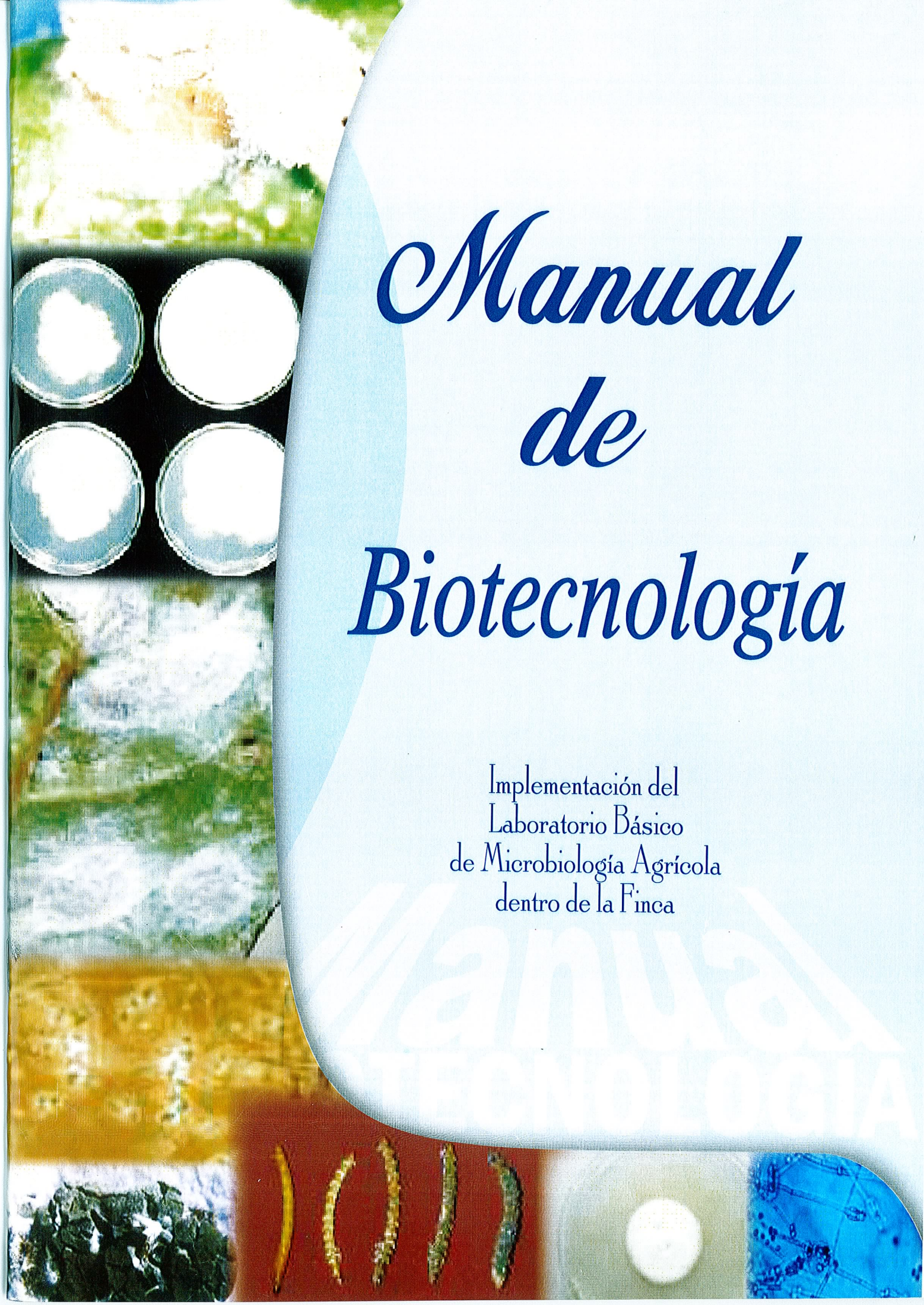


Manual de Biotecnología

Implementación del
Laboratorio Básico
de Microbiología Agrícola
dentro de la Finca

Manual de Biotecnología

TABLA DE CONTENIDO

Páginas

INTRODUCCIÓN

Aspectos físicos del suelo 2
Aspectos químicos del suelo 2

MICROORGANISMOS DEL SUELO 2

Algunos conceptos básicos 2
El suelo como sustrato para la vida microbiana 3
Bacterias 4
Actinomicetos 5
Hongos 5
Clasificación de los hongos 6
Oomycota 6
Chytridiomycota 7
Zigomycota 7
Ascomycota 7
Basidiomycota 7
Deuteromycota 9
Hongos en el suelo 9
Influencias ambientales en el crecimiento de hongos en el suelo 10
Estructuras de resistencia 12
Actividades de los gongos en el suelo 12
Fisiología microbiana 13

MICROORGANISMOS Y CICLOS DE LOS ELEMENTOS 14

Ciclo del Carbono 14
Descomposición de la materia orgánica 15
Ciclo del nitrógeno 16
Fijación biológica de nitrógeno 17
Influencias ambientales sobre la nitrofijación simbiótica 18
AZOTOBACTER 18
Ciclo del azufre 21
Ciclo del fósforo 22
Ciclo del Hierro 23
Transformaciones de otros elementos 24
Movilización del Potasio 24
Oxidación biológica del Manganeso 25
BACTERIAS IMPORTANTES EN LA AGRICULTURA 25
Influencia de las rizobacterias en el crecimiento 26
Pseudomonas fluorescens 27

TABLA DE CONTENIDO

	Páginas
HONGOS ENTOMOPATÓGENOS	28
Metarhizium anisopliae	29
Beauveria bassiana	29
Verticillium lecanii	30
HONGOS ANTAGONISTAS O MICOPATOGENOS	32
Trichoderma spp.	32
Micoparasitismo	35
Antibiosis	36
Competencia	36
Beneficios de la aplicación de Trichoderma spp.al suelo	36
HONGOS NEMATICIDAS	36
Paecilomyces lilacinus	37
Características generales	37
Ventajas del uso de Paecilomyces lilacinus como nematicida	38
MICORRIZAS	38
· Ectomicorrizas	39
· Micorriza arbuscular	39
Clasificación y taxonomía	39
Nueva clasificación	39
Caracteres morfológicos de los hongos de micorriza arbuscular,	39
HMA	39
• Esporas	39
• Micelio	39
BIBLIOGRAFÍA	43

1. Introducción

El Proyecto "Huertos orgánicos para mejorar la salud y nutrición de productoras y productores campesinos del valle de Toacaso", Contrato No. FIL-11-14, es ejecutado por el Comitato Internazionale per lo Sviluppo dei Popoli (CISP) y cuenta con el co-financiazmiento de la Comisión Europea, a través del Ministerio de Salud Pública del Ecuador, y del CISP. Trabaja desde Marzo del 2008 en el valle de Toacaso, en los barrios Toacaso Centro, Yusiche Alto, Pilacumbi y Pintze Alto.

El CISP es una organización no gubernamental italiana sin ánimo de lucro que lleva a cabo proyectos de desarrollo, investigación y difusión. Tiene reconocimiento del Ministerio de Relaciones Exteriores de Italia para llevar a cabo actividades de cooperación en el marco de la Ley 49/87 y colabora con la Comunidad Europea y otras entidades italianas e internacionales. En Ecuador, el CISP opera desde 1990 en diversos proyectos de desarrollo y apoyo a las poblaciones más necesitadas.

El Proyecto "Huertos orgánicos para mejorar la salud y nutrición de productoras y productores campesinos del valle de Toacaso", Contrato No. FIL-11-14, es uno de los proyectos apoyados por el Programa de Apoyo al Sector Salud del Ecuador (PASSE), ejecutado por el Ministerio de Salud Pública del Ecuador, dentro de la línea Fondos de Inversión Local (FIL).

La población de los sectores de intervención del proyecto está compuesta por mujeres y hombres indígenas y campesinos y se ha visto fuertemente influenciada por la migración ocasionada por los problemas económicos del país. El proyecto ha apoyado a las familias implementando huertos orgánicos de hortalizas y plantas medicinales con el fin de promover la generación de ingresos y apoyar al mejoramiento de la nutrición y la salud de las familias; también ha apoyado a la consolidación de algunas tecnologías alternativas que pueden contribuir a mejorar la producción agrícola y ha fomentado la organización del Canal Central de Riego de Toacaso, principal asociación campesina de la zona.

La información que contiene este documento está dirigida a pequeño-as agricultore-as y tiene la finalidad de fortalecer los conocimientos que ya poseen para facilitar el acceso a una práctica agrícola limpia y sin uso de agroquímicos. El presente manual está elaborado para brindar al lector una información básica y sobretodo práctica acerca de la microbiología benéfica del suelo y su aplicación.

El presente manual está elaborado para brindar al lector una información básica y sobretodo práctica acerca de la microbiología benéfica del suelo y su aplicación.

En una introducción a la microbiología del suelo es esencial considerar cuidadosamente la naturaleza del medio ambiente en el cual se encuentran los microorganismos. Las fuerzas que desempeñan alguna función en la dinámica de las poblaciones, así como los efectos de estas poblaciones sobre su medio ambiente, están determinadas en gran medida por las características físicas y químicas del suelo.

El término suelo se refiere al material exterior, poco compacto, de la superficie terrestre, es la región en la que se sustenta la vida vegetal y de la cual las plantas obtienen soporte mecánico y muchos de sus nutrientes, se extiende desde la superficie hasta el límite inferior alcanzado por las raíces.

El suelo se forma por la interacción de procesos como:

- Meteorización física y química de la roca madre.
- Destrucción e incorporación de materia orgánica
- Movimiento de materiales suspendidos o disueltos en el agua de difusión o percolación.

La composición general del suelo es la siguiente:

- Materia orgánica
- Materia mineral
- Agua
- Aire
- Organismos vivos en diversas proporciones

El suelo es un medio poroso, en el cual las partículas sólidas ocupan del 40 al 70% del volumen total del mismo. El espacio poroso entre las partículas sólidas está lleno de agua o aire, proporcionando el espacio vital para los organismos del suelo.

La textura del suelo está determinada por la proporción relativa entre los distintos tamaños de partículas determinando los tipos de suelos: arcillosos, arenosos, francos, limosos.

La estructura del suelo está determinada por el tamaño y la forma de los fragmentos en los que se desintegra un suelo cuando se desmenuza ligeramente.

ASPECTOS FÍSICOS DEL SUELO

- Materiales sólidos ocupan alrededor de la mitad del volumen de suelo, el resto lo constituyen poros llenos de aire y agua.
- Cantidad de espacio poroso: depende de estructura, materia orgánica, textura.
- Suelos arcillosos (pesados): poros pequeños (mayor espacio poroso). Los numerosos microporos contribuyen a una mejor retención de agua.
- Suelos arenosos (ligeros):poros grandes (menor
espacio poroso). El agua se mueve rápidamente a través de poros grandes, se retiene poco.
- Porosidad: afectada por el estado de agregación. Tamaño de poros y espacio poroso afectan el movimiento y retención de agua.
- Los agregados son unidades estructurales grandes, compuestas de partículas de limo y arcilla. Estructuras transitorias, en relación con prácticas de manejo, condiciones metereológicas, actividad microbiana.
- Agua: que se mueve por la fuerza de gravedad se denomina agua libre o gravitacional, los poros más grandes del suelo (llenos de aire) afectan directamente la aireación. Solo parte de esta agua es retenida y utilizada por los sistemas vivientes. La fase líquida es importante para la flora bacteriana subterránea.
- En el suelo se presenta la pérdida de nutrientes por lixiviación: N, K, Mg, S, Ca, P, algo de materia orgánica. Esto es controlado por la
precipitación, presencia y tipo de vegetación, textura del suelo.

ASPECTOS QUÍMICOS DEL SUELO

- Son de gran importancia debido a que los microorganismos obtienen nutrientes de la porción inanimada del suelo.
- Los nutrientes microbianos se obtienen de la fase líquida o sólida del suelo.
- La composición química de los suelos es variable.
- La materia orgánica y el Nitrógeno se encuentran más abundantemente en la superficie; en menor cantidad encontramos Calcio y Magnesio.
- Los suelos presentan extraordinaria capacidad para retener iones: suelos arcillosos extraen de las soluciones cationes como: NH4, K, Ca, Mg.
- El intercambio iónico está relacionado con las transformaciones biológicas: disponibilidad de nutrientes y acidez del suelo.

MICROORGANISMOS DEL SUELO

ALGUNOS CONCEPTOS BÁSICOS

- Heterótrofo: tipo de nutrición en el cual la principal fuente de carbono es orgánica, es decir, que el organismo no puede elaborar sus propios requerimientos orgánicos a partir de las sustancias inorgánicas.
- Autótrofo: tipo de nutrición en la cual la principal fuente de carbono es inorgánica (dióxido de carbono o ácido carbónico). Los organismos autótrofos son importantes ecológicamente como productores primarios, y su actividad suministra los requisitos de carbono de todos los organismos heterótrofos.
- Quimotrofismo: tipo de nutrición en la cual la fuente de energía para la síntesis de sustancias orgánicas es química.
- Quimoheterotrofismo: tipo de nutrición heterótrofa en la cual los requisitos energéticos para la síntesis de moléculas orgánicas de precursores orgánicos, son proporcionados por el rompimiento químico de moléculas orgánicas.
- Fototrofismo: tipo de nutrición en que la fuente de energía para la síntesis de las necesidades orgánicas es la luz.
- Aerobio: organismo que solamente puede crecer y vivir en presencia de oxígeno libre, o
sea que respira aeróbicamente.
- Anaerobio: organismo capaz de vivir y crecer en ausencia de oxígeno libre. Los anaerobios pueden ser facultativos, si normalmente respiran aeróbicamente, pero pueden cambiar la respiración anaerobia al escasear el oxígeno libre; o estrictos si nunca respiran aeróbicamente y pueden envenenarse con el oxígeno libre.
- Biótrofo (obligados): patógeno que obtiene sus nutrientes de las células vivas del hospedero.
- Necrótrofo. mata las células del hospedero y vive sobre los restos inertes.
- Obligado: patógeno que no puede ser cultivado en ausencia de un hospedero.
- Facultativo (no obligado): patógeno que puede cultivarse en medios artificiales.
- Saprofitos facultativos: prefieren hospederos vivos, pero pueden vivir sobre materia orgánica muerta.
- Parásitos facultativos: prefieren materia orgánica muerta, pero infectan hospederos vivos si no tienen otra opción.
- Saprofitos: viven sobre materia orgánica muerta.
- Población: reunión de organismos individuales que tienen características en común.

- Comunidad: todos los organismos ocupan un lugar en particular, generalmente es una categoría de organismos en un ambiente.
- Habitat: un lugar que tiene una importancia ecológica.
- Comensalismo: una se beneficia sin afectar al otro.
- Mutualismo: ambas poblaciones se benefician.
- Sintrofía: más productivos juntos que separados
- Simbiosis: sin el otro no es posible una función.
- Sinergismo: potencian una función.
- Competencia: ambas se afectan, coexistencia en un nicho común con un número más grande de una población. Inhibición directa.
- Predación: impacto negativo sobre otra, consumen por alimento.
- Amensalismo: ventaja competitiva, producción de compuestos inhibitorios.

EL SUELO COMO SUSTRATO PARA LA VIDA MICROBIANA

El suelo constituye un sustrato de excelentes condiciones para el desarrollo de la vida microbiana. El conjunto de propiedades físicas y químicas, generadas por la interacción de sustancias minerales y orgánicas muy variadas, agua y aire, han creado condiciones ecológicas que permiten incubar en el interior del suelo, elevados contingentes de microorganismos con requerimientos nutricionales y propiedades fisiológicas muy diferentes. En un reducido volumen de suelo podemos hallar coexistiendo en forma activa o latente microorganismos con diferentes maneras de comportamiento en cuanto a alimentación, metabolismo respiratorio o con otras características fisiológicas peculiares en cada caso, como pudiera ser la capacidad para parasitar plantas o animales.

El papel de la comunidad microbiana en el suelo es de enorme importancia. Muchos de los complicados mecanismos que aseguran la continuación de la vida en nuestro planeta, son en buena medida el resultado de la actividad de los microorganismos en el suelo.

No resulta entonces difícil entender por que desde fines del siglo XIX comenzaron a aparecer investigadores interesados en conocer la identidad y el funcionamiento de los habitantes microscópicos del suelo, seguros como estaban aquellos pioneros que debía haber alguna relación entre la existencia de un mundo microbiano activo en el interior del suelo y la fertilidad del mismo.

En el presente la microbiología del suelo cobra cada vez mayor importancia, pues se trata de producir más en áreas de tierra que no pueden seguir creciendo, por lo cual es necesario. contemplar el manejo efectivo de los procesos de recirculación de los elementos y las asociaciones de los microorganismos del suelo con las plantas.

El suelo es un medio muy heterogéneo y por ello los microorganismos se distribuirán en su interior de modo desigual en microcolonias.

La mayor densidad microbiana está concentrada en la capa superior del suelo hasta los primeros veinte centímetros. A medida que nos alejamos de la superficie, el número de microorganismos disminuye y se modifica también la composición de especies de la comunidad en su conjunto.

Cuanto más elevado es el porcentaje de materia orgánica mayor probabilidad de encontrar microorganismos a profundidades inusuales, aunque en ello influye otro factor importante como la aireación y la penetración de las raíces a los cuales acompañan diversas especies microbianas. A medida en que se desciende en el perfil crece el número de microorganismos anaerobios o anaerobios facultativos.

La cantidad de microorganismos depende del tipo de suelo y del grado de su cultivo. Los suelos más abundantes en microorganismos son las tierras grises y negras; más pobres son las tierras del norte, las pantanosas, y muy pocos microorganismos contienen los suelos de los semidesiertos.

Un tipo de suelo se diferencia de otro no solamente por la cantidad, sino también por la composición de su micropopulación. De distinto modo están representados en ellos los principales procesos que caracterizan la fertilidad del suelo, la síntesis del humus y su desintegración y también es distinta la proporción de tipos, clases y grupos de microorganismos.

Existen evidencias de que al parecer en cada suelo se establece una microbiota característica del mismo, compuesta fundamentalmente por

aquellos microorganismos capaces de desarro llar en las condiciones particulares de cada ecosistema, como son, tipo de sustratos utilizables, temperatura, acidez, humedad y otros.

La población microbiana de un suelo está compuesta en general, por algunas especies dominantes y un alto número de especies esporádicas. Este hecho puede deberse a la forma en que se desenvuelven los procesos metabólicos, como es la sucesión de especies durante el metabolismo comunitario, el degradar diferentes sustratos orgánicos en el suelo. No obstante el fenómeno de la predominancia no es un hecho invariable sino que está sometido a las fluctuaciones de las condiciones físico – químicas de los suelos, y a las variaciones ambientales.

Los microorganismos del suelo se encuentran distribuidos de varias maneras: libres, en simbiosis, parasitismo, comensalismo, pueden encontrarse en la rizosfera (zona cercana a la raíz), rizoplano (zona externa de la raíz).

Existe diversidad de microorganismos que pueden variar por el tipo de suelo, tipos de plantas, relación con la raíz, los requerimientos básicos para el crecimiento de microorganismos son: humedad, oxígeno (excepto anaerobios) condiciones favorables de pH, temperatura.
Los microorganismos del suelo pueden ser bacterias, hongos o actinomicetos.

BACTERIAS

Las bacterias son los organismos más abundantes en el suelo y su presencia se ha detectado en los más diversos ecosistemas y regiones geográficas del planeta.

Las bacterias del suelo pueden colocarse en dos grandes grupos: las especies nativas o autóctonas que son residentes verdaderos y los organismos invasores o alóctonos. Las poblaciones nativas pueden presentarse en estados resistentes y perduran por largos períodos sin tener actividad metabólica, pero en determinado momento, estas formas nativas proliferan y participan en las funciones bioquímicas de la comunidad. Las especies alóctonas por el contrario, no participan de manera significativa en las actividades de la comunidad. Entran con la precipitación, en tejidos enfermos, estiércol o aguas negras y pueden permanecer por algún tiempo como formas inactivas e incluso crecer por períodos cortos, pero nunca contribuyen en forma significativa en las transformaciones o interacciones ecológicas.

Entre los principales tipos morfológicos de bacterias están los bacilos que tienen forma de bastón, estos son los más numerosos, los cocos que tienen forma esférica y los espirilos; no siendo muy comunes en el suelo.

Las bacterias son de gran importancia en varios procesos, cumplen un papel esencial en la circulación de nutrientes, aunque algunas especies son perjudiciales ya que compiten por nutrientes y causan enfermedad.

El metabolismo de bacterias puede ser aerobio, anaerobias facultativas, anaerobias estrictas, el tipo de nutrición puede ser: autótrofas como es el caso de las bacterias nitrificantes,
oxidadoras de hierro y azufre; o pueden ser heterótrofas siendo estas numéricamente importantes en el suelo.

