en saber qué pasa realmente en condiciones de campo debido a la enorme diversidad de bacterias y por tanto, la posibilidad de identificar la bacteria responsable de los efectos observados.



2.4.3. Aportaciones de la interacción entre micorrizas y bacterias a la agricultura ecológica

En los apartados anteriores hemos analizado las ventajas que suponen para la agricultura los principales grupos de microorganismos que viven en el suelo. Las interacciones entre unos y otros aportan una sinergia que ayuda a aumentar todavía más el efecto beneficioso sobre los cultivos.

Micorrizas y bacterias están directamente implicados en la alimentación de la planta. En los sistemas donde el aporte de nutrientes es limitado su papel puede ser primordial. Existe una simbiosis a tres bandas entre micorrizas, bacteria fijadores de nitrógeno y plantas. Los nódulos proporcionan nitrógeno no sólo a la planta, sino también al hongo que a su vez aporta fósforo a la simbiosis.

Otro efecto a tener en cuenta es su papel conjunto en la degradación de la materia orgánica y en la movilización de los nutrientes en forma biodisponible para las plantas.

3. INTERACCIÓN DE LAS PRÁCTICAS AGRÍCOLAS CON LOS MICROORGANISMOS DEL SUELO

Los diferentes sistemas de cultivo tienen diferentes niveles de perturbación en las colonias de microorganismos que habitan en el suelo. Ya hemos visto de qué forma algunas prácticas afectan a algunos grupos de microorganismos. Pero en realizan cualquier acción que tenga un efecto sobre el suelo o sobre la planta también lo va a tener sobre el conjunto de los seres vivos que habitan en la micorizosfera y en el suelo en su conjunto.

Entre los factores de perturbación que han sido estudiados destacamos:

- Cultivo del suelo: El trabajo del suelo rompe las redes de micelios producidos por las micorrizas. Cuanto más intenso sea el trabajo mayor es la perturbación.



- Compactación del suelo: Una mala estructura disminuye la biomasa microbiana del suelo y su actividad.
- Rotaciones de cultivo: Uno de los objetivos de las rotaciones es modificar el hábitat de los patógenos que viven en el suelo. Pero a su vez se está también afectando a microorganismos asociados a determinados tipos de cultivos. Las plantas que no micorrizan pueden excretar sustancias que inhiben la micorrización en cultivos posteriores a la vez que se modifican las colonias de bacterias que establecen relaciones sinérgicas con las micorrizas.
- Fertilización química y pesticidas. La aplicación de productos químicos afecta a las poblaciones de microorganismos del suelo. Su efecto varía en función de las cantidades, frecuencias, tipos de microorganismos, etc.
- Plantas transgénicas: Se ha estudiado el efecto del maíz modificado genéticamente para incorporar la toxina insecticida Bt. Parece ser que la presencia de la toxina en las células de las raíces como en los restos de cosecha afecta al desarrollo de micorrizas y otros microorganismos de la rizosfera.

Los sistemas de cultivo que menos modifican el funcionamiento natural del suelo son aquellos que contienen una mayor masa de microorganismos. También en ellos se detectan mayor cantidad de microorganismos patógenos, hecho que frecuentemente se utiliza para promover prácticas perturbadoras como el laboreo, la quema de rastrojos o la aplicación de pesticidas. Sin embargo, en los agrosistemas donde se alcanza un equilibrio las colonias de microorganismos son capaces de controlar los efectos de los microorganismos patógenos sobre las plantas y los beneficios obtenidos son mayores lo que se traduce en mayor disponibilidad de nutrientes, plantas más sanas y mejores cosechas.