En 1 gramo de suelo fértil se encuentra aproximadamente 109 bacterias con un peso vivo de 3400 Kg/Hectárea. El número y la diversidad de las especies bacterianas que habitan el suelo puede ser afectado también por el manejo o tratamiento que se le dé al suelo. Por ejemplo las inundaciones del suelo durante el regadío, y el movimiento de la tierra durante la preparación para la siembra inciden opuestamente en la aireación del suelo y por tanto en los procesos metabólicos que en su interior se desarrollan. La roturación incrementa la aireación y por tanto favorece la descomposición rápida de los residuos orgánicos por elevados números de bacterias. Asimismo, la aplicación de pesticidas contra plagas, malas hierbas u hongos fitopatógenos, tiene un efecto secundario sobre las poblaciones bacterianas del suelo, los cuales podrán ser inhibidas o por el contrario, tomar parte en la descomposición de esos compuestos.

Los géneros bacterianos más importantes en el suelo son: ***Achromobacter, Flavobacterium, Azospirillum, Azotobacter, Beijerinckia, Derxia, Bacillus, Clostridium, Brevibacterium, Arthrobacter, Cellulomonas, Corynebacterium, Aerobacter, Pseudomonas, Escherichia, Proteus, Serratia, Lactobacillus, Leuconostoc, Streptococcus,*** entre otros.

ACTINOMICETOS

Los actinomicetos constituyen un grupo de microorganismos con una amplia gama de miembros, los cuales se hallan formando fracciones de la comunidad biológica de los más variados ecosistemas de la tierra.

Son bacterias complejas y muy evolucionadas, tienen semejanza superficial con los hongos, son abundantes en suelos neutros o alcalinos, así como en las aguas de charcos, lodo y abonos orgánicos.

Cumplen un papel importante en la fermentación de abonos y compost, resisten temperaturas elevadas, algunas especies producen antibióticos.

Son organismos de nutrición heterótrofa y con requerimientos nutricionales muy variados. En términos generales, resultan capaces de utilizar una amplia diversidad de fuentes de carbono entre los que se hallan azúcares simples, proteínas, ácidos orgánicos y una significativa colección de sustratos complejos como celulosa, lignina, quitina y parafinas. Se ha comprobado que la quitina, aunque también puede ser degradada por especies de hongos y bacterias, cuando se adiciona al suelo induce la dominancia de actinomicetos en las comunidades microbianas. De esa manera son afectados notablemente por el contenido de materia orgánica en el suelo, por lo que alcanzan grandes densidades poblacionales en suelos con amplias reservas de carbono asimilable y de humus.

No son buenos competidores aparecen cuando los compuestos de materia orgánica complejos están en el suelo y bajan los nutrientes. Presentan un olor fuerte y característico, son los responsables del olor a tierra característico del suelo.

Participan en algunos procesos entre los cuales tenemos:

- Descomposición de algunos de los componentes resistentes de tejidos animales y vegetales (celulosa, quitina).
- Transformaciones a temperaturas elevadas, particularmente en abonos verdes calientes y en putrefacción, paja, acumulación de abono y estiércol.
- Algunos provocan enfermedades en plantas susceptibles.
- Son fijadores de Nitrógeno.
- Producen antibióticos.

Los géneros predominantes son: ***Streptomyces, Nocardia, Micromonospora, Thermomonospora, Micropolyspora, Thermoactinomyces,*** entre otros.

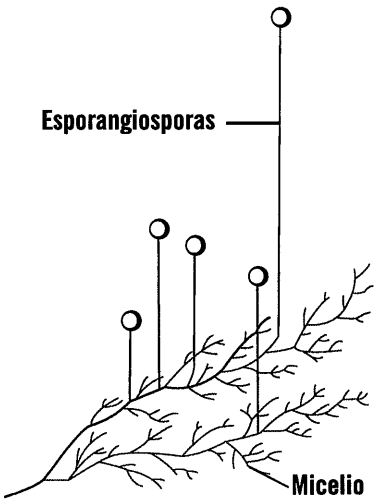
HONGOS

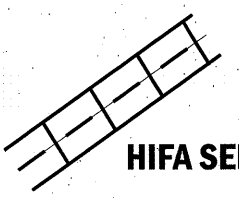
Dentro de la definición de hongos se agrupan un gran número de organismos de características nutricionales heterótrofas, con una muy amplia distribución en los más diferentes habitats y entre cuyas características más señaladas destaca la formación de una estructura vegetativa distintiva filamentosa y multinucleada conocida como micelio.

Las hifas de los hongos pueden ser cenocíticas o poseer paredes transversales o septos, los cuales en realidad no son tabiques que separan definitivamente una porción del citoplasma de otra, ya que en el centro de cada septo completo permanece abierto un poro a través del cual se mantiene la continuidad citoplasmática a lo largo de la hifa. La pequeña abertura en el centro del tabique permite el movimiento de masa del citoplasma y la migración de núcleos. Por término medio el diámetro de las hifas fúngicas está entre 3 – 10 micrómetros y estas se extienden continuamente por crecimiento del extremo apical. Además del crecimiento apical los filamentos hifales se ramifican dando lugar a nuevas hifas, las que a su vez continúan el proceso de crecimiento y ramificación hasta componer el complejo enrejado miceliar de la colonia fúngica.

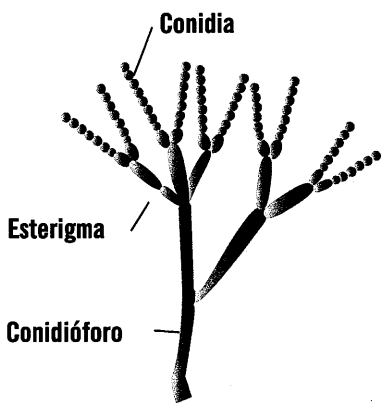
Al mismo tiempo que las hifas vegetativas, se observan hifas fértiles que dan lugar a la formación de esporas sexuales y asexuales. Estas últimas pueden estar libremente expuestas al ambiente (Penicillium, Aspergillus), y entonces reciben el nombre de conidios; o estar agrupadas dentro de un esporangio, siendo denominadas esporangiosporas. En la naturaleza las esporas asexuales son mucho más abundantes y de mayor distribución que las esporas sexuales.

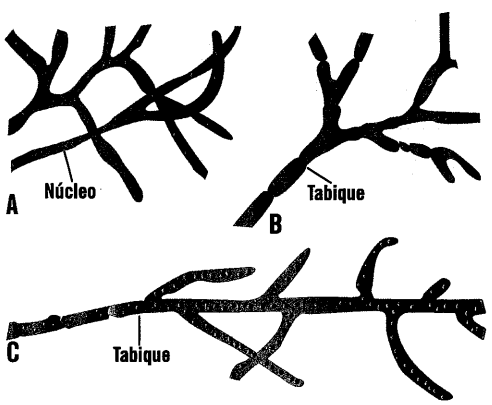
HIFA CENOCITICA





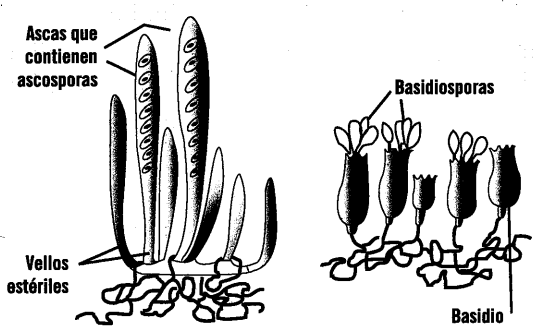
HIFA SEPTADA





CLASIFICACION DE LOS HONGOS

A pesar de que en muchos textos se emplean sistemas de clasificación relativamente complicados, los micólogos utilizan por lo común un sistema sencillo, que tiene la ventaja de ser cómodo de usar. Según este sistema, los cuatro filos principales son: Oomicetes ***(Oomycota)***, Zigomicetes ***(Zygomycota)***, Ascomicetes ***(Ascomycota)*** y Basidiomicetes ***(Basidiomycota)*** y sus respectivos individuos forman oosporas, zigosporas, ascosporas y basidiosporas. Una gran variedad de especies se colocan, de forma arbitraria, en un quinto filo: Deuteromicetes ***(Deuteromycota)***, también llamados hongos imperfectos. Se incluyen en este grupo aquellos hongos en los que sólo se conocen procesos de multiplicación vegetativa. Sin embargo, la mayoría de esas especies están emparentadas con los ascomicetes.



Algunos otros filos se consideran hongos, o bien, grupos relacionados estrechamente con los hongos: Mixomicetes ***(Myxomycota)***, Plasmodioforomicetes ***(Plasmodiophoromycota)***, Labirintulomicetes ***(Labyrinthulomycota)*** y Acrasiomicetes ***(Acrasiomycota)***.

1. Oomycota

El filo Oomicetes ***(Oomycota)*** se compone de hongos que se parecen a las algas. Abarca desde organismos unicelulares hasta complejas masas de hifas que no están tabicadas por septos (micelios no septados). Además de producir oosporas, los oomicetes forman zoosporas que se mueven por medio de dos flagelos. Se incluyen en el filo los mohos acuáticos, las royas blancas y los mildius vellosos. La mayoría de los mohos acuáticos viven sobre materia orgánica muerta, aunque ***Saprolegnia parasitica***, parasita peces vivos. Las royas blancas y los mildius vellosos, pertenecientes al orden Peronosporales, son parásitos de plantas. En algunos mildius vellosos, por ejemplo en los géneros

Phytophthora y ***Peronospora***, los receptáculos que contienen las zoosporas pueden estar modificados; en ese caso, los receptáculos se parecen a los conidios y funcionan como tales.

• Chytridiomycota

Los miembros del filo Quitridiomicetes ***(Chytridiomycota)*** son considerados parientes cercanos de los oomicetes. En algunos sistemas de clasificación se incluyen en el reino Protistas, en lugar de situarlos con los hongos.

2. Zigomycota

Los hongos pertenecientes al filo Zigomicetes ***(Zygomycota)*** se caracterizan por formar zigosporas con gruesas paredes, de origen sexual y esporangiosporas no nadadoras, de origen asexual. El moho negro del pan ***(Rhizopus nigricans)***, un representante bien conocido de este grupo del orden Mucorales, produce masas de hifas sobre pan, fruta y otros alimentos deteriorados. Los hongos del orden Entomoftorales son parásitos de las moscas y de otros insectos. Tienen esporangiosporas sencillas dentro de unos receptáculos; en el interior de cada uno de ellos se desarrollan unas estructuras que llegan a independizarse y funcionar como conidios. El orden Zoopagales comprende hongos parásitos de amebas, nematodos y artrópodos.

3. Ascomycota

Los hongos del filo Ascomicetes ***(Ascomycota)***, también llamados hongos con forma de saco, producen un número determinado de ascosporas en el interior de unas bolsas semejantes a vesículas, denominadas ascas. Con la excepción de algunas levaduras y otros pocos organismos, los ascomicetes tienen hifas bien desarrolladas, por lo general con un único núcleo en cada hifa. Ciertas células se transforman en binucleadas poco antes de la formación de los sacos esporales. La unión de los núcleos se da en las ascas jóvenes; tras la posterior división, suelen producirse ocho núcleos, los cuales darán lugar a las ascosporas.

Algunos ascomicetes tienen sólo una ascospora; otros pueden tener varios cientos. Las tres clases principales de este filo son: Hemiascomicetes, Euascomicetes y Loculoascomicetes.

• Los Hemiascomicetes abarcan a las levaduras y otros hongos similares, cuyas ascas no se forman dentro ni sobre un soporte de masas de hifas. La levadura de la cerveza (***Saccharomyces cerevisiae)***, además de reproducirse por medio de ascosporas, lo hace también mediante unas protuberancias, o yemas, que a la larga se separan de las células parentales. Las levaduras del género Schizosaccharomyces se dividen por fisión. Los miembros del orden Tafrinales, como el parásito del melocotonero que causa el rizamiento de sus hojas, se clasifican a menudo dentro de esta clase, pero la verdadera relación entre estos organismos es confusa.

• Los miembros de la clase Euascomicetes, como los pertenecientes al orden Eurotiales, son aquellos cuyas ascas están esparcidas por todo el interior de unas bolas de hifas, llamadas cleistotecios. ***Penicillium y Aspergillus*** son etapas conidiales de los eurotiales.

• Los hongos pertenecientes al orden Erisifales, un grupo de parásitos de plantas llamados los mildius de la podredumbre, tienen cleistote cios con formas especializadas.

• Algunos ascomicetes, que se suelen denominar Pirenomicetes, tienen ascas originadas en el interior de unas estructuras con forma de matraz llamadas peritecios. Muchos peritecios se desarrollan sobre una masa de hifas que sirve de soporte, que se llama ascocarpo. Las colmenillas o morchelas, las trufas y pezizas, son ascocarpos muy conocidos, con las ascas situadas en la cara superior de los cuerpos fructíferos. Otro pirenomicete, el moho rojo del pan (del género ***Neurospora***), se ha utilizado comúnmente en el estudio de la herencia genética.

• Los miembros de la clase Loculoascomicetes difieren de los grupos descritos anteriormente por tener ascas con doble pared que se forman dentro de unas cavidades que hay en el interior de la masa de hifas. Algunos órdenes represen tativos de este grupo son: Miriangiales, Dotideales y Pleosporales.

4. Basidiomycota

El filo Basidiomicetes ***(Basidiomycota)*** comprende numerosos y variados tipos de hongos, cuyas estructuras reproductoras son basidios que se localizan en las puntas de las hifas, sobre unos salientes con forma de tallo. Lo normal es

que, en cada basidio, se formen cuatro basidiosporas. Los basidios pueden ser con forma de maza, cilíndricos u ovales. Las dos clases principales de este filo son: Heterobasidiomicetes, que tienen basidios con cuatro células y Homobasidiomicetes que, de manera típica, tienen basidios con una célula.

•• La clase Heterobasidiomicetes engloba a algunos importantes parásitos de las plantas, tales como las royas del orden Uredinales, o los tizones del orden.

•• Ustelaginales. Estos grupos tienen basidios que están divididos en varias células, por lo general cuatro, las cuales forman una espora cada una.

Muchas royas, entre ellas Puccinia graminis, la roya negra de los tallos del trigo y de otras gramíneas, tienen un ciclo de vida complicado y requieren vivir en dos huéspedes distintos para producir sus variadas formas de esporas. La roya negra de los tallos del trigo forma unas estructuras pequeñas con forma de matraz llamadas espermatogonias. Éstas tienen numerosos cuerpos diminutos semejantes a esporas, llamados espermátidas, situados sobre la cara superior de las hojas del agracejo ***(Berberis vulgaris)***. En la cara inferior se desarrollan, así mismo, unas estructuras con forma de copa, llamadas ecidios, desde cuya base se originan hileras de ecidiosporas. Las ecidiosporas nunca reinfectan a otras plantas de agracejo, sino que atacan únicamente a las gramíneas, en las que forman unas pústulas rojas llamadas uredios que contienen esporas. Estos uredios son los que dan la apariencia de royas a los tallos y las hojas de las plantas parasitadas. Más tarde, durante la misma estación, se producen otro tipo de esporas llamadas teliosporas, o esporas de invierno. Éstas son negras, con paredes gruesas y se forman en los tallos del trigo. En la primavera siguiente, las teliosporas desarrollan protecciones cilíndricas, dividiéndose entonces en cuatro células que originan basidiosporas individuales. Las royas que utilizan dos huéspedes se denominan heteroicas; aquellas cuyas etapas de desarrollo se realizan en un solo huésped se llaman autoicas.
En los tizones, las teliosporas se llaman clamidosporas. Estas esporas pueden reinfectar a otras plantas poco después de formarse, pero es más frecuente que germinen en el suelo durante la primavera siguiente. Producen unos filamentos cortos que tienen, aproximadamente, cuatro células. Éstas dan lugar a basidiosporas llamadas esporidios. Entre el resto de los heterobasidiomicetes se agrupan diversos hongos de consistencia gelatinosa de los órdenes Auriculariales, Dacrimicetales y Tremelales.

••La clase Homobasidiomicetes se subdivide en dos grupos principales que pueden considerarse subclases: Himenomicetes, cuyo himenio (superficie en la que se alojan los cuerpos fructíferos) es externo, y Gasteromicetes, en los cuales los basidios se forman en el interior del cuerpo fructífero. La mayoría de estos hongos son saprofitos, es decir, viven sobre materia orgánica muerta o en descomposición.

* La subclase Himenomicetes engloba diversas familias que abarcan desde los champiñones y otros hongos similares, a las clavarias (hongos con forma de coral) y a los hongos porosos o políporos. Estos hongos difieren entre sí por el tipo de cuerpo fructífero, o basidiocarpo. En los champiñones y en otros hongos de la familia ***Agaricaceae***, el himenio se forma a lo largo de unas hojas alargadas, o laminillas. Las especies de la familia ***Clavariaceae*** tienen los basidiocarpos muy ramificados. El himenio se sitúa sobre la suave superficie de éstos. Los políporos, de la familia ***Polyporaceae***, son comunes sobre troncos en descomposición. Su himenio se alinea dentro de unos tubos. Los hongos con aguijones, de la familia ***Hydnaceae,*** tienen su himenio sobre unas espinas que crecen hacia fuera.

* La subclase Gasteromicetes comprende hongos tan familiares como los pedos o cuescos de lobo, del orden Licoperdales, y los hongos malolientes con forma de falo, del orden Falales. Los basidiocarpos de los pedos de lobo.

* son estructuras globulares, a menudo grandes, que contienen una enorme cantidad de esporas. Los cuerpos fructíferos de los falales son unas estructuras cilíndricas. Sus esporas se disponen en la superficie del ápice de estos basidiocarpos. Cuando maduran despiden un olor repugnante que atrae a los insectos carroñeros y de esta forma aseguran la dispersión de las esporas.

5. Deuteromycota

La mayoría de los miembros del filo Deuteromicetes ***(Deuteromycota)*** son fases conidiales de ascomicetes; sin embargo, unas pocas especies son zigomicetes o basidiomicetes. Los géneros ***Aspergillus, Penicillium, Verticillium, Alternaria y Fusarium***, pertenecen al orden Moniliales. En estos hongos, los oídios y los conidios se forman sobre una almohadilla vellosa de hifas entrelazadas. Los hongos pertenecientes al orden Melanconiales, con géneros como ***Colletotrichum***, tienen cuerpos fructíferos semejantes a diminutos platillos, llamados acérvulos. Los conidios de los miembros del orden Esferopsidales se originan en el interior de unas estructuras con forma de matraz llamadas picnidios.

HONGOS EN EL SUELO

En el suelo los hongos conforman una importante fracción de la biomasa microbiana, aunque los resultados comúnmente obtenidos a través del conteo en placas de agar nos los ofrecen, en ocasiones, como miembros no muy abundantes de la microflora del suelo, en comparación con otros grupos microbianos como bacterias y actinomicetos. Su contribución a la biomasa microbiana del suelo deriva de la amplitud del diámetro de sus hifas y de la extensión que alcanza el micelio al desplazarse y ramificarse tan profusamente. Los valores que arrojan la enumeración de hongos en el suelo se sitúan entre 104 a 106 propágulos por gramo de suelo. La magnitud de su biomasa oscila entre 500 hasta 5000 Kg por hectárea de suelo superficial.

En realidad el suelo puede ser considerado como un reservorio al cual van a parar las esporas y otros propágulos de hongos cuya vida activa ha transcurrido en regiones aéreas de las plantas y otros habitats por encima de la superficie del suelo, además de que en el mismo existen otros cuyo ciclo vital completo transcurre en el interior del suelo.

Su participación en la descomposición de la materia orgánica es considerablemente grande, ya que colonizan el material vegetal muerto explotándolo a plenitud, gracias a que poseen un complejo y efectivo sistema enzimático.

Los estudios con hongos del suelo han tenido que ver fundamentalmente con su importancia como patógenos vegetales, a su actividad como descomponedores de residuos orgánicos y a la presencia y papel que puedan desempeñar en la región de la rizósfera de las plantas o en las micorrizas.

Muchos patógenos de plantas y también de animales encuentran en el suelo un lugar adecuado donde transcurre parte de su ciclo de vida, ya sea como una fase durmiente o como forma vegetativa activa en espera de la aparición del hospedero que será parasitado.

La participación de los hongos en los ciclos biogeoquímicos es bien conocida. Estos organismos son capaces de metabolizar numerosos compuestos carbonados incluyendo biopolímeros como la celulosa y la lignina. Su rápido crecimiento y la intensa actividad descomponedora les reservarán un importante papel en el mantenimiento del equilibrio biológico en los ecosistemas del suelo.

Los estudios en la superficie y los alrededores de las raíces de algunas plantas indican que en la región de la rizósfera los hongos pueden ocupar determinadas regiones, lo cual hace que sea tomado con interés la posible interrelación entre estos y la planta. Por otra parte, constituye ya un hecho de que algunos hongos pueden establecer relaciones de carácter simbiótico con diferentes clases de plantas, donde la presencia del hongo posibilita a la planta una mayor resistencia a la escasez de agua en el suelo y un mayor aprovechamiento de nutrientes utilizables para la planta.

La acumulación de sustancias utilizables al depositarse en las regiones superficiales del suelo, la presencia de raíces, la actividad de los animales del suelo y la adición de abono de naturaleza orgánica pueden ser causas que promuevan la aparición de micelio activo de hongos en el suelo.

La composición de la flora microbiana depende fundamentalmente de las propiedades del suelo. La naturaleza del suelo afecta a los organismos que habitan en el mismo tanto individual como colectivamente y en ese sentido la especificidad de la flora fúngica es indicativa de cierta especialización en el sustrato en el cual los organismos están sobreviviendo.

Los géneros que regularmente se encuentran en el suelo son: ***Aspergillus, Mucor, Penici-***

Ilium, Trichoderma, Zygorhynchus, Cladisporium, Alternaria, Rhizopus, Fusarium, Verticillium, Cephalosporium, entre otros.

Influencias ambientales en el crecimiento de los hongos en el suelo

La composición cuantitativa y cualitativa de las poblaciones fúngicas de diferentes suelos y aún dentro de un mismo suelo, en diversos puntos del mismo, variará con las características físico – químicas del suelo o de los microhabitats ocupados.

La supervivencia, adaptación y establecimiento de un organismo dentro del suelo, estarán gobernados por las condiciones ambientales generales que le rodean.

Sobre la población de hongos de un suelo determinado, actúan numerosos factores entre los que sobresalen, la abundancia y naturaleza de la materia orgánica, la acidez del medio, la humedad y aireación del suelo, la temperatura, la fertilización del suelo, la vegetación que crece en el área en cuestión y la profundidad en el perfil, sin que por esto dejen de ser considerados otros factores ecológicos que en ocasiones particulares pueden hacerse limitantes a estos organismos.

La nutrición de los hongos es heterótrofa por lo cual se infiere la importancia que para su desarrollo tiene la presencia de materia orgánica. En general el número de hongos filamentosos en el suelo varía directamente con el contenido de materia orgánica utilizable; sin embargo este grupo microbiano se encuentra en áreas con bajo nivel de materia orgánica. Es un hecho bien conocido que la incorporación de restos de cultivos, abonos verdes u otros materiales carbonados en el suelo estimula el crecimiento de la población de hongos. Al mismo tiempo la aplicación de sustratos orgánicos altera la composición de la flora y se afecta marcadamente el dominio relativo de géneros como ***Penicillium, Trichoderma, Aspergillus, Fusarium y Mucor.*** La estimulación de la actividad fúngica con materia orgánica complementaria es mayor durante el período inicial de descomposición. Algunas especies llegan a ser abundantes inmediatamente después de agregar fuentes de carbono, pero disminuyen rápidamente después de este incremento inicial.

Sin embargo otras especies mantienen elevados niveles de población durante períodos relativamente largos después de la incorporación de restos vegetales. La respuesta varía con la composición química del sustrato y con algunas características ambientales; los hongos por lo general predominan en la microflora después de adiciones de carbono a ambientes ácidos que tengan una cantidad adecuada de nitrógeno.

Una gran variedad de sustancias orgánicas naturales son descompuestas por los hongos en el suelo, entre las que se encuentran azúcares simples, alcoholes, aminoácidos y polímeros como la lignina, celulosa, hemicelulosa, proteínas, ácidos nucleicos. Su comportamiento puede ser como parásitos o saprofitos.

La concentración del ión Hidrógeno es otra de las principales variables que regulan la actividad y la composición de la flora. La mayoría de las especies de hongos tienen un rango bastante amplio de tolerancia al pH, desde tan bajos como 3.0 y 4.0 hasta pH alcalino como 9.0 o mayores en los cuales todavía algunas cepas muestran cierto grado de actividad. De este modo, debido a la insensibilidad de muchos hongos hacia elevadas concentraciones del ion hidrógeno y el estrecho intervalo de pH de muchas bacterias y actinomicetos, los hongos constituyen una gran porcentaje de la comunidad y son los responsables de una parte considerable de las transformaciones bioquímicas en hábitats ácidos. La aplicación de fertilizantes inorgánicos puede modificar la abundancia de hongos filamentosos pero semejantes alteraciones con frecuencia son resultado de la acidificación, más que la adición de nutrientes. El tratamiento con fertilizantes que contengan sales de amonio hace que el número de estos organismos aumente debido a que la oxidación microbiana del nitrógeno permite la formación de ácido nítrico y la repetida adición anual de fertilizantes de amonio favorece a los hongos y disminuye el número de bacterias y actinomicetos.

El agua tiene trascendental importancia en el desenvolvimiento de la vida de los microorganismos y de todas las formas de vida. La abundancia de agua en el medio tiene su repercusión tanto en el transporte de nutrientes al interior de la célula, como en la difusión del medio externo de los productos finales del metabolismo celular. De ese modo la ausencia de agua o la escasez de esta en el suministro de la célula se evidencia en el retardamiento de los procesos metabólicos

o en una ausencia total de la actividad metabólica.

Es bien conocido que bajos contenidos de humedad favorecen el crecimiento vegetativo de ciertos hongos como especies de ***Aspergillus, Trichoderma y Penicillium.***

Si consideramos condiciones de escasez de agua, un mejoramiento paulatino en el suministro de la misma viene acompañado de un aumento en el número de hongos en el suelo. Sin embargo, el incremento excesivo del contenido de agua en el suelo, tiene también su manifestación en la exclusión del aire de los poros intra e interparticulares. La ausencia de oxígeno, necesario para la respiración de la flora fúngica del suelo, afecta la actividad de los hongos reduciéndola al mínimo.

Como grupo, los hongos filamentosos son aerobios estrictos aunque se conocen algunas excepciones y algunas especies consideradas comúnmente como aerobias obligadas crecen en cierta medida cuando el O2 no está presente por más tiempo. Sin embargo aún entre los aerobios obligados, parte del micelio puede penetrar en lugares donde no hay oxígeno pero gran parte de la masa de las hifas debe tener fácil acceso al aire.

La mayoría de los hongos son mesófilos en sus requerimientos de temperatura para el crecimiento, con un mínimo entre 5 y 10° C y un máximo entre 30 y 40° C. Algunas especies de hongos que se desarrollan en suelos tropicales poseen determinado grado de termotolerancia, lo cual les permite poder resistir las elevadas temperaturas que se alcanzan en la superficie del suelo. Puede demostrarse la existencia de unas pocas cepas termofílicas en el suelo normal pero tales variantes sólo llegan a ser particularmente abundantes durante el calentamiento del abono en descomposición. Los termófilos se multiplican a 50° C y a veces a 55° C pero no a 65° C, y no se encuentran en abonos que alcanzan altas temperaturas. Generalmente estos hongos desempeñan un papel importante en procesos fermentativos como compost.

El crecimiento y la extensión de las hifas está condicionado al estado de nutrientes del ambiente que le rodea. Mientras exista un buen suministro de sustancias útiles, y las condiciones ambientales no sean hostiles, las hifas se extenderán y el micelio permanecerá vivo y activo. Sin embargo, con la ausencia de nutrientes cesa todo crecimiento que vendrá acompañado de la muerte de parte del micelio y la formación de elementos de resistencia. Cuando se producen condiciones adversas en el medio, la persistencia de una población fúngica puede ser garantizada por las hifas. No obstante en la mayoría de los casos, el hongo dispone de estructuras especializadas que aseguran la persistencia de la especie. Estas estructuras comprenden las esporas asexuales (conidios y esporangiosporas), clamidosporas y esporas sexuales como oosporas, zigosporas y ascosporas. Estas estructuras posibilitan a los hongos, no solamente soportar la hostilidad temporal del medio que le rodea, sino que actúan también como elementos de dispersión, que pueden ser diseminados por el aire, el agua o los animales para colonizar nuevos habitats de condiciones ecológicas adecuadas para su germinación.

Las esporas son importantes agentes de dispersión. Los hongos son capaces de producir diferentes tipos de esporas y en muchas especies se ha podido observar la existencia de esporas tanto sexuales como asexuales.

Las esporas asexuales, sin duda alguna tienen una mayor capacidad para sobrevivir en condiciones adversas que la hifa en sí, aunque su función principal es atribuida al papel quetienen como elementos de dispersión. Los conidios son esporas asexuales producidas en los extremos o en las zonas laterales de las hifas. Por otra parte otros géneros de hongos tienen esporas asexuales encerradas dentro de un esporangio, las esporangiosporas, que pueden ser en algunos casos esporas dotadas de motilidad. (zoosporas).

Los conidios tienen un citoplasma de mayor densidad que el de la hifa y carecen de vacuolas, características que contribuyen a la resistencia. La durabilidad de las esporas en el suelo es variable, existen esporas que pueden permanecer en el suelo por un período prolongado de tiempo, mientras que otras carecen de viabilidad y permanecen en le suelo únicamente por unas pocas semanas después de haber sido producidas. La desecación del suelo favorece la permanencia de los propágulos inactivos por un período de tiempo prolongado.

Cuando las condiciones de humedad y la cercanía de sustancias orgánicas unidas a la existencia de adecuadas condiciones físico – químicas lo permitan, esas estructuras durmientes germinarán para dar inicio a un nuevo ciclo vegetativo del hongo.

Estructuras de resistencia

Algunas especies de hongos cuando se encuentran ante condiciones ambientales adversas dan lugar a la formación de clamidosporas. Estas representan células formadas de la misma hifa , la cual se abulta en esa región y su pared se engrosa, produciéndose además condensación del citoplasma en esa región. Las clamidosporas aparecen en todos los grupos mayores de hongos como ***Fusarium, Trichoderma y Mucor.*** La existencia de algunos hongos fitopatógenos en el suelo es atribuida a las clamidosporas.

Los esclerotes los cuales consisten en hifas estrechamente entretejidas donde las células pierden su forma original, y dan lugar a una masa compacta y globosa dura y frecuentemente grande, cubierta en algunos casos por una gruesa capa de pseudoparénquima. Algunos géneros que producen estas estructuras de resistencia son: ***Phymatotrichum, Rhizoctonia, Sclerotium, Verticillium.***

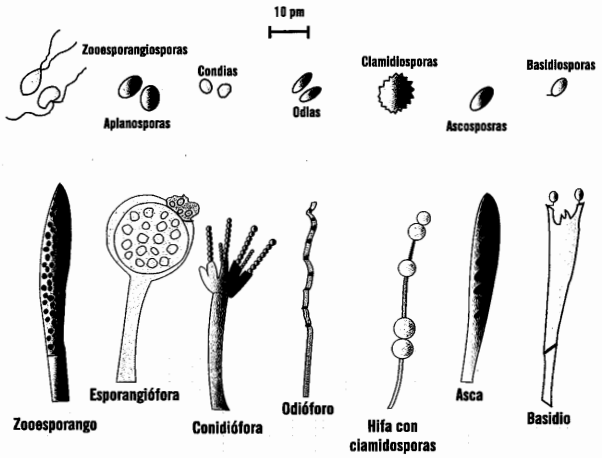
Los esclerotes acumulan en su interior reservas de alimentos como grasas y glucógenos de modo que están condicionados para soportar largos períodos de tiempo en el suelo, dentro del cual pueden permanecer viables desde menos de un mes hasta 10 o 12 años.

Otras estructuras de resistencia de algunos hongos son los esporangios, cuyo comportamiento está en dependencia de la especie que lo produzca. Mientras que los esporangios de algunas especies persisten períodos prolongados en el suelo, la vida media de otros es considerablemente efímera.

Es un hecho demostrado que la adición de nutrientes utilizables al suelo como glucosa, estimulará la germinación de esporas de hongos. Algunas esporas son capaces de germinar en agua destilada y sin embargo, están imposibilitadas de hacerlo en el suelo.

La acción fungistática del suelo se vincula en muchos casos con la síntesis de sustancias antibióticas por organismos antagonistas y en otros casos con las actividades generales de la microflora saprofita del suelo.

Por otra parte cierto número de hongos en el suelo pueden ser parasitados por otros hongos, que hacen penetrar sus hifas en el interior del primero, hasta que lo aniquilan.



Actividades de los hongos en el suelo

Los hongos son organismos típicamente heterótrofos, por lo que su ciclo de vida en el suelo o durante el proceso de interrelación con plantas y animales exige del consumo de carbono orgánico en alguna de sus formas.

Poseen un rango muy amplio para la utilización de fuentes carbonadas de origen orgánico. Entre las sustancias que normalmente van al suelo con los residuos vegetales y animales y que pueden resultar degradadas por los hongos se encuentran azúcares de diferente tamaño molecular, almidón, ácidos orgánicos, hemicelulosas, celulosa, lignina, proteínas, grasas y ácidos nucleicos entre otras.

Los hongos son bien conocidos por su actividad degradativa sobre desechos vegetales en ecosistemas naturales como en ecosistemas afectados por la actividad productiva del hombre, por lo que es reiterada su papel en los procesos de mineralización de la materia orgánica y por tanto en la recirculación de los elementos y el flujo de energía en la biosfera.

Las relaciones de los hongos con los seres vivos que los rodean pueden ser también parasitarias, de protocooperación, simbiótica y de predación.

Las relaciones de parasitismo fúngico pueden ser establecidas con plantas y animales.

Una parte de los hongos aislados del suelo son capaces de atacar y descomponer la queratina. Estos organismos son de una naturaleza especial y ocurren como saprofitos de una variedad de sustratos ricos en queratina como cuernos, plumas, uñas y pelos enterrados en el suelo, y son potencialmente patógenos al hombre y los animales.

Solamente una parte de los hongos que crecen o sobreviven en el suelo tiene relación con las enfermedades de plantas, entre los que se hallan ***Armillaria, Fusarium, Phytophtora, Phythium, Rhizoctonia, Sclerotium y Thielaviopsis.*** Para algunos de estos hongos la asociación con la planta es obligatoria, por lo cual una vez en el suelo permanecen en estado de latencia en espera de un nuevo hospedero, sin que puedan desarrollarse en ausencia del mismo. Entre estos hongos se encuentran: ***Pythium y Phytophtora.***

Algunos hongos, pueden desarrollar libremente en el suelo, al tiempo que en presencia del hospedero lo parasitan y viven a expensas de las sustancias que estos sintetizan. Estos hongos cuando se hallan en el suelo poseen un metabolismo saprofítico, por lo cual utilizan los productos de la descomposición de residuos orgánicos en el suelo.

Las relaciones de simbiosis facultativa entre hongos y otros organismos se pueden ejemplificar en la actividad que desarrollen algunos géneros como Aspergillus y Trichoderma en la rizósfera, los cuales pueden ejercer acción protectora ante el ataque de hongos fitopatógenos.

Una de las actividades más curiosas de algunos géneros de hongos que viven en el suelo es su actividad depredadora. Algunas amebas y rizópodos son susceptibles al ataque de ciertas cepas o especies de hongos, cuyas hifas penetran en el cuerpo de la víctima y ocasionan la parálisis del movimiento para posteriormente digerir lentamente su contenido celular.

También los nematodos sufren el ataque de los hongos. Se ha comprobado que existen casi cien especies de hongos que atrapan nematodos y los matan. Las presas son atrapadas por estructuras hifales especializadas que incluyen prominencias mucilaginosas o redes que actúan por adhesión y anillos contráctiles que capturan nematodos por oclusión. Las trampas adhesivas se producen por la diferenciación de hifas ramificadas en estructuras que segregan una cubierta pegajosa con pequeñas prominencias o por la formación de una intrincada red de hifas adhesivas que apresan el cuerpo del nematodo cuando toma contacto con ellas. Los anillos contrictores están constituidos por tres células al final de un tallo corto. Cuando un nematodo entra en la cavidad interna de ese anillo, las células del mismo se hinchan inmediatamente oprimiendo la presa de modo que no pueda escapar. Entonces se producen hifas que penetran el cuerpo del animal y lo consumen. Entre los géneros de hongos nematófagos más comunes se hallan: ***Paecylomices, Arthrobotrys, Dactylaria, Dactylella, Harposporium y Monacrosporium.***
Sin embargo, los hongos atrapadores de nematodos no son predadores obligados, sino que pueden crecer como saprofitos en el suelo y en medios de cultivo en el laboratorio. La presencia de nematodos provoca la formación de las trampas lo cual se atribuye a la excreción por el nematodo de una sustancia denominada nemina que estimula la morfogénesis de las trampas en el hongo.

FISIOLOGÍA MICROBIANA

Antes de considerar las diversas transformaciones llevadas a cabo por los microorganismos del suelo, es necesario revisar algunos aspectos de la nutrición y fisiología microbianas. La capacidad de crecer en un hábitat determinado, se determina por la capacidad de los microorganismos para utilizar los nutrientes de sus alrededores. Al mismo tiempo, el organismo existe en un complejo medio ambiente, y sus características nutritivas y fisiológicas determinan, en gran parte, su capacidad para convivir con sus vecinos. De esta manera, la función y existencia misma de una especie en el suelo, están condicionadas por su versatilidad bioquímica y nutricional.

• **NUTRICION:** los nutrientes tienen tres funciones:
1. Proveer los materiales que se requieren para una síntesis protoplasmática.
2. Abastecer de la energía necesaria para el crecimiento celular y reacciones biosintéticas.

3. Servir como aceptores de los electrones liberados en la reacción que proporciona energía a los organismos. En los organismos aerobios el oxígeno desempeña esta función. En los anaerobios estrictos o facultativos algún producto orgánico del metabolismo o alguna sustancia inorgánica reemplaza al oxígeno.

Las fuentes de energía para los heterótrofos del suelo son: celulosa, hemicelulosa, lignina, almidón, sustancias pécticas, inulina, quitina, hidrocarburos, azúcares, proteínas, aminoácidos y ácidos orgánicos. La conversión de estas sustancias orgánicas a productos más oxidados libera energía. De todos modos, para que el alimento se pueda utilizar, debe penetrar al cuerpo del organismo; frecuentemente la fuente de energía entra sin dificultad, pero las células microbianas son impermeables a muchas moléculas complejas; estos compuestos primero tienen que solubilizarse y simplificarse antes de que sirvan como fuentes de energía en los confines de la célula.

La composición elemental de los microorganismos es muy similar, generalmente contienen los mismos elementos. El nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, azufre, hierro y probablemente calcio, manganeso, zinc, cobre, cobalto y molibdeno son parte integral de la estructura protoplasmática. La célula microbiana está constituida de estos nutrientes esenciales, además de carbono, hidrógeno y oxígeno. Las diferencias en nutrición entre los miembros de la microflora no están relacionadas con las sustancias minerales esenciales, sino con las moléculas que contienen carbono y nitrógeno. En algunos casos, se requiere un elemento para una reacción específica en la descomposición o en la síntesis celular.

* donde el crecimiento se lleva a cabo en ausencia de factores de crecimiento, probablemente los compuestos son sintetizados por los microorganismos.

NUTRIENTES REQUERIDOS POR LOS MICROORGANISMOS

1. Fuente de enrgía	Compuestos orgánicos Compuestos inorgánicos Luz Solar
2. Aceptor de electrones	Oxígeno Compuestos Orgánicos NO_3 , NO_2, N_2O, SO_4, CO_2
3. Fuente de Carbono	CO_2, HCO_3 Compuestos orgánicos
4. Minerales	N, P, K, Mg, S, Fe, Ca, Mn, Zn, Cu, Co, Mo.
5. Factores de crecimiento a. Aminoácidos b. Vitaminas c. Otros	Alamina, ácido aspártico, ácido glutámico, etc. Tiamina, biotina, piridoxina, riboflavina, ácido nicótico, ácido pantoténico, ácido fólico, ácido lipoico, B12, etc. Bases purínicas, bases pirimídicas, colina, inositol, péptidos, etc.

MICROORGANISMOS Y CICLOS DE LOS ELEMENTOS

CICLO DEL CARBONO

El elemento más importante del reino biológico que sirve como piedra angular de la estructura celular es el carbono. Constituye junto con el oxígeno, el hidrógeno y el nitrógeno alrededor del 99% de la masa de muchas células, por su capacidad para formar enlaces covalentes carbono – carbono y dar lugar a la formación de una gran diversidad de tipos de moléculas orgánicas diferentes.