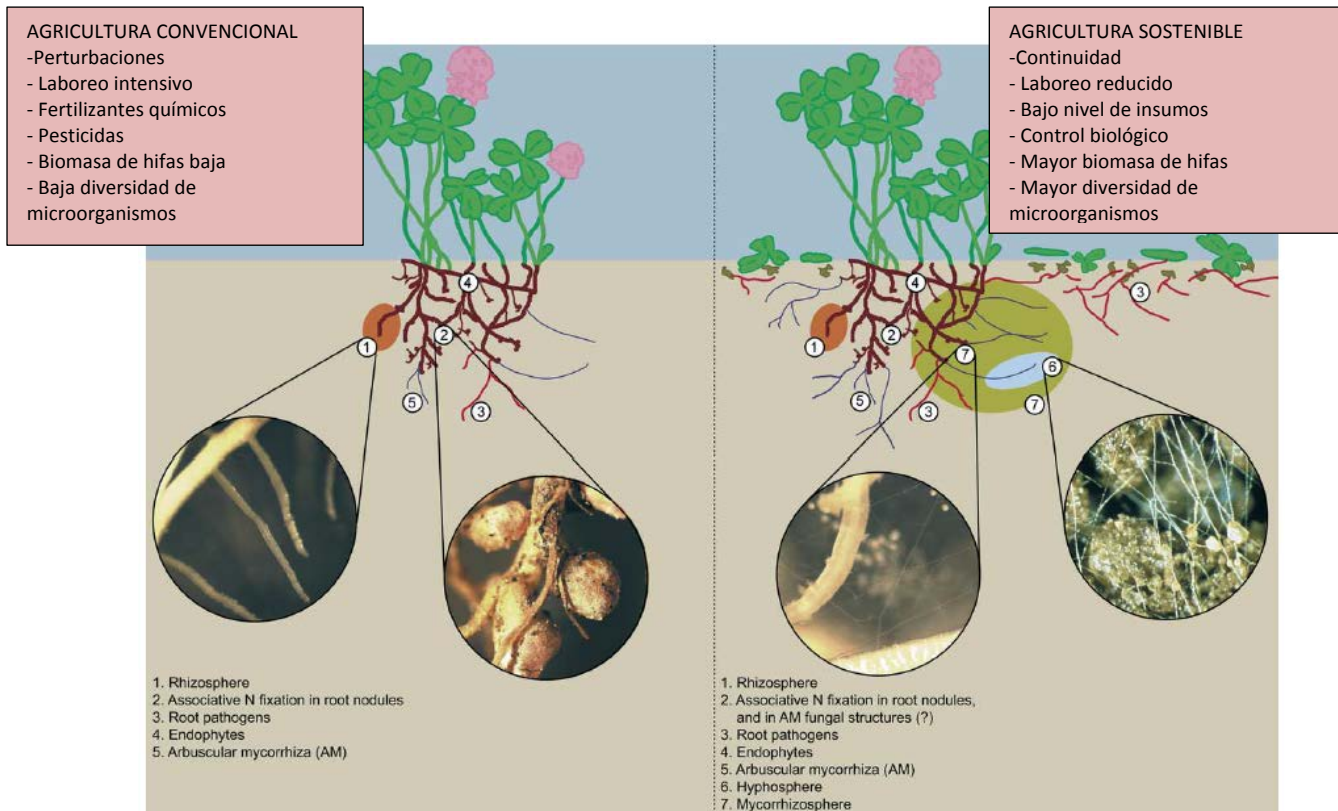


Figura11: Esquema de la rizomiosfera en función del tipo de agricultura. Fuente: J.F. Johansson et al. (2014)

4. BIOFERTILIZANTES

Los biofertilizantes son insumos formulados con uno o varios microorganismos, los cuales, de una forma u otra, proveen o mejoran la disponibilidad de nutrientes cuando se aplican a los cultivos.

Generalmente el éxito en la aplicación de biofertilizantes dependerá del conocimiento de sus requerimientos nutricionales y ambientales, así como de su interacción con otros microorganismos, incluyendo su habilidad para coexistir en



cultivos mezclados con otros microorganismos, tanto antes como después de su aplicación al suelo.

4.1. Tipos de biofertilizantes que encontramos en el mercado

- Fijadores de nitrógeno

Actualmente se comercializan *Rizhobium* y microorganismos libres que fijan nitrógeno como azotobacter, etc.



Figura 12: En la India es posible comprar Azotobacter como biofertilizante. Fuente: www.indiamart.com



Figura 13: Rizhobium comercializado en México. Fuente: www.biofabrica.com.mx



- **Solubilizadores del fósforo**

La presencia en el suelo de un gran depósito de este elemento que no puede ser utilizado por las plantas pone de manifiesto la importancia del papel de los microorganismos en la conversión del fósforo orgánico como elemento combinado en los restos vegetales y en la materia orgánica del suelo, a formas inorgánicas aprovechables por las plantas. Este proceso se desarrolla mediante enzimas que separan al fósforo de los sustratos orgánicos y que se denominan fosfatasas. Como regla general una sola fosfatasa puede actuar en muchos sustratos diferentes y con esta actividad los microorganismos pueden aportar a las plantas entre el 30-60% de su necesidades de fósforo.