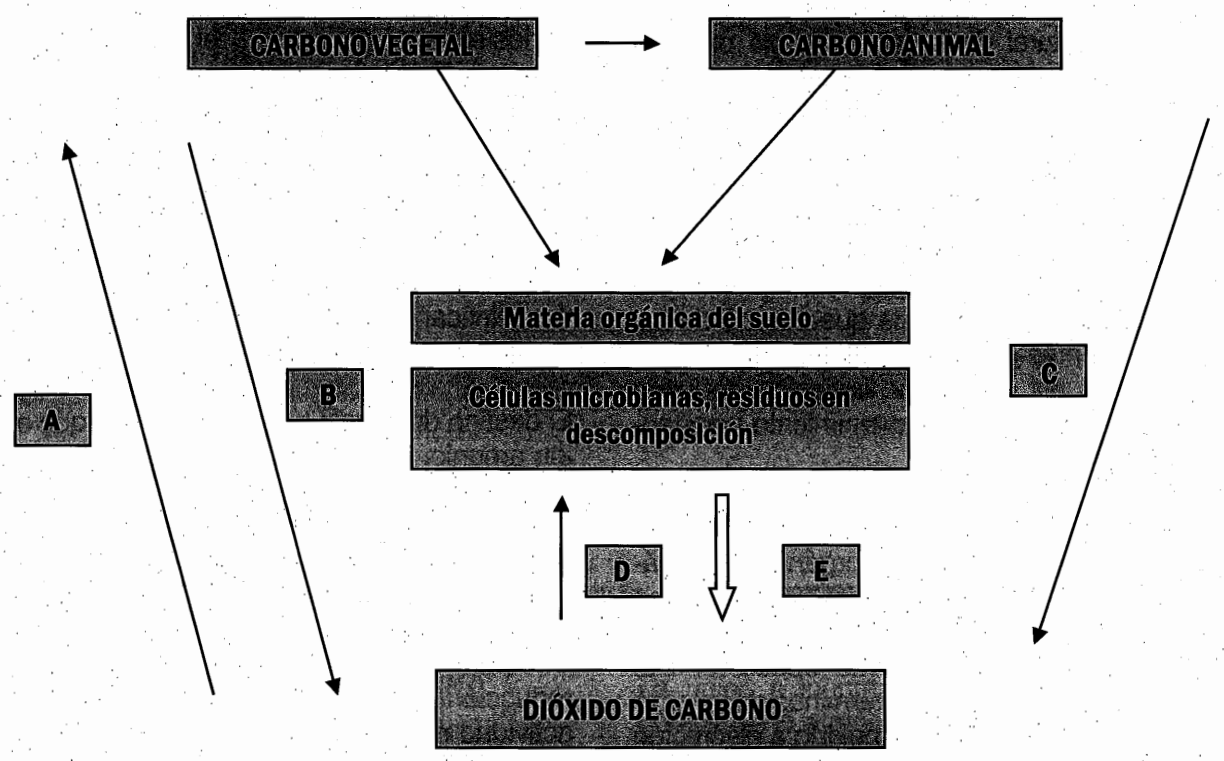
La materia orgánica en el suelo tiene una doble importancia: participa en la estructura del suelo y sirve como suministro de carbono y energía a los organismos que habitan en el suelo.

Los organismos fotosintéticos fijan constantemente el carbono formando compuestos orgánicos con ayuda de la luz solar y una vez que el elemento se ha fijado, no puede utilizarse para

generar nuevas plantas. Para que los organismos superiores sigan proliferando , es necesario que los materiales carbonados sean descompuestos y regresados a la atmósfera.

En sus formas más simples, el ciclo del carbono gira en torno al CO2, su fijación y regeneración. Las plantas verdes utilizan este gas como única fuente de carbono y la materia carbonada sintetizada de esta manera sirve para abastecer al mundo animal con carbono orgánico preformado.

El metabolismo microbiano ocupa el papel principal en la secuencia cíclica después de la muerte de las plantas o animales. Los tejidos muertos son descompuestos y transformados en células microbianas y en amplio conjunto heterogéneo de compuestos carbonados, que se conocen como humus o fracción orgánica del suelo.
El ciclo se completa y el carbono se hace disponible nuevamente, con la descomposición final y la producción de CO2 a partir del humus y tejidos en descomposición.



A. FOTOSÍNTESIS
B. RESPIRACIÓN VEGETAL
C.RESPIRACIÓN ANIMAL
D. MICROORGANISMOS AUTOTRÓFICOS
E. RESPIRACIÓN MICROBIANA

DESCOMPOSICIÓN DE LA MATERIA ORGANICA

Después de la muerte de plantas y animales, corresponde a las comunidades microbianas del suelo la descomposición mayor de la materia orgánica acumulada y la liberación del carbono apresado en las moléculas orgánicas. Ese proceso de transformación hacia formas minerales, es lo que se conoce como mineralización de la materia orgánica. Los niveles de materia orgánica en el suelo pueden ser muy altos, de acuerdo con las características ecológicas de una región, así como las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Enormes cantidades de residuos vegetales compuestos por hojas, ramas rotas, tallos muertos, frutos, flores y raíces se descomponen por la acción de microorganismos para mantener la condición de equilibrio estable entre la asimilación de carbono y la mineralización, los cuales devuelven considerables cantidades de CO2 a la atmósfera.
La hojarasca representa entonces un suministro muy importante de sustrato carbonado para los microorganismos del suelo, y su descomposición transcurre con la participación de numerosos grupos fisiológicos microbianos.
La acumulación en la superficie del suelo de los restos vegetales propicia la actividad de organismos aerobios y anaerobios, que digieren los compuestos más simples rápidamente y no dejan exentos de su acción a los más complejos como la celulosa y la lignina.

CICLO DEL NITRÓGENO

Durante el crecimiento de las plantas, estas requieren de diversos componentes, para poder sintetizar los materiales estructurales y los que conforman su aparato metabólico.

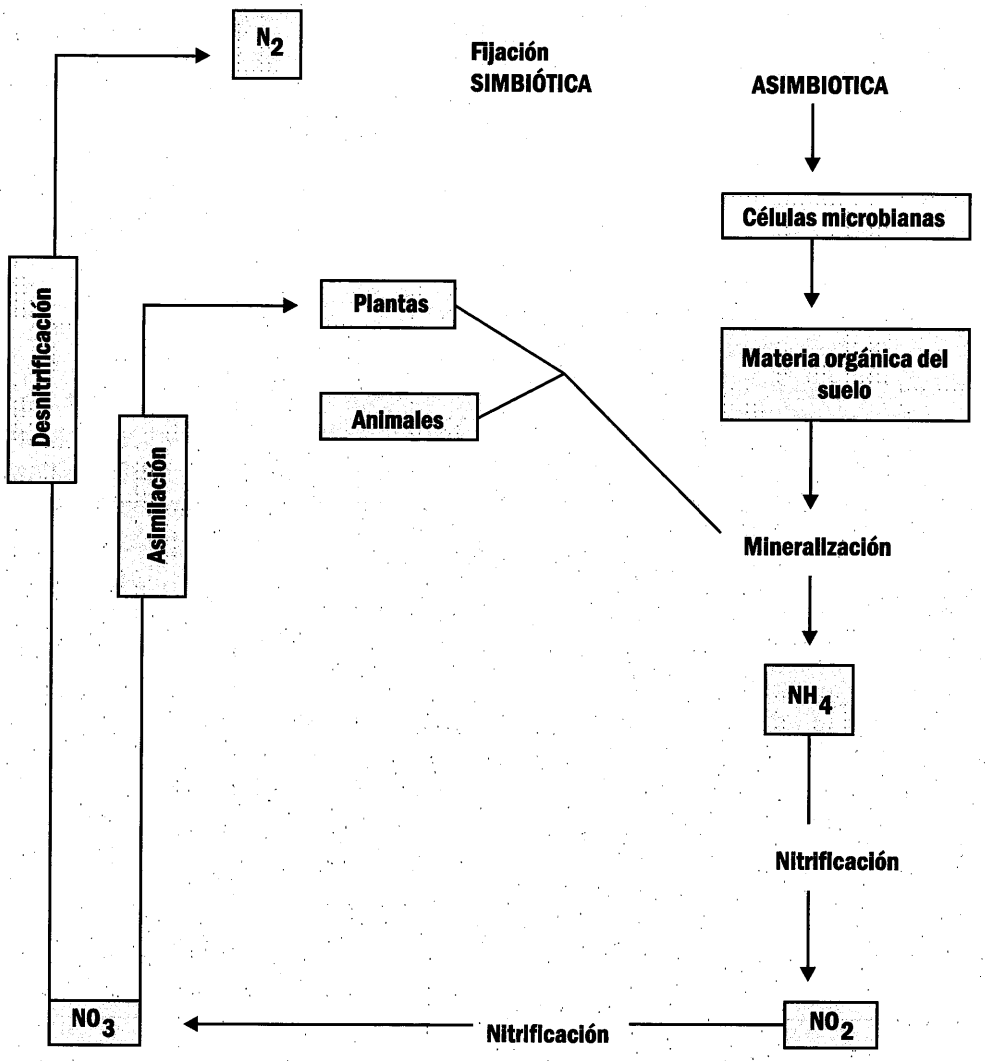
La disponibilidad biológica de nitrógeno, fósforo y potasio es de considerable importancia económica porque son los principales nutrientes vegetales que se derivan del suelo. De los tres, el nitrógeno es el más susceptible a las transformaciones microbianas. Este elemento es la unidad estructural de la molécula de proteína sobre la cual se basa toda la vida y por consiguiente es un componente indispensable del protoplasma de plantas, animales y microorganismos. Debido a la posición crítica del suministro de nitrógeno en la producción de cultivos y en la fertilidad del suelo, una marcada deficiencia reduce la producción y la calidad de las cosechas; y también a causa de que es uno de los pocos nutrientes del suelo que se pierde por la volatilización así como por lixiviación, requiere de una conservación y mantenimiento constantes.

El nitrógeno sufre un número de trasformaciones que involucran a compuestos orgánicos, inorgánicos y volátiles. Estas transformaciones ocurren simultáneamente pero a menudo los pasos individuales efectúan objetivos opuestos. Las reacciones pueden verse en términos de un ciclo en el cual el elemento es manejado a discreción por la microflora. Una pequeña parte del gran reservorio de N2 en la atmósfera es convertido en compuestos orgánicos por algunos microorganismos de vida libre o por una asociación planta – microorganismo que torna al elemento directamente aprovechable por la planta. El nitrógeno presente en las proteínas o ácidos nucleicos de los tejidos vegetales es usado por los animales. En el cuerpo animal el nitrógeno se convierte a otros compuestos simples y complejos. Cuando los animales y las plantas son sujetos a la degradación microbiológica, el nitrógeno orgánico es liberado como amonio que a su vez es utilizado por la vegetación o es oxidado a nitrato. Este último ion puede perderse por lixiviación, servir como nutriente vegetal o puede ser reducido alternativamente a amonio o a N2 gaseoso, que escapa a la atmósfera completando así el ciclo.

De esta manera el nitrógeno que se encuentra en los restos vegetales y animales, y en el humus, constituye una reserva de la que dispone el suelo y que podrá ser utilizado por las plantas solo cuando haya sufrido un proceso de mineralización microbiana. Ese proceso se ha denominado amonificación, ya que durante el mismo, se libera el nitrógeno en su forma amoniacal, como resultado de la actividad de hongos, bacterias y actinomicetos.
La amonificación es un proceso de amplia distribución en el suelo y en el mismo participan numerosos microorganismos diferentes.
Parte del amonio liberado puede pasar a la atmósfera, ser disuelto en el agua del suelo y arrastrado hacia las capas profundas del perfil, o ser absorbido por las raíces de las plantas.

Sin embargo , una porción no menos importante sufre transformaciones protagonizadas por una fracción de la microflora aerobia de suelo. El ion amonio puede además ser oxidado por bacterias nitrificantes específicas hasta nitrato, teniendo como intermediario el anión nitrito.

El destino del nitrato puede ser similar que el del ion amonio, sobre todo en lo que a fenómenos de adsorción se refiere, ya que como se conoce, la forma de nitrato es la mejor asimilada por las plantas. Por otra parte, debido a su alta solubilidad en el agua del suelo, los nitratos son arrastrados por el agua de lavado.
Una parte del nitrógeno nítrico puede sufrir una reducción hasta nitrógeno molecular debido a la actividad microbiana. El nitrógeno transformado a su forma molecular, se pierde a la atmósfera, por lo que el proceso es reconocido como perjudicial a la agricultura.
La reducción del nitrato se lleva a cabo fundamentalmente en condiciones ambientales de escasez de oxígeno para la respiración microbiana y se le denomina bajo el nombre de desnitrificación.



FIJACIÓN BIOLÓGICA DE NITRÓGENO

En el suelo se están produciendo continuamente pérdidas de nitrógeno por diferentes vías, como son el consumo por desnitrificación, o relacionados con la asimilación del elemento por plantas y microorganismos.

La restauración de las pérdidas de nitrógeno del suelo se puede llevar a cabo a través de la fertilización mineral u orgánica, la fijación natural de nitrógeno en forma oxidada como resultado de descargas eléctricas en momentos de tormenta y la fijación biológica llevada a cabo por medio de microorganismos.

El nitrógeno biológico, es decir, aquel que es asimilado por los microorganismos, tarde o temprano será liberado de la estructura orgánica que lo retiene para ser mineralizado y servir como nutriente a las plantas, por lo que se considera como reserva del elemento, que propicia la elevación de la fertilidad del suelo.

La única e inagotable fuente de nitrógeno la constituye la atmósfera en la cual este elemento ocupa alrededor de del 80% de volumen total.

El proceso mediante el cual el nitrógeno atmosférico es reducido a nitrógeno amoniacal e incorporado por ese curso al reservorio de nitrógeno del suelo, sólo es llevado a cabo por bacterias, actinomicetos y cianobacterias.

Los microorganismos pueden ser aerobios o anaerobios, autótrofos o heterótrofos, tener vida libre o estar asociados en simbiosis con otros organismos, como sucede con Rhizobium con plantas leguminosas.

Entre las bacterias de vida libre nitrofijadoras se cuentan géneros miembros de las familias ***Azotobacteraceae, Bacillaceae y Enterobacteriaceae,*** así como bacterias fotosintetizadoras, cianobacterias y bacterias reductoras del sulfato. Los miembros de la familia ***azotobacteraceae*** son típicos nitrofijadores. Dentro de la

familia se han descrito los géneros ***azomonas, Azotobacter, Beijerinkia y Derxia,*** todos organismos aerobios.

En el laboratorio la mayoría de los cultivos de ***Azotobacter*** asimilan no más de 10 mg de nitrógeno molecular por gramo de fuente de carbono utilizada, aunque hay casos en que el ***Azotobacter chroococcum*** fija hasta 15 e incluso hasta 30 mg de nitrógeno por gramo de glucosa utilizada.
Esta especie se aisla de suelos neutros o ligeramente alcalinos con relativa facilidad

Influencias ambientales sobre la nitrofijación asimbiótica

Algunos factores físico – químicos del ambiente del suelo determinan la presencia y actividad de las bacterias nitrofijadoras libres en el suelo.
Estos factores incluyen el contenido y tipo de materia orgánica, el nivel de acidez del suelo, el contenido en sales y la presencia de nitrógeno asimilable. Otros factores importantes son el contenido de agua en el suelo y la temperatura.

Los microorganismos heterótrofos con capacidad para fijar nitrógeno atmosférico pueden utilizar una amplia variedad de compuestos orgánicos simples como fuentes de carbono y energía. Entre otros son utilizados mono y disacáridos, almidón, alcoholes y algunos ácidos orgánicos. Las principales fuentes de energía en los suelos, la celulosa, hemicelulosa y lignina no son directamente utilizables por las bacterias nitrofijadoras, por lo que deben contar con la acción de organismos que desintegren previamente esos complejos polímeros.

Como fuentes asimilables de nitrógeno los organismos fijadores de nitrógeno molecular pueden utilizar fuentes inorgánicas y orgánicas, en particular sales amoniacales, nitratos, urea, aminoácidos y péptidos.

El suministro de oxígeno en el suelo determinará en que medida predominará uno u otro grupo de microorganismos nitrofijadores. Para las bacterias nitrofijadoras aerobias, el oxígeno es muy necesario para llevar a cabo la oxidación de los compuestos orgánicos a fin de obtener la energía que exigen la síntesis celular y la propia reducción del nitrógeno molecular.

El agua es in duda un elemento esencial para el desarrollo de la actividad fisiológica de estos microorganismos por lo que condiciones de desecación son altamente limitantes para que se alcancen grandes poblaciones de fijadores de dinitrógeno.

Entre los elementos esenciales que requieren los microorganismos nitrofijadores está el molibdeno, ya que forma parte de al menos uno de los componentes que constituyen la enzima nitrogenasa.

La acidez del suelo interviene de forma significativa en la distribución de las bacterias nitrofijadoras asimbióticas. La capacidad de estos organismos para fijar el nitrógeno es debilitada con la reacción ácida del medio, usualmente se hallan poblaciones activas de ***Azotobacter*** en suelos con valores de pH por debajo de 5.6 – 5.8.

AZOTOBACTER

De los elementos del suelo el nitrógeno es el más necesario para el desarrollo y sobre vivencia de las plantas , este es el que presenta más transformaciones microbiológicas y por consiguiente el que más comúnmente se encuentra deficiente en el suelo, contribuyendo a la reducción de los rendimientos agrícolas en todo el mundo.

Las principales formas de mantener suficiente nitrógeno en el suelo es mediante la aplicación de fertilizantes nitrogenados y las formas de fijación biológicas, pero debido al alto costo de los fertilizantes nitrogenados, la gran cantidad de energía requerida para su producción y las capacidades subóptimas para su transportación limita su uso en países subdesarrollados, especialmente en comunidades agrícolas pequeñas.

En el mundo la agricultura depende en gran medida del uso de fertilizantes químicos y pesticidas para mantener sus altas producciones agrícolas, sin tener en cuenta los terribles daños que estos pueden ocasionar ya sea afectando el ciclo global del nitrógeno, contaminando las aguas subterráneas y superficiales, incrementando los riesgos de intoxicaciones químicas y aumentando los niveles de óxido nitroso (N2O) atmosférico; el cual es un potente gas invernadero. El uso de nitrógeno sintético en los últimos 40 años ha aumentado de 3.5 millones a 80 millones de toneladas, tanto en países desarrollados como en vías de desarrollo, incrementándose sus costos de producción a más

de $ 20 billones USD anualmente. Para el año 2050 la población mundial se espera crezca el doble de la cifra actual de habitantes, de esta proyección el 90% debe residir en las regiones tropicales o subtropicales de los países en desarrollo de Asia, África y América Latina. Según estos datos, es razonable esperar que la necesidad de fijación de N2 para la producción de alimentos agrícolas para esta fecha también duplique la cifra fijada actualmente. Si esta es suministrada por fuentes industriales, su uso se incrementará en 160 millones de toneladas de nitrógeno por año; lo que requerirá quemar más de 270 millones de toneladas de energía para su producción, sin tener en cuenta la duplicación de las fatales consecuencias que pudieran ocasionar.

Los procesos naturales de fijación biológica del N2 (FBN) juegan un importante rol en la activación de los sistemas agrícolas sustentables por su beneficio ambiental. El incremento de su aplicación puede mitigar la necesidad del uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos con su consiguiente efecto benéfico al ciclo del nitrógeno, el calentamiento global y el saneamiento de las aguas subterráneas y superficiales. Este proceso depende básicamente de la acción de los microorganismos en conjunto con las plantas.

Existen algunas especies de microorganismos que poseen la habilidad de convertir el dinitrógeno atmosférico (N2) a amonio (NH4+) mediante la acción de la enzima nitrogenasa. Estas especies son denominados diazótrofos y requieren de energía para realizar sumetabolismo. Dentro de los diazótrofos capaces de realizar este proceso se encuentran los denominados fijadores de vida libre, los cuales fijan N2 atmosférico sin la cooperación de otras formas vivas, siendo la familia ***Azotobacteriaceae*** la que agrupa uno de los géneros más importantes utilizados en la biofertilización a diferentes cultivos. El género Azotobacter es uno de los microorganismos utilizados como biofertilizantes que más se aplica e investiga en varios países. Sus propiedades beneficiosas se ponen de manifiesto en una gran variedad de hortalizas, granos y viandas, tanto ***Azotobacter*** como ***Azospirillum*** en determinadas condiciones su efecto beneficioso no se debe solamente a la cantidad de N2 atmosférico fijado, sino a la capacidad de producir vitaminas y sustancias estimuladoras del crecimiento (ácido indolacético, ácido giberéli co, citoquininas y vitaminas) que influyen directamente en el desarrollo vegetal.

Las bacterias aerobias de vida libre fijadoras de N2 más conocidas se encuentran formando parte de las familias ***Azotobacteriaceae, Spirillaceae y Bacillaceae***. Del género ***Azotobacter*** se han descrito varias especies: ***A. chroococcum*** (Beijerinck 1901), ***A. vinelandii*** (Lipman 1903), ***A. agilis*** (Beijerinck; Winograsky 1938) y ***A. paspali*** (Döbereiner 1966); sin embargo no todas tienen características perfectamente definidas.

Los microorganismos del género ***Azotobacter*** se describieron por primera vez por Beijerinck en 1901, desde este momento hasta nuestros días, estas bacterias han llamado la atención de numerosos investigadores por su importancia tanto teórica como práctica. La morfología de ***Azotobacter*** ha sido y es, uno de los apartados de estudio más atractivo de este género bacteriano. Así, la citología de estas bacterias no solo se altera por las condiciones ambientales, sino que más bien varía de una forma extrema. Winogradski en 1938 observó que la presencia en el medio de cultivo de compuestos carbonados como el n-butanol daba lugar a la formación de células vegetativas normales, pero en función del periodo de incubación se originaban células cocoides denominadas quistes. Pochon y Tchan en 1948, consideraron a estos quistes como formas de reposo. Más tarde Socolofsky y Wyss en 1962, demostraron la característica de resistencia de estas formas quísticas.
Este género comprende bacterias grandes, levaduriformes, aerobias estrictas, no esporógenas y Gram negativos; son mesófilas y su temperatura óptima de desarrollo es de 30 °C. La eficacia media en relación con el N2 fijado por unidad de azúcar descompuesto es de 5 – 10 g, lo cual se cataloga como bajo. El pH óptimo de crecimiento es de 6 y a niveles inferiores disminuyen las cantidades de N2 fijado y hasta puede inhibirse su actividad metabólica. La capacidad de fijación de N2 por estas bacterias varía considerablemente en dependencia de la composición del medio, su acidez, temperatura y aireación, de la presencia de N combinado, de la naturaleza de las fuentes de carbono, microelementos y de la acción de organismos antagónicos en el medio.

El género ***Azotobacter*** presenta la capacidad de fijar N2 atmosférico cuando en el suelo

existen suficientes cantidades de materia orgánica, ya que en suelos poco fértiles con escaso contenido de materia orgánica no se obtiene efecto agronómico positivo.

El género ***Azotobacter*** presenta alta capacidad de biodegradación, muy especialmente para la oxidación de compuestos fenólicos sustituidos. Este hecho resulta de especial interés, basándose en recientes observaciones que muestran como estas bacterias aumentan su actividad biológica (incluyendo la capacidad fijadora de N2) en suelos agrícolas adicionados de residuos que poseen un alto contenido en sustancias fenólicas, pudiéndose sugerir que estos microorganismos pueden contribuir a la biotransformación de este tipo de residuos cuando se usen como fertilizantes. En este contexto estos diazótrofos están considerados por algunos investigadores como bacterias ciertamente ideales para los procesos de descontaminación de suelos agrícolas con sustancias xenobióticas.

Desde el punto de vista histórico, ***Azotobacter*** es el microorganismo que de una forma más amplia ha sido utilizado en la agricultura. Las primeras aplicaciones de estas bacterias datan de 1902, alcanzando una amplia utilización durante las décadas del 40, 50 y 60, particularmente en los países de Europa del Este.

La aplicación práctica de la inoculación de este diazotrófo ha sido positiva, observándose notables incrementos en los rendimientos en diferentes cultivos. Estos resultados obtenidos, especialmente con la inoculación de ***Azotobacter chroococcum y Azospirillum brasilense***, no deben atribuirse exclusivamente a la ganancia de N2 por las plantas, ya que estos microorganismos en determinadas condiciones su efecto beneficioso se debe fundamentalmente a la capacidad de solubilizar fosfatos y sintetizar sustancias estimuladoras del crecimiento vegetal, tales como, vitaminas y hormonas vegetales que intervienen directamente sobre el desarrollo de las plantas De este modo ***A. chroococcum*** sintetiza tiamina de 50–100 mg g-1 de sustancia celular seca; ácido nicotínico de 200–600 mg g-1 de sustancia celular seca y ácido pantoténico y biotina; ácido indolacético (AIA); ácido giberélico y citoquininas.
La producción de estas sustancias por ***Azotobacter***, se ve influenciada por el estado fisiológico de la bacteria y por la edad de los cultivos, habiéndose demostrado que la presencia de nitrógeno combinado modifica la producción de auxinas y giberelinas. Concretamente la presencia de nitrato inhibe la liberación de auxinas, mientras que en sentido contrario incrementa la producción de giberelinas. La adición de exudados radicales de ciertos cereales colonizados por ***Azotobacter***, determinan aumentos significativos en la producción de auxinas, giberelinas y citoquininas, siendo este efecto más evidente cuando los exudados se obtienen de plantas de más de 30 días de crecimiento.
Además de los compuestos mencionados, estos diazótrofos son capaces de sintetizar sustancias fungistáticas que, al inhibir el crecimiento de los hongos fitopatógenos del suelo, promueven indirectamente el desarrollo de las plantas, especialmente en las etapas tempranas del cultivo. Estos compuestos tienen acción sobre hongos pertenecientes a los géneros ***Fusarium, Alternaria, Penicillium y Rhizoctonia,*** variando su acción antagónica con la cepa bacteriana utilizada. Mediante su acción conjunta, estas sustancias son capaces de estimular la germinación de las semillas y acelerar el crecimiento de las plantas siempre y cuando sea adecuada la concentración de organismos en la rizosfera de las plantas.
El efecto de la inoculación con ***Azotobacter chroococcum*** sobre la germinación y crecimiento de plántulas de tomate ***(Lycopersicon esculentum)*** en suelos Ferralíticos Rojos resulta coincidente para todas las variedades analizadas. La población de plántulas por m2 aumentó entre 36% y 78% respectivamente, así como la altura se incrementó en 34% y 96% y el diámetro del tallo entre 37% y 100%. El número de hojas aumentó entre 22% y 42% y el peso seco de 50 plántulas entre 38% y 27.6%. Estos resultados indican la posibilidad de acortar el periodo que transcurre entre la siembra del semillero y el momento en que las plántulas están aptas para el transplante.

Las cepas de acuerdo con su efectividad estimuladora, no influye en su procedencia, al quedar incluidas cepas aisladas de un mismo tipo de suelo en grupos diferentes; sugiriendo que debe prestarse atención a la capacidad de adaptación de las cepas de distintos tipos de suelos, así como su poder de multiplicación en determinadas condiciones, que a su lugar de origen.

Varios son los cultivos en los cuales la aplicación de *Azotobacter chroococcum* como biofertilizante ha resultado satisfactoriamente positiva. Se han realizado trabajos experimentales en condiciones semicontroladas en viveros de café *(Coffeea arabica)*, demostrando que con el uso de Azotobacter chroococcum hay una mejor uniformidad en las posturas de este cultivo, así como un mayor vigor de las mismas, las cuales en el momento de la extracción del vivero hacia el campo presentaban un color uniforme en su sistema radicular, características de posturas sanas, vigorosas y con alto valor ecológico. En el cultivo de la yuca *(Manihot esculenta)* al analizar la respuesta a la fertilización nitrogenada y su combinación con biofertilizantes en el en suelo Ferralítico Rojo hidratado, demostraron que los mejores resultados se obtuvieron con la combinación biofertilizante-fertilización mineral, destacándose *Azotobacter* como biofertilizante.

VENTAJAS DE LA APLICACIÓN DE Azotobacter AL SUELO

- Acortamiento del período de semillero, obteniéndose plántulas vigorosas que pueden trasplantarse en menor tiempo.
- Aceleración de la floración y la fructificación y aumento del número de flores y frutos.
- Acortamiento del ciclo total de cultivo.
- Frutos y bulbos con mayor peso y diámetro.
- Incremento de los rendimientos .
- Ahorro del fertilizante nitrogenado recomendado en las normas técnicas de varios cultivos.
- Capacidad de permanecer vivas varios años y reproducirse en el suelo, con lo que potencian la regeneración de los suelos de manera gradual.
- Generan enzimas y otros factores que favorecen la solubilización de fosfatos y oligoelementos, favoreciendo la asimilación por la planta.
- Aceleran el crecimiento de las plantas y raíces, ya que generan fitohormonas como el ácido indolacético y citoquininas.
- Son totalmente inofensivas para el ser humano y medio ambiente, y aptas para su uso en agricultura ecológica y producción integrada.
- Fáciles en su forma de aplicación.

CONCLUSIONES:

- **Es una fuente de nitrógeno natural y favorece la solubilización de fosfatos:** Fija el nitrógeno presente en la atmósfera, de manera que quede accesible para la planta y favorece la solubilización de fosfatos y oligoelementos. Permite ahorro en fertilizantes nitrogenados.
- **Acelera el crecimiento de plantas y raíces:** Permite la liberación de citoquininas, auxinas y giberelinas como producto del metabolismo del *Azotobacter*. Estas fitohormonas son potenciadoras de la germinación y estimuladoras del crecimiento.
- **Es un suplemento vitamínico para sus plantas:** El grupo de las vitaminas C y B juegan un papel importante en la salud de las plantas. *Azotobacter* fabrica y provee suplementos de estas vitaminas en la zona de las raíces.
- **Actúa como método de protección contra enfermedades:** Azotobacter produce antibióticos, que pueden ayudar a prevenir el establecimiento de patógenos, durante el período más vulnerable de la planta.
- De lo antes expuesto quedan demostradas las ventajas y beneficios de la aplicación de Azotobacter como biofertilizante. Su utilización permite complementar la nutrición de la planta y lograr rendimientos satisfactorios.
- Cabe destacar que cualquier producto que pretenda manipular las poblaciones microbianas del suelo con vistas a su uso óptimo desde el punto de vista tanto vegetal como edáfico debe tener en cuenta los factores que afectan la interacción microorganismo-planta-suelo, por tanto es importante el uso de microorganismos autóctonos.
- En resumidas cuentas, reducir el uso de fertilizantes nitrogenados para potenciar el nitrógeno que toma el cultivo por sistemas naturales de fijación de nitrógeno es deseable, tanto desde el punto de vista económico como medio ambiental.

CICLO DEL AZUFRE

El azufre, lo mismo que otros macroelementos como carbono, nitrógeno, oxígeno e hidrógeno resulta esencial para la nutrición de todos los seres vivos ya que integra moléculas orgánicas importantes para la vida como aminoácidos y vitaminas.

En el suelo, se ha determinado que la mayor concentración de azufre se halla localizada en la fracción orgánica, donde se puede acumular entre el 75 y el 80% del elemento procedente de los restos animales y vegetales.

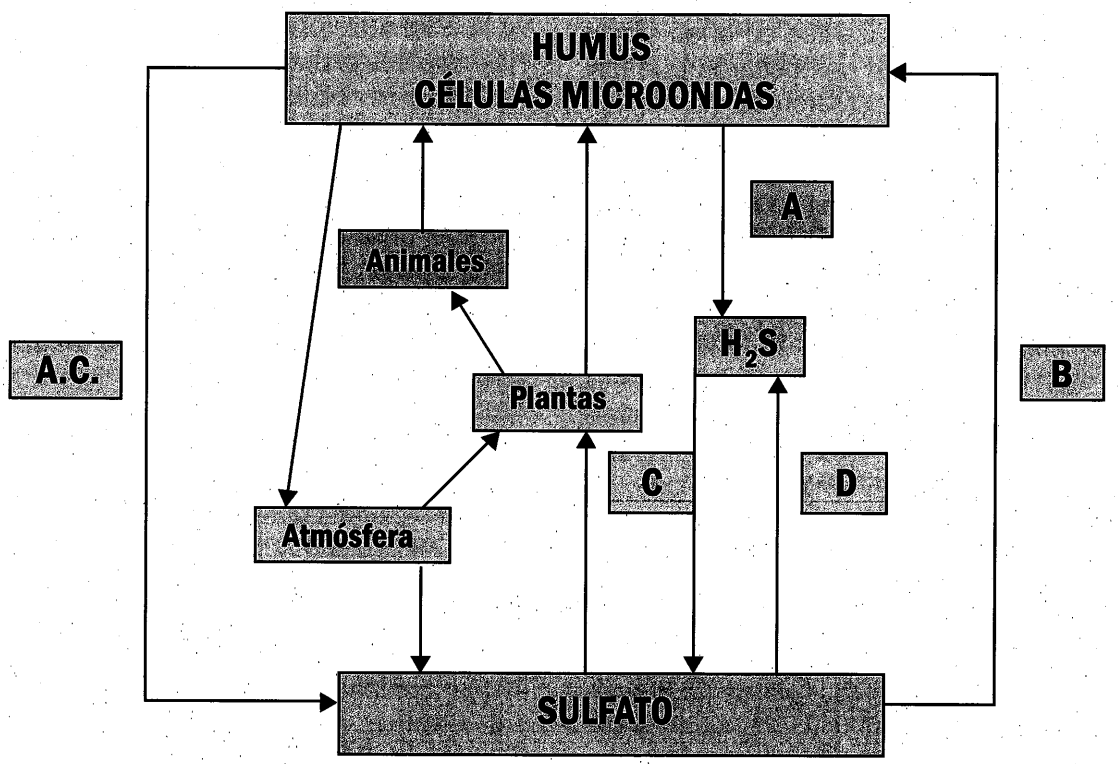
Las formas minerales y orgánicas del azufre en los suelos están sujetas a una serie de transformaciones, las cuales influyen sobre la actividad microbiana y están determinadas en gran medida por condiciones ambientales. Dichas

transformaciones comprenden la mineralización de moléculas orgánicas azufradas y la movilización por la microflora del suelo del elemento al integrarlo a la célula.

Las plantas superiores obtienen el azufre necesario para su nutrición en forma de sulfatos, aunque se estima que también pueden asimilarlo en forma de aminoácidos. El azufre se incorpora al suelo en forma de residuos vegetales, desechos animales, fertilizantes químicos y agua de lluvia. El elemento también se encuentra como sulfuro en varios minerales primarios.

Ocasionalmente el azufre elemental es deliberadamente agregado para el control de algunos patógenos de plantas o para la corrección de suelos alcalinos. La cantidad de compuestos volátiles de azufre que se reincorporan a la superficie de la tierra varía considerablemente.

El azufre contenido en la materia orgánica del suelo y que entra al mismo en forma de residuos vegetales y desperdicios animales, es una de las fuentes más importantes del elemento para la nutrición vegetal pero tiene que sufrir una mineralización previa donde sea transformado en su forma asimilable.



CICLO DEL FÓSFORO

El fósforo se encuentra en el suelo, plantas y microorganismos en cierto número de compuestos orgánicos e inorgánicos. Después del nitrógeno es el segundo de los nutrientes inorgánicos requeridos tanto por plantas como por microorganismos; su principal función fisiológica radica en algunos pasos esenciales en la acumulación y liberación de energía durante el metabolismo celular. Este elemento puede agregarse al suelo en forma de fertilizantes químicos o puede ser incorporado como hojarasca, residuos vegetales o restos animales. De esta manera el fósforo ocupa una posición crítica, tanto en el crecimiento vegetal como en la biología del suelo.

Los microorganismos llevan a cabo cierto número de transformaciones del elemento. Estas incluyen:

1. alteración de la solubilidad de compuestos inorgánicos de fósforo
2. mineralización de compuestos orgánicos con la liberación de fosfato inorgánico
3. conversión del anión inorgánico aprovechable en componentes celulares, proceso de inmovilización análogo al que ocurre con el Nitrógeno.
4. llevar a cabo una oxidación o reducción de compuestos inorgánicos de fósforo.

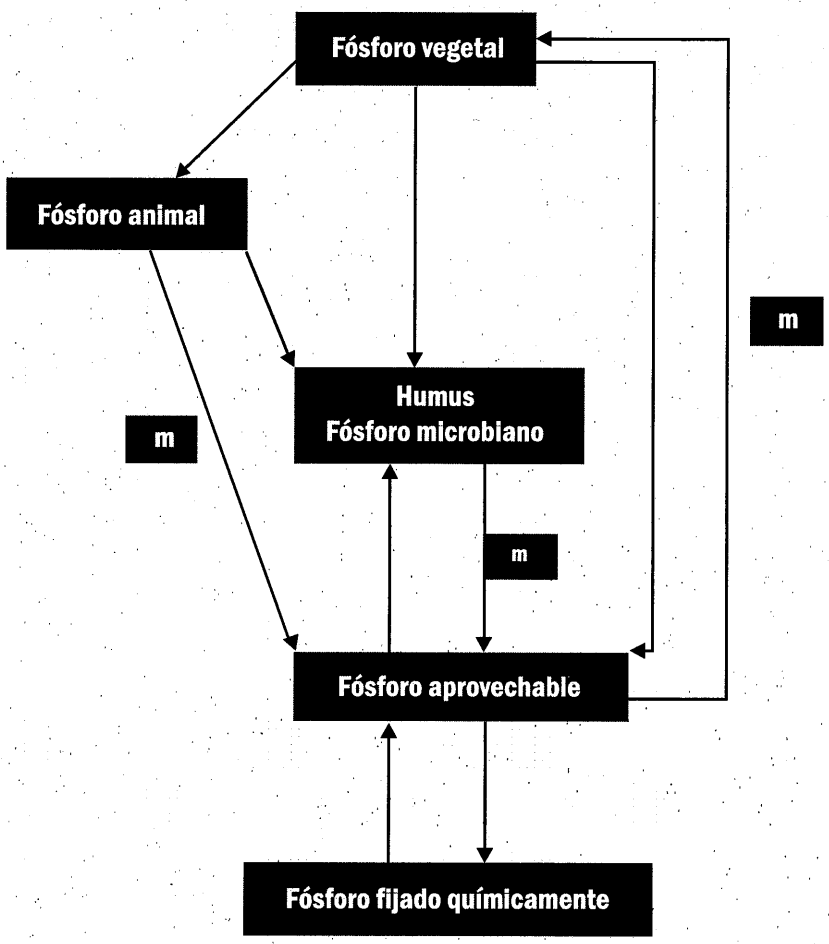
La mineralización microbiana y las reacciones de inmovilización son de particular importancia para el ciclo del fósforo en la naturaleza. La disponibilidad del fósforo, así como la del nitrógeno está determinada en cierto grado por la continua

interrelación de estos procesos.

Como antes fue mencionado las transformaciones del fósforo en el suelo forman un ciclo en el cual los iones ortofosfato se fijan intensamente por medios físicos, químicos y biológicos y donde las pérdidas del elemento como resultado del arrastre o la volatilización a la atmósfera son insignificantes o no tienen lugar en absoluto. De ese modo los procesos claves dentro del ciclo son la descomposición de la materia orgánica y la disolución del fósforo inorgánico.

La circulación del fósforo en la naturaleza está gobernada por los microorganismos, los cuales participan en la disolución y transformación del elemento en combinaciones asimilables por las plantas y también en la fijación temporal o asimilación del mismo.

Las transformaciones biológicas que pueden sufrir los compuestos del fósforo en los suelos pueden tener varios orígenes y están determinados por las condiciones agrofísicas, agroquímicas y agrobiológicas que incidan sobre el suelo en un momento dado.



m. mineralización del fósforo

CICLO DEL HIERRO

A pesar de que el hierro es un elemento menos requerido para el crecimiento de plantas y microorganismos, su presencia en forma utilizable en el suelo es muy importante, ya que está presente en diversas reacciones enzimáticas en los que hay trasferencia de electrones. Esto se debe al hecho de poseer dos estados de oxidación, que son hierro en forma ferrosa (Fe^{2+}) y como catión férrico (Fe^{3+}). De ese modo, en las reacciones de oxidación – reducción, el elemento cambia su carga en uno u otro sentido, según el carácter del paso en que se halle involucrado, lo cual se pone en evidencia en diferentes tipos de reacciones llevadas a cabo por microorganismos. Estas transformaciones no se van a comportar de un modo cíclico, como ocurre con el carbono y otros macroelementos, sino que se detecta en el suelo por la aparición de compuestos en los cuales el hierro se halla con diferentes estados de oxidación.

En los habitats terrestres el hierro es bastante abundante, sin embargo, no es extraño que se presente en formas no asimilables por las plantas, lo que puede llegar a producir deficiencias en la nutrición de las mismas. La pobreza de hierro en el suelo se muestra en las plantas entre otras formas como una clorosis, que se refleja sobre todo en las hojas jóvenes.

Diferentes minerales presentes en el suelo, contienen hierro en su composición. También se halla en óxidos e hidróxidos del metal. En la fracción coloidal el hierro se halla en forma de hidróxido, parte de los cuales entra en interacción con los ácidos húmicos del suelo y con el óxido de silicio, dando lugar a complejos coloidales órgano – minerales y ferrosilícicos. De modo que en el suelo, el hierro puede hallarse en su forma insoluble tanto en minerales como fijado a las partículas arcillosas de manera tal que no está disponible al intercambio.

La solubilidad del elemento y por tanto su disponibilidad para la nutrición vegetal está relacionada con la reacción del suelo. La acidez incrementa la movilidad del catión en el suelo, mientras que un exceso de carbonato de calcio, la disminuye.

En los procesos de solubilización o precipitación del hierro también participan los microorganismos, los cuales a través de diferentes vías son capaces de variar el estado del hierro en el suelo. Esas vías de trasformación del hierro son:

1. oxidación o reducción del elemento.
2. precipitación del hierro contenido en sales orgánicas solubles.
3. solubilización del hierro.

TRANSFORMACIONES DE OTROS ELEMENTOS

En el suelo los microorganismos metabolizan los elementos de numerosas maneras. Generalmente la microflora es activa en la interconversión de los diferentes estados de oxidación de elementos que existen en el suelo en más de un estado de valencia, siempre y cuando no sea impedida por toxicidad. Ya que uno o mas iones pueden no estar disponibles o aún ser tóxicos para los cultivos agrícolas. Las transformaciones inorgánicas pueden ejercer efectos importantes sobre el desarrollo vegetal. Más aún algunas de las transformaciones pueden dar origen a productos más o menos móviles que sus precursores, de manera que puede aumentarse o disminuirse el movimiento de un elemento a través del suelo. Además el proceso puede producir sustancias con mayor o menor toxicidad para el hombre que las moléculas o los iones transformados. Recientemente se a hecho más agudo el problema de la toxicidad debido a que los niveles de algunos elementos en el suelo se han aumentado marcadamente, ya que están presentes en pesticidas, fertilizantes comerciales, cal o aguas municipales de desecho aplicados al suelo.

MOVILIZACIÓN DEL POTASIO

Uno de los cationes principales que las plantas deben obtener del suelo es el potasio. Debido a que frecuentemente la cantidad que se encuentra en el suelo es inadecuada, el elemento es uno de los macronutrientes que se proporcionan en fertilizantes químicos. A pesar de la importancia potencial de las transformaciones de este elemento en la agricultura, se sabe poco acerca de las conversiones del potasio que pueden ser realizadas por los habitantes microscópicos.