Los microorganismos que actúan en la solubilización ocupan el 10% de la población del suelo. Algunos géneros son: *Pseudomonas putida*, *Mycobacterium*, *Micrococcus*, *Bacillus subtilis*, *Thiobacillus*, *Penicillium bilaji*, *Aspergillus niger*.

- **Captadores de fósforo (micorrizas)**

Ya hemos hablado ampliamente de ellas y cómo es posible preservar y estimular su presencia en el suelo. También es posible comprar biofertilizantes que aportan micorrizas al suelo o semillas micorrizadas.



Figura 14: Micorrizas del genero *Entrophospora columbiana*, *Glomus clarum*, *Glomus etunicatum*, *Glomus intraradices*, especialmente indicado para olivar, viña, almendros, cereales y hortícolas. Fuente: www.phc.eu

- **Promotores del crecimiento**

Son microorganismos que, durante su actividad metabólica, son capaces de producir y liberar sustancias reguladoras de crecimiento para las plantas.

Microorganismo	Sustancia segregada
<i>Fusarium moniliforme</i>	Giberelinas
<i>Trichoderma</i>	Giberelinas
<i>Anabaena</i>	Ácido indolacético
<i>Diplodia macrospora</i>	Auxinas
<i>Phomopsis</i>	Auxinas

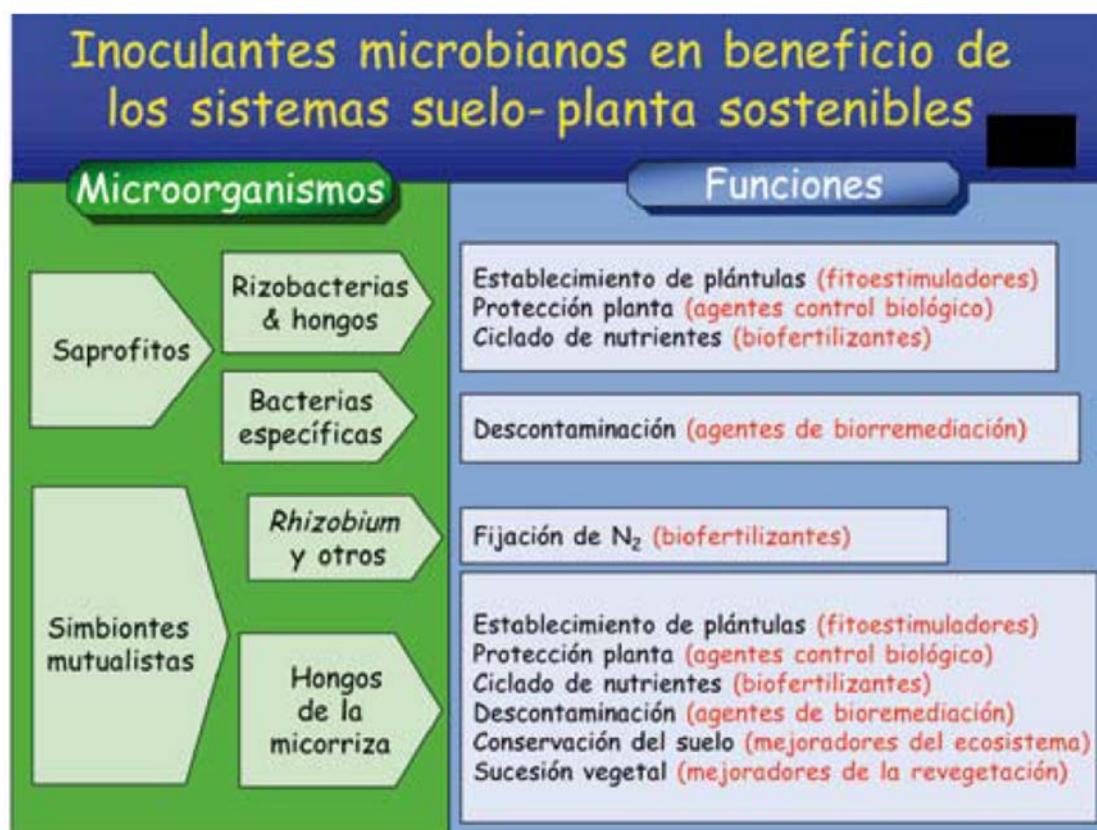


Figura 15: Papel de los diferentes microorganismos del suelo en el sistema suelo-planta y su uso comercial. Fuente: Jaizme-Vega, M.R. (2009)