El potasio es retenido con facilidad por los constituyentes del suelo pero las diferentes reacciones se encuentran definidas inadecuadamente. Una parte de la reserva del elemento en el suelo es soluble, mientras que una gran parte esta combinada en la estructura de varios minerales, donde no es intercambiable. Las fuentes externas de potasio son los fertilizantes agrícolas y los tejidos vegetales y animales. En los residuos de cultivos, el elemento no está unido fuertemente en combinación orgánica, de manera que la actividad microbiana no es importante para la liberación de potasio durante la descomposición de la materia orgánica como lo es durante la mineralización de nitrógeno o azufre combinados. Más aún en sistemas biológicos, el elemento existe solamente en estado monovalente por lo que no existe ninguna de las oxidaciones y reducciones inorgánicas que caracterizan las transformaciones microbiológicas de nitrógeno, azufre y hierro.

Sin embargo, la microflora influye sobre el nivel de potasio aprovechable. El catión es solubilizado mediante la liberación de ácidos orgánicos o inorgánicos que reaccionan con los minerales que contienen potasio. Alternativamente, el elemento desaparece a través de la asimilación necesaria para la formación de nuevas células

microbianas. Aunque una parte puede liberarse durante la descomposición de restos vegetales, aproximadamente dos tercios del potasio de las plantas no están unidos fuertemente y se disuelven inmediatamente en el agua, de manera que solo cerca de un tercio de la cantidad total requiere de la intervención microbiana para su liberación. Solamente esta parte del potasio que se encuentra en compuestos orgánicos necesita ser liberada biológicamente. La producción de ácido es el mecanismo principal para la solubilización del potasio insoluble de los minerales.

OXIDACIÓN BIOLÓGICA DEL MANGANESO

El manganeso es un micronutriente esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas superiores. Debido a que el elemento existe en varios estados de oxidación de diferente disponibilidad para las plantas, es de considerable importancia la capacidad de la microflora para transformar el manganeso. Este elemento se encuentra en el suelo en forma tetravalente y en forma de ion manganeso divalente. Se sabe que las plantas asimilan la forma manganosa divalente, mientras que el ión mangánico tetravalente probablemente no se utiliza. El catión intercambiable, Mn++, es soluble en agua, mientras que el Mn+4 es insoluble y se encuentra característicamente en óxidos mangánicos, como MnO2. La forma trivalente también se encuentra en la naturaleza y una parte importante del elemento puede combinarse en complejos orgánicos.

De las dos especies iónicas principales, el ion que predomina está en función del pH. Cuando el pH es menor a 5.5 el manganeso se encuentra en forma de Mn++ . Cuando el pH es mayor que 8.0 el Mn++ es inestable y es oxidado a óxidos mangánicos. Debido a que los óxidos mangánicos no son asimilados asocian con deficiencias del elemento. Por debajo de pH 8.0 hay poca oxidación química del manganeso divalente, siendo característico el proceso de autooxidación de Mn a bajas concentraciones del ion hidrógeno. A valores intermedios entre un pH de 5.5 y de 8.0 se torna evidente el predominio del fenómeno microbiológico.

BACTERIAS IMPORTANTES EN LA AGRICULTURA

BACTERIAS PGPR

Un papel importante para las plantas juegan las bacterias benéficas del suelo, ya que al asociar se con ellas les permiten, por una parte, aumentar su crecimiento y desarrollo y, por otra, las protegen contra otros organismos del suelo que causan enfermedades. Ecológicamente, a esta relación benéfica entre las bacterias y las plantas se le denomina "mutualismo", el cual se define como la condición en la que dos seres vivos de diversas especies viven juntos habitualmente (pero no necesariamente), con beneficio recíproco para el hospedero (planta) y el simbionte (bacteria).

La mayoría de estas asociaciones ocurren al nivel de la rizosfera; que se define como toda aquella porción de suelo que está fuertemente influenciada por las raíces de las plantas, la cual a su vez se divide en tres partes: rizoplano (microorganismos pegados a la raíz), endorrizosfera (microorganismos dentro de la raíz) y ectorrizosfera (microorganismos que actúan de manera circundante a la raíz). Dicha asociación se inicia como respuesta al llamado "efecto rizosférico", el cual sucede a través de un intercambio de señales que se disparan a partir de la interacción microbio-planta, con resultados claramente benéficos para los dos.
Cerca del 40% del carbono fijado en la fotosíntesis, en la parte aérea de la planta, puede ser excretado a la rizosfera, lo que afecta positivamente a la mayoría de las bacterias que ahí habitan, las cuales se nutren de los exudados de las raíces que emiten las plantas, como azúcares, vitaminas, factores de crecimiento, ácidos orgánicos, glúcidos y mucigel.

Kloepper definió en 1978 a un tipo de bacteria como PGPR (por sus siglas en inglés, que significan plant growth promoting rhizobacteria, o rizobacteria promotora del crecimiento vegetal), la cual mostró ser un organismo altamente eficiente para aumentar el crecimiento de las plantas e incrementar su tolerancia a otros microorganismos causantes de enfermedades. En años recientes se ha creado cierta controversia respecto de cuándo considerar a una rizobacteria como PGPR, por lo que se han establecido algunas características que definen a este grupo. En primer lugar, que tengan una elevada densidad poblacional en la rizosfera después de su inoculación en las plantas, ya que una población que declina rápidamente tiene una baja capacidad competitiva con la microflora nativa del suelo. Después, que posean capacidad de colonización efectiva en la superficie de la raíz y, como consecuencia,

puedan influir positivamente en el crecimiento de la planta. Además, que puedan controlar de manera natural y eficiente a otros microorganismos del suelo capaces de enfermar a las plantas; y por último, que no produzcan daño en el hombre. La aplicación de este tipo de rizobacterias ha dado como resultado la promoción evidente del crecimiento en plantas, observándose un incremento en la emergencia, vigor, biomasa, desarrollo en sistemas radiculares e incrementos de hasta 30% en la producción de cultivos de interés comercial.

Influencia de las rizobacterias en el crecimiento

La promoción del crecimiento en las plantas inoculadas con rizobacterias ocurre por varios factores; uno de ellos es por la síntesis de ciertas sustancias reguladoras de crecimiento, como giberelinas, citocininas y auxinas, las cuales estimulan la densidad y longitud de los pelos radicales, aumentando así la cantidad de raíces en las plantas, lo que incrementa a su vez la capacidad de absorción de agua y nutrimentos y permite que las plantas sean más vigorosas, productivas y tolerantes a condiciones climáticas adversas, como las heladas o las sequías.

Otro factor importante por el cual las rizobacterias ayudan a las plantas es que existen ciertas especies que las hacen nutrirse mejor; por ejemplo, las Pseudomonas spp., las cuales, al solubilizar algunos nutrimentos poco móviles del suelo, como el fósforo, mejoran el ingreso de este macronutrimento hacia la planta, lo que se traduce en una mayor cantidad de biomasa. Otras especies, como Rhizobium spp. y Bradyrhizobium spp., aumentan el aporte de nitrógeno, influyendo directamente en el crecimiento, desarrollo y rendimiento. Recientes investigaciones demuestran que existen algunos mecanismos indirectos que influyen en el crecimiento y desarrollo de las plantas, como la producción de ciertos metabolitos que, al funcionar como antagónicos de microorganismos perjudiciales, hacen que las plantas se desarrollen en un ambiente idóneo libre de patógenos y tengan un mayor crecimiento y desarrollo.

Las rizobacterias como control natural de agentes patógenos

Rizobacterias como las del género Pseudomonas spp., suprimen numerosos fitopatógenos del suelo, tales como bacterias, hongos, nematodos y virus, mismos que pueden llegar a reducir las cosechas de forma espectacular en los cultivos establecidos tanto en invernadero como en campo. Las vías de control que estos organismos ejercen se dan a través de diversos mecanismos de defensa que involucran la producción de compuestos bacterianos, como sideróforos, ácido cianhídrico (HCN) y antibióticos. Incluso se ha comprobado que las rizobacterias inducen en algunos casos un sistema de resistencia en las plantas que hace que puedan tolerar el ataque de diversos patógenos del suelo al mismo tiempo.

Patógeno	Cultivo
Bacterias	
Erwinia carotora	Papa
Erwinia tracheiphila	Pepino
Hongos	
Phytophora spp	Soya, papa
Pythiun spp	Trigo y lechuga
Rhizoctonia solani	Algodón, papa y cacahuate
Sclerotium rolfsii	Tomate
Verticillum dahliae	Papa
Colletotrichum orbiculare	Pepino
Fusarium oxysporum	Pepino, papaya, jitomate
Alternaria	Manzana
Nematodos	
Onconomella xenoplax	Melocotón
Heterodera glycines	Soya
Meloidogyne incógnita	Algodón, pepino, cacahuate y tomate
Virus	
Virus del mosaico	Pepino
Virus del mosaico	Tomate

El hierro es un elemento esencial para el crecimiento de la mayoría de los microorganismos que habitan en el suelo debido a su función en la reacción enzimática de óxido-reducción que utilizan para su crecimiento y desarrollo, por lo que es importante para ellos contar siempre con fuentes constantes de este nutrimento. Algunas rizobacterias aplican cierta estrategia para tratar de asimilar este elemento cuando se encuentran en el suelo en pequeñas cantidades: producen una sustancia de bajo peso molecular afín al ion Fe+, denominado sideróforo, mismo que se encarga de atraparlo, impidiendo que esté disponible para otros microorganismos que carezcan del sistema de asimilación, lo que asegura que sea el único capaz de utilizarlo, ejerciendo así el control biológico de enfermedades importantes, tales como ***Fusarium sp., Pythium sp., Rhizoctonia sp. y Phytophtora sp.***

Otro compuesto producido por estos microorganismos es el ácido cianhídrico (HCN), que juega un papel muy importante en el control biológico de los agentes patógenos del suelo.
Sin embargo, estas sustancias, producidas en grandes cantidades, pueden alterar considerablemente la actividad fisiológica de la planta y llevarla a su muerte. En los últimos años se ha demostrado que la producción en pequeñas cantidades de HCN por las rizobacterias inducen un sistema de resistencia en las plantas que las lleva a producir ciertos metabolitos que las ayudan directamente a tolerar el ataque de algunos patógenos del suelo y de las hojas. Con relación a la producción de antibióticos, entre los casos más comunes de rizobacterias productoras de estas sustancias están las ***Pseudomonas fluorescens y P. putida***, las cuales tienen la capacidad de sintetizar algunos compuestos que causan la muerte de aquellos microorganismos (principalmente hongos) que entren en contacto con ellas.

El uso a gran escala de estos microorganismos como biofertilizantes en cualquier sistema de producción agrícola traería grandes beneficios, puesto que son más baratos que los de origen inorgánico, tienen efectos positivos en las plantas (similares a los de un fertilizante químico) y no ejercen un impacto ecológico perjudicial en el ambiente ni en la salud humana.

Pseudomonas fluorescens

Las enfermedades de plantas causadas por patógenos juegan un papel muy importante en la disminución de recursos agrícolas. El control biológico de dichos patógenos mediante microorganismos antagonistas, ofrece una alternativa atractiva frente al uso de compuestos químicos o de plantas transgénicas, que actualmente provocan rechazo en la sociedad. Entre los microorganismos con capacidad de biocontrol cabe destacar cepas bacterianas de ***Pseudomonas putida y Pseudomonas fluorescens.*** Diversos estudios demuestran que la eficacia del control biológico por estas bacterias depende en gran medida de su capacidad de colonizar eficientemente la rizosfera de las plantas.

Pseudomonas fluorescens ha sido utilizada ampliamente en el control de patógenos, sin embargo se caracteriza por ser Promotor de Crecimiento Vegetal (PGPR), ha sido definida como bacteria habitante de la raíz que estimulan significativamente el crecimiento de plantas.

El mecanismo de acción de ***Pseudomonas fluorescens*** como PGPR es el siguiente:

- Mecanismos indirectos: los metabolitos producidos por ***P. fluorescens*** pueden funcionar como determinantes antagónicos, involucran aspectos de control biológico, suprimen o inhiben el crecimiento de microorganismos perjudiciales para el desarrollo de la planta, vía producción de sideróforos, antibióticos, acción de enzimas líticas quitinasas y glucanasas, que actúan sobre la pared de los hongos o cubiertas de los insectos, etc., además de la inducción de una resistencia sistémica, de toda la planta, a virus, bacterias y hongos.

- Mecanismos directos: ocurren cuando los metabolitos producidos por algunas cepas de rizobacterias son utilizados como reguladores de crecimiento o precursores de éstos por parte de la planta. Ligada a la promoción del crecimiento aparece la producción de hormonas: auxinas, giberelinas, citoquininas, etileno, auxinas, etc las cuales estimulan la densidad y longitud de los pelos radicales, aumentando así la cantidad de raíces en las plantas, lo que incrementa a su vez la capacidad de absorción de agua y nutrimentos y permite que las plantas sean más vigorosas, productivas y tolerantes a condiciones climáticas adversas, como las hela

das o las sequías. Otro factor importante por el cual ***P. fluorescens*** ayuda a las plantas es que las hacen nutrirse mejor; ya que solubilizan algunos nutrimentos poco móviles del suelo, como el fósforo, mejoran el ingreso de este macronutrimento hacia la planta, lo que se traduce en una mayor cantidad de biomasa.

La conjunción de ambos mecanismos de acción ha dado como resultado la promoción evidente del crecimiento en plantas; se ha observado un incremento en la emergencia, el vigor y el peso de plántulas, un mayor desarrollo en sistemas radiculares y un incremento hasta de 30% en la producción de cultivos de interés comercial.

La colonización de la raíz se considera un requisito importante para que el microorganismo asociado ejerza su función. La colonización y la supervivencia dependen de factores físicos, químicos y biológicos tan importantes como el pH, la textura del suelo, disponibilidad de nutrientes, humedad, temperatura, presencia de materia orgánica, competencia con otros microorganismos por la ocupación del mismo nicho, y el propio "quorum sensing", fenómeno tan de actualidad, y que se entiende como el control que cada microorganismo tiene sobre su propia población manteniéndola a través de un intercambio de señales dentro de unos límites determinados.

En este conjunto, no hay que olvidar la materia orgánica que tiene una importancia clave en la nutrición. Su presencia, además de mejorar las características físicas del suelo, es imprescindible para la vida microbiana y de su transformación se van a derivar compuestos directamente asimilables por las plantas y otros que van a facilitar la solubilización y movilización de muchos nutrientes.

HONGOS ENTOMOPATOGENOS

Al igual que los insectos benéficos, parasitoides y predadores, los entomopatógenos son alternativas que existen en forma natural y que el hombre puede utilizar para la regulación de las plagas. Los microorganismos entomopatógenos son aquellos que causan enfermedades en los insectos y ácaros dañinos, los cuales finalmente mueren. Están representados principalmente por bacterias, hongos, virus y nematodos.

Todos estos microorganismos se hallan en mayor o menor cantidad en el ambiente, suspendidos en el aire, sobre las plantas, animales y si se dan las condiciones favorables de temperatura y humedad en relación con una población alta del insecto dañino, pueden llegar a producir enfermedades y disminución masiva de la población plaga en zonas determinadas, lo que se conoce con el nombre de epizootia.

Refiriéndonos a los hongos entomopatógenos, se describen como: microorganismos que producen enfermedades y la muerte a los insectos dañinos. Cuando las esporas o conidias de los hongos entomopatógenos entran en contacto con la piel de los insectos, se adhieren fuertemente y germinan, iniciando un proceso de penetración de las cutículas por acción de varias enzimas. Después de romper la piel pasan al interior del insecto (hemocelo) y comienza su crecimiento vegetativo, similar al de una raíz (micelios), consumiendo proteínas y nutrientes al tiempo que produce toxinas que aceleran la muerte del insecto. La invasión del micelio del hongo en el interior del cuerpo del insecto produce trastornos fisiológicos y daños en el sistema muscular y nervioso, paralizándolo y endureciendo su cuerpo hasta ocasionarle la muerte. Todo esto ocurre entre uno y siete días, pero el insecto deja de alimentarse desde el primer día que es infectado por el hongo.

Cuando las condiciones ambientales de humedad, temperatura y luminosidad son favorables, los insectos muertos por los hongos se tornan rígidos o momificados, manifestándose en muchos casos crecimientos algodonosos de varios colores, desde el blanco puro, crema y anaranjado hasta el lila y verde, dependiendo de la especie de hongo que haya atacado al insecto.

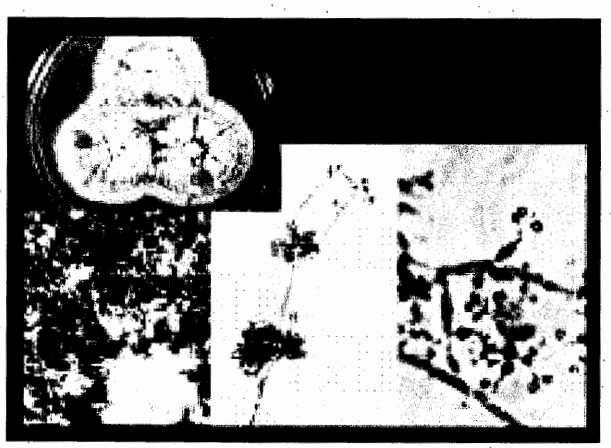
Las etapas en el desarrollo de un hongo entomopatógeno se pueden simplificarse en 10 pasos:

1. Adhesión al tegumento.
2. Germinación del conidio.
3. Penetración por la cutícula.
4. Multiplicación en el hemocele.
5. Producción de toxinas.
6. Muerte del hospedero.
7. Colonización.
8. Emergencia del micelio fuera del hospedero.
9. Esporulación del hongo.
10. Diseminación.

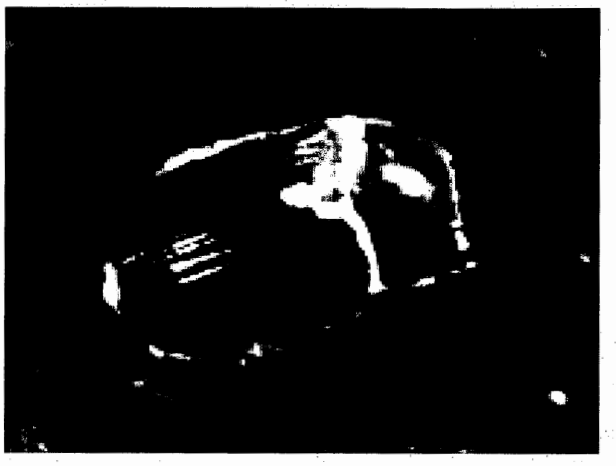
Metarhizium anisopliae

Reino	*Myceteae*
División	*Amastigomycota*
Sub división	*Deuteromycotina*
Clase	*Hyphomycetidae*
Orden	*Moniliales*
Familia	*Moniliaceae*
Género	*Metarhizium*
Especie	*anisopliae*

Las colonias de ***M. anisopliae*** se presentan blancas cuando son jóvenes, pero al madurar el color se torna verde oscuro. El micelio de este hongo es septado donde aparecen conidióforos característicos agrupados sobre un extremo globoso, las fiálides se observan empalizadas de forma cilíndrica, aplastada en la base, sus conidios se disponen en cadenas compactas paralelas que se forman en cada conidióforo, y la adherencia de éstos al hospedante varía con la raza del hongo, son cilíndricos, unicelulares y de dimensiones variables, generándose por empuje, siendo el más joven el de la base.







Beauveria bassiana

Clase: *Deuteromicetes*

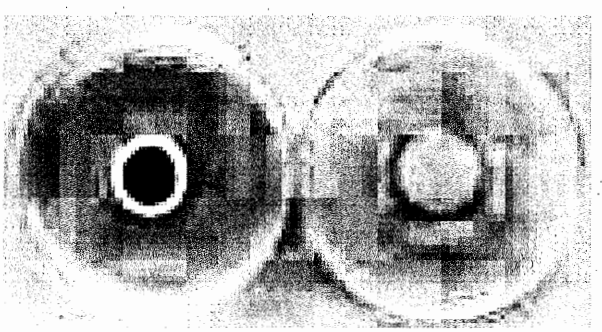
Orden: *Hyphomycetes*

Género: *Beauveria*

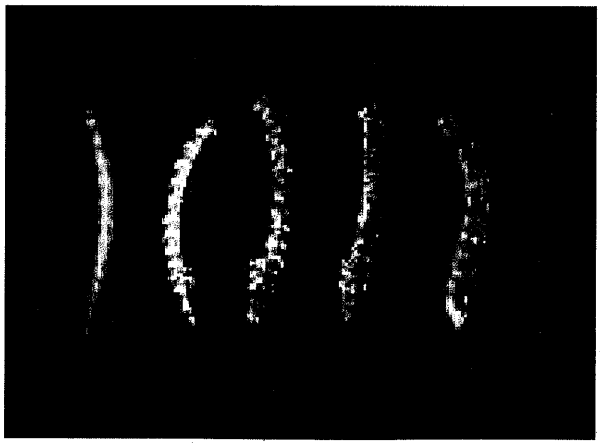
Especie: *bassiana*

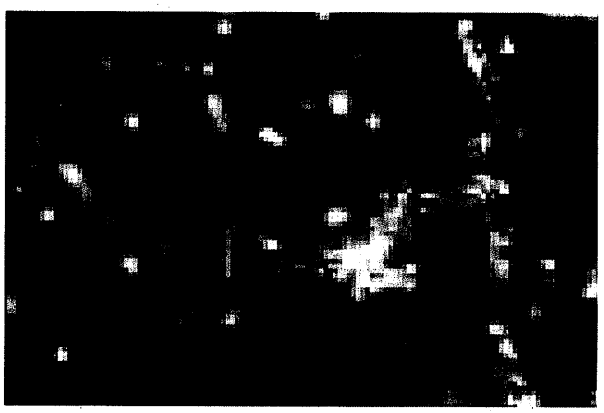
Beauveria bassiana, hongo entomopatógeno, causa efectos permanentes en las poblaciones de insectos plaga de importancia económica y es utilizado ampliamente como agente de control biológico en programas de manejo integrado, infecta a más de 200 especies de insectos, entre los que se destacan los del Orden: Coleoptera, Lepidotera y Homoptera y ataca a todos los artrópodos.