4.2. Indicaciones y usos

Los biofertilizantes son un tipo de productos cuyo uso no está muy extendido. En su etiqueta se indica el tipo y número de microorganismos que contienen. Los microorganismos se pueden indicar por grandes grupos (bacterias) o por su clasificación taxonómica (Azotobacter). Además junto al nombre aparece la concentración de microorganismos en el producto.

Algunos se aplican al suelo directamente antes o después de la siembra del cultivo, mediante aspersión o en el surco de siembra o sobre toda la superficie. Otros se mezclan con la semilla. También existen productos para ser aplicados al follaje. Las dosis y épocas de aplicación durante el ciclo del cultivo dependerán de la concentración del producto y la recomendación del fabricante

Recomendaciones para el uso de biofertilizantes:

- No deben exponerse a altas temperaturas ni a la luz directa del sol.
- Si se aplican en la semilla se ha de sembrar justo después o como mucho en las próximas 24h.
- Si se aplica en el suelo debe hacerse a primera hora de la mañana o última de la tarde y siempre que la humedad del suelo sea suficiente.
- Si se aplica por aspersión debemos preparar cuidadosamente la mezcla y asegurarnos que el equipo de aspersión está bien limpio.
- Utilizar sólo la cantidad de producto indicada por el fabricante.
- No utilizar el producto después de su fecha de caducidad
- Almacenar a la temperatura adecuada según indicaciones del fabricante.



USO	DESCRIPCION	ORGANISMO
Fijación de N	Simbiótica	<i>Rhizobium, Frankia</i>
	No simbiótica	<i>Azotobacter</i>
Suministro de P	Micorrizas	<i>Glomus</i>
	Solubilizadores	<i>Bacillus</i>
Factores de crecimiento	Productores de hormonas	<i>Azotobacter, Rhizobium</i>
Descomposición	E.M.	<i>Lactobacillus, levaduras</i>
Biodegradadores	Aceites, grasas	<i>Pseudomonas, Flavobacterium</i>

Figura 16: Aplicaciones comerciales de microorganismos inoculados al suelo. Fuente: Acuña, O.



BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, O. *El uso de biofertilizantes en agricultura*. Centro Investigaciones Agronómicas. Universidad Costa Rica.
- Dobbelaere, S., Croonenborghs, A., Thys, A., Broek, A. V., & Vanderleyden, J. (1999). *Phytostimulatory effect of Azospirillum brasilense wild type and mutant strains altered in IAA production on wheat*. Plant and soil, 212(2), 153-162.
- Faggioli V, Freytes G y Galarza C (2008). *Las micorrizas en trigo y su relación con la absorción de fósforo del suelo*. INTA Marcos Juárez.
- Gianinazzi S, Golotte A, Binet M, van Tuinen D, Redecker D, Wipf D (2010). *Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services*. Mycorrhiza 20:519–530
- Jaizme-Vega, M.C., Rodríguez-Romero, A.S.(2008). *Integración de microorganismos benéficos (hongos micorrícicos y bacterias rizosféricas) en agrosistemas de las islas Canarias*. Revista Agroecología Vol 3, 33-39
- Jaizme-Vega, M.R. (2009). *Las micorrizas, una simbiosis de interés en agricultura*. En: Homenaje al profesor Dr. Wilfredo Wildpret de la Torre. Ed Instituto de Estudios Canarios 479-488p
- Jaizme-Vega, MR (2010). *Las micorrizas, microorganismos esenciales en agricultura ecológica*. Revista AE, primavera 2010 26-27
- Johansson JF, Paul LR, Finlay RD (2004). *Microbial interactions in the mycorrhizosphere and their significance for sustainable agriculture*. FEMS Microbiology Ecology 48, 1–13
- Jordan, N.R., Zhang, J. and Huerd, S. (2000) *Arbuscular mycorrhizal fungi: potential roles in weed management*. Weed Research 40, 397–410.
- Martínez LB, Pugnaire FI (2009). *Interacciones entre las comunidades de hongos formadores de micorrizas arbusculares y de plantas. Algunos ejemplos en los ecosistemas semiáridos*. Ecosistemas 18 (2): 44-54. Mayo 2009.