B. bassiana presenta células conidiogenas en forma de botella con una parte basal hinchada que termina en zig-zag. Generalmente es asociado con el término Muscardina Blanca ya que el micelio y los conidios cubren el cuerpo o los espacios articulares con una capa de color blanco. Su mecanismo de acción es contra insectos que causan daño en los cultivos, a los mismos que les causa parálisis intestinal y septicemia.











M. anisopliae se encuentra ampliamente distribuida por todo el planeta y se señalan unas 300 especies de insectos dañinos atacados por este entomopatógeno, los cuales se ubican en diferentes órdenes taxonómicos. Ha sido mayormente aislado de insectos de áreas mediterráneas y tropicales sobre Homopteros, Coleopteros y Lepidopteros. La infección puede producirse por vía oral, a través de los espiráculos y de forma particular a través de la superficie del tegumento. En el modo de acción de M. anisopliae se denotan dos fases: una patogénica y otra saprofítica.

La fase de patogénesis ocurre cuando los conidios entran en contacto con el tejido vivo del hospedante. El hongo penetra a través de la cutícula por acción mecánica y efectos enzimáticos. Enzimas como las quitinasas, la proteasas y la lipasas, actúan de manera sinergística para digerir y penetrar la epicutícula. La invasión del hemocele y tejidos se produce a través de cuerpos hifales entre las 24 y 48 horas siguientes. A este hongo se le conoce como el causante de la muscardina verde por producir en los insectos parasitados un micelio verde externo característico.

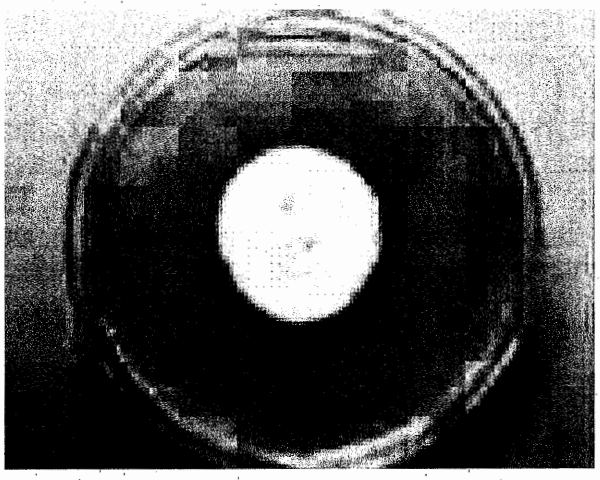
Verticillium lecanii

Verticillium lecanii es un hongo común descrito por primera vez en 1861. Pertenece a la clase Deuteromycetes, encontrándose ampliamente repartido en áreas templadas y tropicales. Ha sido observado en varios grupos de agentes fitófagos, particularmente en áfidos, cochinillas, mosca blancas, arañas, ácaros, trips y nematódos, y también como saprofito, e incluso hiper parásito sobre royas. Actualmente este entomopatógeno es comercializado como organismo beneficioso para el control de áfidos y moscas blancas.

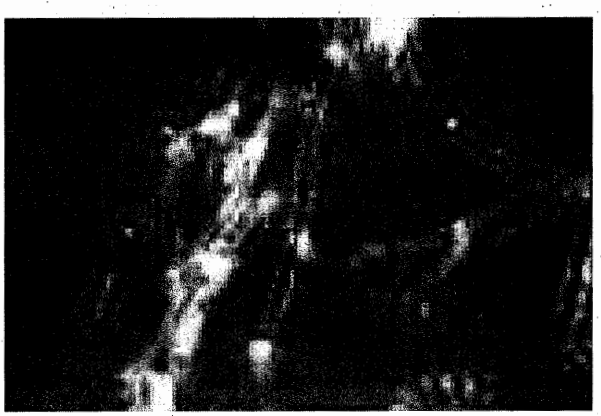
Se caracteriza por la formación de micelio septado con producción de conidias de aproximadamente 0.5 a 0.8 micras de diámetro o formas de reproducción asexual, en conidióforos que nacen a partir de hifas ramificadas.

V. lecanii es parásito facultativo, el cual posee conidias que constituyen la unidad infectiva del hongo. El proceso infectivo que lleva al insecto atacado por el hongo a morir se cumple en tres fases: La primera fase de germinación de esporas y penetración de hifas al cuerpo del huésped

dura de 3 a 4 días. La penetración del hongo en el huésped ocurre a través de la cutícula o por vía oral. Cuando la penetración se da por la cutícula intervienen lipasas, quitinasas y proteasas. El tubo germinativo de la conidia invade directamente, produciendo apresorios que penetran la epicutícula, dando lugar a cuerpos hifales, los cuales se desarrollan en el hemocele y circulan en la hemolinfa.







La patogenicidad del hongo sobre los insectos depende de una compleja relación entre la habilidad del hongo para penetrar la cutícula y la fortaleza del sistema inmonológico del insecto para prevenir el desarrollo del hongo. Esta relación se debe a factores muy concretos incluidos las diferencias cuticulares, la penetración cuticular y las reacciones inmunes. El desarrollo del hongo sobre el insecto puede ser influenciado por la eficacia de los hemocitos en encapsular y melanizar el patógeno. Casi siempre los hematocitos se agregan al lugar de la penetración cuticular, formando algunas veces nódulos alrededor de las esporas inyectadas. En el interior de los insectos la germinación usualmente procede de esporas que están fuera de la agregación de hematocitos, pero para que se desarrollen siempre deben de estar afuera del agregado.

La segunda fase es la invasión de los tejidos por parte del micelio del hongo hasta causar la muerte del insecto, dura de 2 a 3 días. Durante el proceso de invasión del hongo se producen una gran variedad de metabolitos tóxicos. El ***Verticillium lecanii*** produce metabolitos secundarios, como son: ácidos hidroxicarboxílicos, ácido dipicolínico, fenilalanina anhidra, 2,6 dimetoxi-P-Benzoquinona, aphidicolina, ácido picolínico. Los síntomas de la enfermedad en el insecto son la pérdida de sensibilidad, incoordinación de movimientos y parálisis. Cuando el insecto muere queda momificado. Algunas veces se pueden presentar zonas de pigmentación localizadas que corresponden a los sitios de penetración de las conidias en el tegumento.

Finalmente sigue la tercera fase, la esporulación y el inicio de un nuevo ciclo. El micelio del hongo se observa primero en las articulaciones y partes blandas de los insectos y en días posteriores se incrementa a todo el cuerpo hasta finalmente cubrirlo. Tras la muerte del insecto y bajo unas condiciones de humedad relativa alta las conidiosporas pueden extenderse a través del cuerpo cubriéndolo con material fungoso característico. En el caso de las moscas blancas, las larvas y pupas muertas son de color amarillo pálido a oscuro, rugosas y ya sin brillo, y pasado un tiempo puede verse una pelusa fúngica blanca sobre los insectos afectados.





HONGOS ANTAGONISTAS O MICOPATOGENOS

Al igual que los microorganismos entomopatógenos también existen en la naturaleza algunos hongos benéficos que impiden el desarrollo de los hongos o nematodos causantes de enfermedades en las plantas. Estos reguladores naturales, llamados antagonistas, pueden también ser utilizados para prevenir el crecimiento de las poblaciones de fitopatógenos.

Durante los pasados 25 años pocas áreas de investigación dentro de la fitopatología han atraído más interés que el uso de la introducción de microorganismos para el control de fitopatógenos. El gran interés despertado por el control biológico de patógenos de plantas es una respuesta en gran parte a la creciente preocupación de la sociedad acerca del uso de pesticidas químicos. El gobierno de muchos países está cada día más consciente de la problemática de muchos pesticidas químicos en términos de su impacto en el medio ambiente, así como en los agricultores y los consumidores de productos agrícolas.

Los microorganismos antagonistas actúan a través de diversos mecanismos que incluyen la competencia por los nutrientes, el hiperparasitismo y la antibiosis. Cuando los microorganismos

se emplean en el control de malezas el efecto puede estar relacionado tanto por la acción patógena del propio microorganismo como por sus toxinas. Estos mecanismos de acción determinan las condiciones de reproducción ya que es indispensable que el microorganismo en su desarrollo no pierda las potencialidades como control del blanco al que esta destinado.

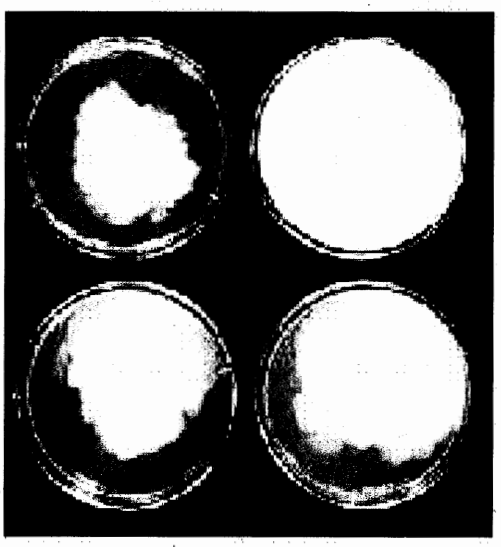
Sin embargo, antes de que el control biológico llegue a ser un componente importante en el manejo de enfermedades de plantas, éste debe ser efectivo, confiable, consistente y económico. Para alcanzar estos criterios, se deben desarrollar cepas superiores junto con sistemas de aplicación que incrementen la actividad biocontroladora, Los atributos existentes de control biológico pueden ser incrementados mejorando agentes de biocontrol conocidos, a través de su manipulación genética. Esta puede no sólo incrementar su actividad sino extender su espectro de acción. Además, podemos pensar en los microorganismos con actividad inhibitoria contra patógenos de plantas como fuentes potenciales de genes de resistencia a enfermedades. Es importante resaltar que, además de la actividad antagónica, un buen agente de control.

Trichoderma spp.

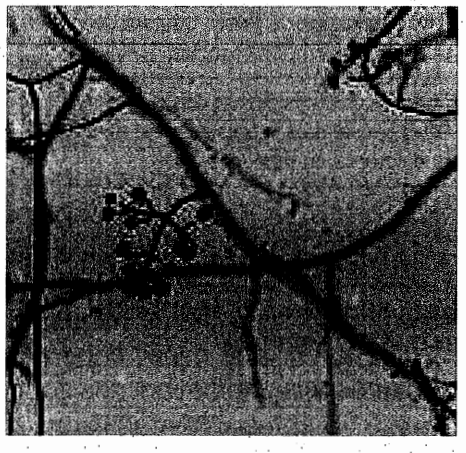
El género ***Trichoderma*** fue descrito por Person hace 200 años; es un hongo anamórfico distribuido ampliamente a nivel mundial; colonizador secundario, debido a su frecuente aislamiento de suelos ácidos ricos en materia orgánica y de materia orgánica en descomposición, también es encontrado sobre la superficie de raíces de varias plantas y sobre propágulos de otros hongos a su vez es un microorganismo ubicuo fácil de aislar y cultivar, de crecimiento rápido en diferentes sustratos, tienen la habilidad de producir metabolitos de capacidad antibiótica y son parásitos frente a un amplio número de hongos patógenos.

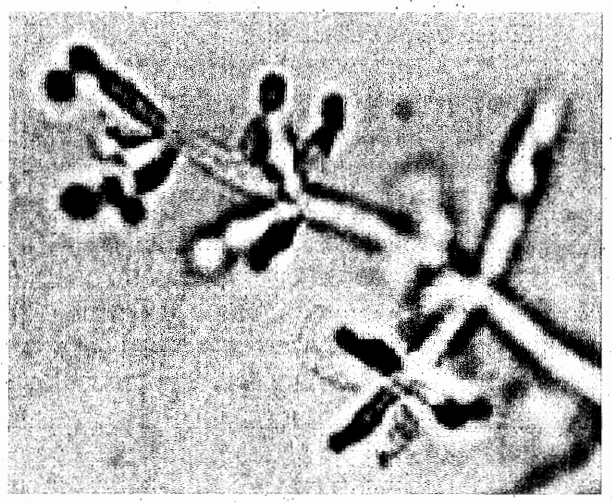
Reino:	*Fungi*
División:	*Eumycota*
Subdivisión:	*Deuteromycotina*
Clase:	*Hyphomicetes*
Orden:	*Hyphales*
Familia:	*Moniliaceae*
Género:	*Trichoderma*
Especies:	*Trichoderma harzianum, T. viride, T. koningii, T. hamatum*

La colonia presenta un crecimiento rápido, formando micelio de color verde amarillento o verde oscuro sobre la superficie del agar, debido a la conidiación que presenta a través de su desarrollo. Sus colonias en un principio son lisas y algunas veces blancas; posteriormente se presenta crecimiento de micelio de color verde, conformando una red densa, responsable del pigmento característico.



Las especies de ***Trichoderma*** presentan conidioforos complejos y altamente ramificados en forma piramidal o cónica, dando origen a esterigmas con extremos ahusados. La longitud de las hifas laterales a la hifa principal se incrementa regular y proporcionalmente con la distancia del ápice. Al microscopio, las fiálides se observan más estrechas en la base que en la parte superior, permitiendo una buena correlación entre el sistema de ramificación del conidioforo y la disposición las fiálides.





Todos los hongos imperfectos presentan cuatro etapas fisiológicas importantes, que incluyen, latencia, germinación, multiplicación vegetativa y conidiogénesis.

- **Latencia:** En esta etapa los conidios del hongo se encuentra en un estado de no germinación ya que están en un medio de cultivo de conservación. No tiene ningún cambio fisiológico hasta que se presentan las condiciones para dar inicio a la segunda etapa.

- **Germinación de conidios:** Es un proceso en donde los conidios debido a las condiciones favorables en el ambiente, generan estructuras nuevas como el tubo germinal. Los conidios germinales se miden con base en criterios morfológicos al presentar un diámetro superior al de una espora.

- **Multiplicación vegetativa:** Es la tropofase, la fase de multiplicación de del micelio en el cual se desarrollan diversas ramificaciones del mismo produciéndose biomasa.

- **Conidiogénesis:** Es una sucesión de eventos internos en las células del micelio, dando origen a la formación y liberación de conidiosporas, esta etapa puede ser inducida o inhibida dependiendo de la composición del medio de cultivo en cuanto a la concentración de la fuente de carbono o de nitrógeno.

La mayoría de especies de este género son fotosensibles, esporulando rápidamente sobre sustratos naturales y artificiales, en patrones anulares concéntricos en respuesta a la alternancia diaria de la luz y oscuridad, con producción de conidios durante el período luminoso. La máxima actividad fotoinductiva se encuentra entre los 380 nm y 440 nm rango visible, no ocurriendo esporulación bajo los 245 nm.

Trichoderma spp tiene diversas ventajas como agente de control biológico, pues posee un rápido crecimiento y desarrollo, a parte de esto produce una gran cantidad de enzimas, inducibles con la presencia de hongos fitopatógenos. Puede desarrollarse en una amplia gama de sustratos, lo cual facilita su producción masiva para uso en la agricultura. Su gran tolerancia a condiciones ambientales extremas y a hábitats donde los hongos causan enfermedad le permiten ser eficiente agente de control, de igual forma puede sobrevivir en medios con contenidos significativos de pesticidas y otros químicos.

Además su gran variabilidad se constituye en un reservorio de posibilidades de control biológico bajo diferentes sistemas de producción y cultivos.

Se ha demostrado que ***Trichoderma*** actúa contra un amplio rango de hongos fitopatógenos transmitidos por suelo y aire. ***Trichoderma*** ha sido usado contra pudriciones en un amplio rango de especies, causadas por ***Fusarium, Rhizoctonia, Pythium***, y patógenos formadores de esclerocios como ***Sclerotinia y Sclerotium***. Probablemente la enzima más interesante del complejo sea la endoquitinasa Ech42 ya que es capaz de hidrolizar in vitro paredes celulares de ***Botrytis cinerea.***

Se puede decir que el micoparasitismo por ***Trichoderma*** es un proceso complejo que incluye una serie de eventos sucesivos. La primera señal de interacción detectable muestra un crecimiento quimiotrópico de ***Trichoderma*** en respuesta a algún estímulo en la hifa del huésped o hacia un gradiente de químicos producidos por el mismo. Cuando el micoparásito hace contacto físico con su huésped, sus hifas se enrollan alrededor de este o se le adhieren por medio de estructuras especializadas. Además, se ha demostrado que la interacción de ***Trichoderma*** con su huésped es especifica y que está controlada por lectinas presentes en la pared celular de éste. Como un paso posterior a estas interacciones el micoparásito penetra al micelio huésped, degradando aparentemente de manera parcial su pared celular. Observaciones al microscopio han permitido sugerir que Trichoderma produce y secreta enzimas micolíticas responsables de la degradación parcial de la pared celular de su huésped. Algunos resultados que apoyan esta hipótesis han mostrado que ***Trichoderma*** produce extracelularmente glucanasas, quitinasas, lipasas y proteasas.

Algunos fitopatógenos controlados por *Trichoderma spp.*

HONGOS CONTROLADOS POR *Trichoderma* spp.	ENFERMEDAD	CULTIVO
Armillaria spp	Pudrición de raíces	Frutales
Botrytis cinerea	Moho gris	amplio rango de cultivos como: papa, tomate, fríjol, fresa, mora, flores, tomate de árbol y pudriciones en postcosecha.
Colletotrichum gloeosporioides	Antracnosis	amplio tango de cultivos como: arveja, papa, tomate, fríjol, fresa, mor, flores, tomato de arbol y pudriciones en postcosecha.
Cylindrocladium scoparium	Volcamiento	Pino
Fusarium moniliforme	Pudrición	Maíz
Fusanum oxysporum	Marchitamientos vasculares	papa, tomate, fríjol, tomate de árbol, banana, arveja, maíz, clavel, entre otros.
Macrophomina phaseolina	Carbón de las raíces.	Maíz, fríjol, melón , ajonjolí.
Phytophthora infestans	Gota	Papa, pepino de agua
Phytophthora spp	Pudricion	Tabaco, flores, frutales, etc.
Pythium spp	Pudrición algodonosa, volcamiento	Amplio rango de cultivos.
Rhizoctonia solani	Pudrición algodonosa, volcamiento	zanahoria, tomate, lechuga, repollo, café, papa, arveja, cebolla, ajo, pimentón, etc.
Sclerotinia sclerotiorum	Pudrición algodonosa, volcamiento	habichuela, tomato, lechuga, repollo, café, papa, arveja, cebolla, ajo, pimenton, etc.
Rosellinia bunodes	Llaga estrellada	
Rosellinia necatrix	Pudrición blanca de raices	Aguacate, manzano
Verticillium spp.		Papa

Fuente: Adaptado de: Herrera-Estrella y Carsolio, 1998 y Chet and Inbar, 1994.

Trichoderma spp. toma nutrientes de los hongos (a los cuales degrada) y de materiales orgánicos ayudando a su descomposición, por lo cual las incorporaciones de materia orgánica y compostaje lo favorecen; también requiere de humedad para poder germinar, la velocidad de crecimiento de este organismo es bastante alta, por esto es capaz establecerse en el suelo y controlar enfermedades.

Las conidias son el principal componente viable de la masa de ***Trichoderma***, por lo que cualquier producto en base a este organismo debe contener la mayor proporción de estas en su formulación.

A parte de su facilidad para colonizar las raíces de las plantas, ***Trichoderma*** ha desarrollado mecanismos para atacar y parasitar a otros hongos y así, aprovechar una fuente nutricional adicional. Harman. 2001 reporta varios mecanismos demostrados recientemente, con los cuales ***Trichoderma*** actúa como biocontrolador y como colonizador de las raíces, como son:

1. Micoparasitismo.
2. Antibiosis.
3. Competición por nutrientes y espacio.
4. Desactivación de las enzimas de los patógenos.
5. Tolerancia al estrés por parte de la planta, al ayudar al desarrollo del sistema radicular.
6. Solubilización y absorción de nutrientes inorgánicos.
7. Resistencia inducida.

De estos, los primeros cuatro mecanismos mencionados tienen acción hongo fitopatógeno, los otros son indirectos, ya que su acción es elicitar o impulsar mecanismos de defensa fisiológicos y bioquímicos de la planta.