Marulanda Aguirre, A. (2006). *Estudio de los mecanismos implicados en la resistencia de las plantas a estreses osmóticos inducidos por microorganismos autóctonos promotores del crecimiento vegetal (hongos micorrízico arbusculares y rizobacterias)*. Tesis doctoral.

Rinaudo et al. (2010). *Mycorrhizal fungi suppress aggressive agricultural weeds*. *Plant and Soil*. August 2010, Volume 333, Issue 1, 7-20.

Wenke, Liu and Lianfeng, Du (2008). *Interactions between Bt transgenic crops and arbuscular mycorrhizal fungi: a new urgent issue of soil ecology in agroecosystems*. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Plant Soil Science*, 58:2, 187 – 192

WEBGRAFIA

<http://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/viewFile/65/62>

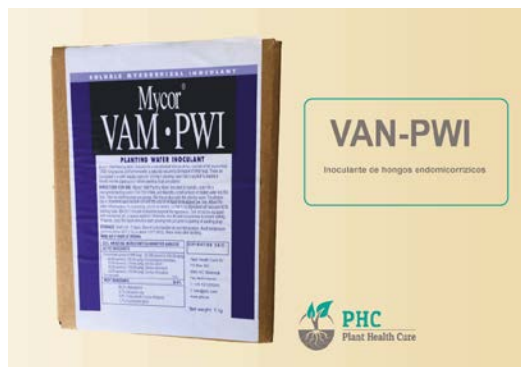
<http://hera.ugr.es/tesisugr/16470886.pdf>

http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-relacin_fsforo_del_suelo.pdf

ANEXO 1: Biofertilizantes utilizados en el proyecto *Life 10 ENV ES 471*

BIOVIN 	La base orgánica de Biovin® está compuesta por los restos del prensado de uva. El proceso de fermentación de estos restos de uva se controla exhaustivamente y como resultado del mismo se producen bacterias. De este modo se origina un producto básico que contiene hormonas de crecimiento muy efectivas (auxinas), nutrientes orgánicos y millones de microorganismos beneficiosos. Incluye, entre otros, importantes bacterias que fijan el nitrógeno (actinomicetos), microbios SAR, que incrementan la resistencia contra posibles enfermedades que puedan atacar a la planta. Otro detalle muy importante es que Biovin® desempeña un papel muy importante en el desarrollo y actividad simbiótica de las micorrizas.
FULVIC 25 	PHC Fulvic 25 es un producto que se obtiene en el proceso de producción de agua potable en Países Bajos. Es líquido y totalmente soluble en agua. En el proceso no se utiliza ninguna sustancia química. Fulvic 25 contiene un 17% de ácidos fúlvicos y un 3% de ácidos húmicos. No contiene ninguna materia animal. Puede mezclarse con otros productos. Se utiliza para mejorar y estabilizar los procesos que se producen en el suelo. Contiene alimento para las bacterias del suelo y de alrededor de las raíces, que mejoran sus funciones.

Mycor VAM-PWI



Inoculante soluble de micorrizas. Mycor VAM- PWI es un producto concentrado con las esporas de cuatro tipos de endomicorrizas y formononetina (myconate). Ésta es una sustancia natural que estimula el crecimiento de los hongos micorrícicos arbusculares, creando una simbiosis rápida. Mycor PWI ha sido especialmente formulado como un producto soluble para ser vertido por las máquinas en el hoyo durante la siembra o plantación.

COMPETE PLUS



PHC Compete Plus® es un producto formulado como polvo soluble, dispersable en agua. Se trata de un inoculante de suelos que contiene un amplio rango de microbios beneficiosos de la rizósfera, incluyendo bacterias (6 especies de Bacillus), hongos (Trichoderma) y actinomicetes (Streptomyces), seleccionados por su impacto favorable en la fertilidad del suelo y en la mejora de su estructura. La formulación de PHC Compete Plus® está hecha con biocatalizadores naturales para asegurar la rápida colonización de la rizosfera, acelerando el crecimiento de las plantas y disminuyendo la incidencia de patógenos de la raíz.