1. Micoparasitismo

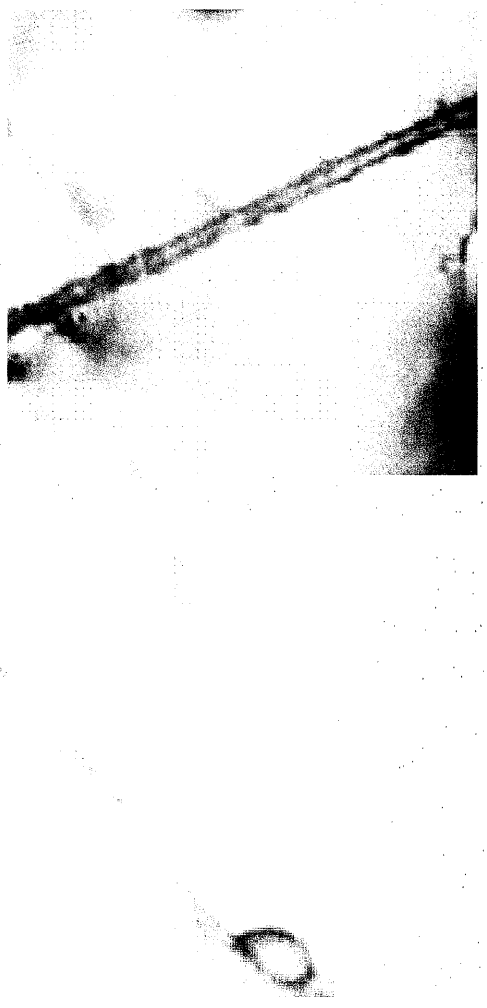
El Micoparasitismo es el fenómeno por el cual un hongo coloniza a otro, cubriendo una gran cantidad de eventos en este tipo de interacción.
En el micoparasitismo son varias las enzimas producidas por ***Trichoderma spp.*** capaces de hidrolizar las paredes celulares de numerosos hongos. Estas enzimas incluyen endoquitinasas, proteasas, exoglucan-b-1,3 glucosidasas, endoglucan-b-1,6 glucosidasas, etc. Estas enzimas son inducidas por los diferentes polímeros componentes de la pared de distintas estructuras de los hongos diana u objetivo. Este proceso puede ser dividido en cuatro sucesos principales:

- **Crecimiento quimiotrófico:**
Donde exudados del patógeno atraen a ***Trichoderma spp.***

- **Reconocimiento:**
Algunos aislamientos de ***Trichoderma spp.*** son específicos a algunos fitopatógenos, y es en esta etapa donde el fenómeno de especificidad de ataque se define. Esta etapa es mediada por lecitinas.

- **Adhesión:**
Una vez ***Trichoderma spp.*** ha reconocido al patógeno lo envuelve y se adhiere a las hifas cubriéndolo totalmente.

- **Degradación:**
El paso final es la degradación de la pared celular del hongo fitopatógeno por medio de la producción de enzimas como proteasas y endohidrolasas.



Hifas de ***Trichoderma spp.*** envolvimiendo hifas de ***Rizopus spp.***

2. Antibiosis

Esta ocurre cuando hay producción de metabolitos tóxicos o antibióticos de un organismo con acción directa sobre otro. Muchos microorganismos tienen la capacidad de producir antibióticos en cultivos puros, lo cual es la más fuerte evidencia de la posible acción de este tipo de compuestos como mecanismo de ataque de ***Trichoderma spp.*** bajo condiciones de campo. No obstante para este hongo en particular la producción de metabolitos está fuertemente ligada a la producción de enzimas propias del proceso de micoparasitismo.

3. Competencia

Esta ocurre cuando dos o mas organismos demandan un mismo recurso vital. La competencia entre agentes de control biológico y el fitopatógeno puede resultar en control biológico por aniquilación de la población perjudicial, y puede darse favor de ***Trichoderma spp.*** Debido a su alta frecuencia de crecimiento y desarrollo.

BENEFICIOS DE LA APLICACIÓN DE Trichoderma spp AL SUELO

La aplicación de ***Trichoderma*** para el control de enfermedades tiene varias ventajas:

- ***Trichoderma*** ofrece un control eficaz de enfermedades de plantas.
- Posee un amplio rango de acción.
- Este hongo está propagándose en el suelo, aumentando sus poblaciones y ejerciendo control duradero en el tiempo sobre hongos fitopatógenos.
- Este hongo ayuda a descomponer materia orgánica, haciendo que los nutrientes se conviertan en formas disponibles para la planta, por lo tanto tiene un efecto indirecto en la nutrición del cultivo.
- Varios estudios demuestran que ***Trichoderma*** estimula el crecimiento de los cultivos porque posee metabolitos que promueven los procesos de desarrollo en las plantas.
- Puede ser aplicado en compostaje o materia orgánica en descomposición para acelerar el proceso de maduración de estos materiales, los cuales a su vez contendrán el hongo cumpliendo también función de biofungicida.
- Favorece la proliferación de organismos benéficos en el suelo, como otros hongos antagónicos.
- No necesita plazo de seguridad para recolección de la cosecha.
- Preservación del medio ambiente al disminuir el uso de funguicidas.
- Economía en los costos de producción de cultivos.
- Ataca patógenos de la raíz ***(Pythium, Fusarium, Rhizoctonia)*** y del follaje (Botritis y Mildu) antes que puedan ser los detectados y evita el ataque de ***(Phytophtora).***
- Previene enfermedades dando protección a la raíz y al follaje.
- Promueve el crecimiento de pelos absorbentes y raíces alimenticias. Mejorando la nutrición y la absorción de agua.
- Disminuye o elimina la dependencia de fumigantes químicos.
- No se ha registrado ningún efecto fitotóxico.

Hay que tener en cuenta que un solo método de control no basta para erradicar una enfermedad de forma eficaz y duradera, es necesario integrar varias prácticas. Ninguna de estas por si sola abarca todos los aspectos que deben considerarse para obtener un cultivo sano y económicamente rentable.

HONGOS NEMATICIDAS

Los nematodos son animales invertebrados del Subreino Metazoario, o sea que son multinucleares y conformados por tejidos con una organización y funciones definidas. Físicamente son de forma alargada y cilíndrica, asemajándose a un gusano o lombriz. En la mayoría de los casos el ancho del cuerpo equivale a un 5% de su longitud y de allí su parecido con las lombrices, y cuando esto sucede se dice que el nematodo es vermiforme. Tales nematodos son ágiles y tienen buena capacidad de locomoción.

El cuerpo de los nematodos presenta generalmente simetría bilateral, la cual permite distinguir el lado dorsal del ventral, pero se manifiesta también la simetría hexarradial en la cabeza, que queda dividida en seis sectores denominados labios. Carecen de sistema respiratorio, circulatorio y endocrino.

Los nematodos afectan a las plantas mediante daños mecánicos directos que producen en ellas en el momento de alimentarse. Algunas especies de nematodos se alimentan con gran rapidez, sin embargo hay otros que lo hacen de una manera mas lenta, inyectando saliva en

forma intermitente mientras se están alimentando; el proceso de alimentación hace que las células vegetales afectadas reaccionen causando la muerte o el debilitamiento de las yemas y puntas de la raíz, la formación de lesiones y degradación de los tejidos, hinchamientos, agallas, tallos y follaje retorcidos y deformados.

Existen en la naturaleza hongos benéficos que atacan a nematodos produciéndoles la muerte y evitando de esta manera el daño a los cultivos.

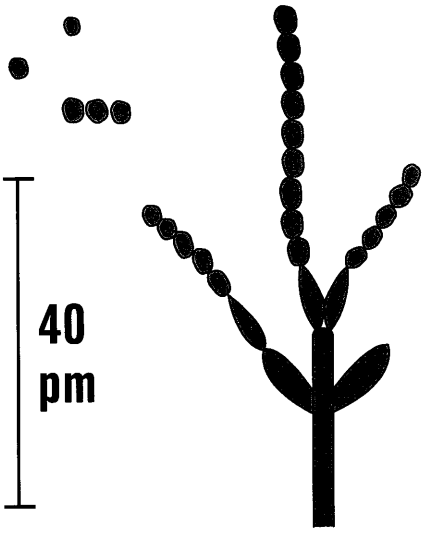
Paecilomyces lilacinus

Subfamilia: *Hyalosporae*
Familia: *Moniliaceae*
Orden: *Moniliales (Hyphomycetes)*
Clase: *Deuteromycetes (hongo imperfecto)*
División: *Eumycota*
Género: *Paecilomyces*
Especie: *Lilacinus*

Características generales.

- Nutrición por digestión externa y absorción.
- Talo unicelular (levuriforme) o un micelio bien desarrollado.
- Cuerpos polares presentes.
- Flagelos y centríolos ausentes.
- Reproducción asexual por gemación, frag mentación (artrosporas), esporangiosporas o conidios.
- Reproducción sexual, cuando se conoce, por zigosporas, ascosporas o basidiosporas.

Los conidióforos del genero ***Paecilomyces*** son: ramificados, agrupados o irregulares. las conidias se encuentran agrupadas en forma de cadena. ***P. lilacinus*** presenta un rápido crecimiento de sus hifas. El Conidióforo presenta grupos de ramificaciones laterales, cada una de las cuales presenta de 2 a 4 divisiones ovaladas antes de las conidias. Estas ultimas, tienen una longitud de 2.5-3.0 μm y de 2.0-2.2 μm de ancho; presentan coloración lila.
En caso de vibración o movimientos de aire, estas conidias se liberan en grandes cantidades, es por esto que el hongo se propaga efectivamente.





La facultad que posee para parasitar huevos de nematodos, también se ve algunas veces o se expresa sobre nematodos en estados libres o móviles, o sobre hembras sedentarias, pero es mas agresivo sobre los huevos.
Es por lo anterior que este hongo ***P. lilacinus***, se utiliza con resultados exitosos para la protección de plantas como antagonista de nematodos, tales como ***Meloidogyne*** incógnita en muchos cultivos.

El hongo ***P. lilacinus*** acciona al parasitar los huevos del nemátodos juveniles y adultos, durante esta etapa inicial no hay producción de toxinas, cuando las esporas del ***Paecilomyces lilacinus*** entran en contacto con los nemátodos se inicia el proceso de infección porque encuentran las condiciones ideales para iniciar el proceso de germinación, estas esporas producen enzimas que diluyen la cutícula y penetran al interior del nemátodo.

Cuando ingresa al hospedero, el hongo ***p. lilacinus*** se reproduce muy rápidamente emitiendo metabolitos tóxicos que envenenan el nemátodo (causándole deformaciones, vacuolizaciones y pérdida de movimiento) hasta causarle la muerte.
Las toxinas producidas por parte del ***P. lilacinus*** afectan el sistema nervioso y causan deformación en el estilete de los nematodos que sobreviven, lo que permite reducir el daño y sus poblaciones. A valores de pH ligeramente ácidos, se producen toxinas que afectan el sistema nervioso de los nematodos.

Después de la aplicación del ***P. lilacinus,*** las esporas germinan y consumen los nemátodos como fuente de energía o alimento, reduciendo el daño en los cultivos a causa de este microorganismo. La eliminación de estos sucede en un lapso de 3 a 14 días, según las diversas condiciones que se presenten, y pueden preservar su control residual de 80 a 180 días.

VENTAJAS DE EL USO DE *Paecilomyces lilacinus* COMO NEMATICIDA.

- Regula las poblaciones de nemátodos y las mantiene bajas, pues las esporas de afectan en forma permanente durante el ciclo del cultivo.
- Por ser un regulador natural, mantiene las poblaciones de nemátodos a niveles que no causan daño económico.
- La presencia de nemátodos es cada vez menor debido al trabajo progresivo de los microorganismos.
- Si se regulan los nematodos con formulaciones a base de P. lilacinus, se necesitan menos aplicaciones, pues se conservan y restablecen el balance natural del ecosistema.
- No afecta parásitos y depredadores naturales.
- Pueden usarse en conjunto con algunos fertilizantes químicos y técnicas de repoblamiento de flora microbiana del suelo sin afectar su virulencia y patogenicidad. Lo anterior si sus esporas aun se encuentran en latencia.

El uso de Paecilomyces lilacinus es una excelente estrategia pare el control de poblaciones de nematodos causales de perdidas agrícolas considerables.

Arthrobotrys irregularis: eficaz para combatir estados larvarios de nematodos del género Meloidogyne, así como de otros géneros de nematodos parásitos, dado que su micelio forma "redes" en las cuales quedan atrapados por una sustancia pegante que es emitida por un filamento que es penetrado al nematodo. Cada célula de este hongo presenta conidias que, principalmente controlan poblaciones de nematodos que se localizan en la rizosfera de los cultivos, debido a su crecimiento micelial que obstaculizan el acceso de los nematodos al área radicular y los atrapa en estados larvarios. Requiere de humedad para su desarrollo así como de la presencia de materia orgánica.

MICORRIZAS

El término original mycorhiza fue dado por Albert Bernard Frank en 1885, quien consideró que representaba un fenómeno que ocurría frecuentemente y resultaba de la unión íntima entre las raíces de las plantas y el micelio de hongos, los cuales establecían una dependencia fisiológica recíproca. La palabra se origina del Griego myco, que significa hongo, y rhyza, que indica raíz. Etimológicamente se define como una simbiosis mutualista entre algunoshongos del suelo y las raíces de las plantas.

La micorriza es entonces una simbiosis mutualistas entre hongos y raíces de plantas superiores. La planta suministra al hongo fuentes de carbono procedentes de la fotosíntesis y el hongo a su vez ayuda a la planta a absorber sus nutrientes minerales del suelo y le confiere otras ventajas que han sido estudiadas recientemente: tolerancia a condiciones de sequía, balance hormonal, protección ante fitopatógenos, entre otras (Azcón & barea, 1980).

Se han descrito hasta el momento siete tipos de micorrizas, basadas en la forma de colonización en la raíz vegetal y en la identidad de los simbiontes: arbuscular o vesículo-arbuscular, arbutoide, monotropoide, orquidiode, ericoide; ectomicorriza y ectendomicorrizas (Barea, 1991).

A nivel de los ecosistemas tropicales, principalmente en el geotrópico, la micorriza más ampliamente distribuída es la de tipo arbuscualr y es de ésta que existen hasta el momento los estudios más amplios. Sin embargo, debemos destacar que las micorrizas de tipo orquidiode y las de tipo ericoide son también muy importantes en nuestros ecosistemas dada la riqueza de plantas que presentan esta asociación.

·Ectomicorrizas

Crecen en el exterior de las raíces formando una capa de micelio llamada manto, el cual se proyecta hacia el interior entre las células formando retícula que recibe el nombre de "red de Harting". Las ectomicorrizas en general son bastante específicas, lo que quiere decir que una especie de hongo solo puede vivir con una o unas pocas especies de plantas. Si bien un gran número de plantas pueden formar tanto endo como ecto micorrizas, estas últimas son características de: Pinaceae, Betulaceae y Fagaceae. Sobreviven solo durante cortos períodos de tiempo si no están sobre una raíz viva y además aunque sus esporas pueden germinar (con dificultad), sin contacto con una raíz, su crecimiento es muy limitado y si no encuentra enseguida una raíz, mueren. Las esporas sólo germinan en contacto con una raíz y las esporas sin germinar tienen un período de viabilidad también corto. Además los hongos de este grupo son específicos para la planta, en general específicos al medio (suelo, clima, etc.) y en general mucho más sensibles a las agresiones externas que las otras micorrizas.

·Micorriza arbuscular

Los Hongos de Micorriza Arbuscular (HMA) son microorganismos del suelo que se establecen como simbiontes mutualistas obligados con la mayoría de angiospermas.

Clasificación y taxonomía

La clasificación de los HMA está basada en el consenso de características morfológicas y moleculares descritas. Morton & Benny (1990) y Morton & Redecker (2001) los clasifican así:

División:	*EUMYCOTA*
Clase:	*ZYGOMYCETES*
Orden:	*GLOMALES*
Suborden:	*GLOMINAE*
Familias:	*Glomaceae*
Géneros:	*Glomus*
	Acaulosporaceae
Género:	*Acaulospora y Entrophospora*
	Paraglomaceae
Género:	*Paraglomus*
	Archaeosporaceae
Género:	*Archaeospora*
Suborden:	*GIGASPORINAE*
Familia:	*Gigasporaceae*
Géneros:	*Gigaspora y Scutellospora*

Nueva clasificación

A partir de Diciembre de 2001, Schübler y colaboradores ,analizando las secuencias de genes de la subunidad pequeña (SSU) del rRNA, reubicaron a los hongos formadores de MA en nuevo phylum llamado Glomeromycota. Los autores agruparon dentro de este phylum tres nuevos órdenes, Archaeosporales, Paraglomales y Diversisporales.

Caracteres morfológicos de los hongos de micorriza arbuscular, HMA

• Esporas

Las esporas producidas por los HMA son asexuales formadas a partir de la diferenciación de las hifas vegetativas (Sylvia et al, 1998), tienen doble pared celular y almacenan lípidos. Algunas veces se encuentran organizadas en estructuras denominadas esporocarpos, otras se presentan libres en el suelo o dentro de las raíces. Existe gran diversidad de formas, tamaños e incluso colores. Presentan diámetros entre 10 μm (Glomus tenue) hasta más de 1000μm (Scutellospora sp). Pueden variar en color desde hialinas hasta negras y en textura desde lisas hasta altamente ornamentadas (Morton, 1988).

• Micelio

El micelio de los HMA se caracteriza por presentar hifas aseptadas, con proyecciones angulares unilaterales, de paredes gruesas e interiormente irregulares, y distintos tipos de distribución (Morton, 1988; Janos, 1984).

A partir de las proyecciones angulares se forman numerosas hifas finas que son efímeras. Se caracterizan por tener paredes celulares delgadas, ser altamente ramificadas y por presentar septos en la madurez (Janos, 1984). Las hifas de estos hongos pueden ser total mente hialinas o presentar un poco de pigmento amarillo y tienen un diámetro de 2 a 30mm (Peyronel, 1924 citado en Read 1991b). Este micelio coloniza el suelo que rodea la raíz y ayuda a la planta a adquirir nutrientes minerales y agua (Jasper et al., 1989). El desarrollo del micelio externo es un evento simultáneo al avance de la colonización de la corteza radical. Así el micelio constituye un puente que conecta el suelo con el interior de la raíz (Newman et al., 1994). El micelio externo puede alcanzar de 14 a 50 m g-1 de suelo permitiendo a la planta explorar un extenso volumen de sustrato. Las hifas extraradicales son importantes como propágulos para iniciar una nueva

colonización, favorecen la agregación del suelo, la adquisición de nutrientes y generan nuevas esporas (Sanders & Sheikh, 1983).

• *Vesículas*

Las vesículas que se encuentran llenas de lípidos en la madurez son formadas en la corteza externa de las raíces. Pueden ser inter o intracelulares, intercalares o terminales y presentan paredes celulares gruesas. En muchas ocasiones las vesículas no son precedidas por arbúsculos, aunque en algunos casos completan el ciclo de infección al proseguirlos (Janos, 1984). La forma, el tamaño y la frecuencia con que aparecen las vesículas pueden ser altamente variables entre grupos (Morton, 1988), aunque se ha encontrado que algunos hongos forman de manera consistente vesículas distintivas (Morton, 1988). Bierman & Lindermann, (1983, citados en Friese & Allen, 1991) reporta como fuente de propágulos las vesículas extrarradicales.

Ecología y fisiología

Los miembros de los Glomales forman micorriza arbuscular (MA), con la mayoría de angiospermas, con algunas gimnospermas, con algunas briófitas y pteridófitas y con algunas algas. Los HMA son ubicuos y están presentes en la mayoría de suelos tropicales (Barea, 1990).
Sin embargo, las múltiples interacciones que ocurren en el suelo son responsables del comportamiento de la micorriza y explican las diferencias observadas en el comportamiento de las plantas. La presencia y eficiencia de MA están limitadas por las características fisicoquímicas del suelo (Sieverding, 1991), las condiciones ambientales (Abbott & Robson, 1991), la composición de la comunidad vegetal (Janos, 1996), las prácticas antrópicas (Jeffries &, Barea, 1994) y las interacciones con otros organismos del suelo (Barea, 1998).

A pesar de que la respuesta de la planta a la micorriza estriba en múltiples factores, su dependencia para captar fosfato del suelo es una característica inherente de la planta (Hayman, 1987; Azcón-Aguilar et al., 1984). En los suelos tropicales el fósforo tiende a ser fijado por los componentes edáficos, además de presentar un movimiento lento en este, lo que lo hace poco disponible para las plantas.

Es por esto que el P es el nutriente más limitante en los procesos fisiológicos de las plantas en este hábitat, y la respuesta de las plantas a la MA tiende a ser más evidente (Azcón-Aguilar et al., 1984). Las redes miceliales de MA presentan mayor afinidad por el fosfato que las raíces de la planta. Al parecer los flujos de entrada del elemento a la raíz son más rápidos a través de las hifas de MA (Gianinazzi-Pearson& Azcón-Aguilar, 1991).

Desarrollo de la colonización y cosato de la simbiosis para la planta a diferencia de los cambios en la raíz de plantas colonizada por ectomicorriza, la colonización por HMA no produce cambios aparentes en las raíces del hospedero (Janos, 1984).

La estimulación rizosférica da lugar a la ramificación de las hifas que vienen de una espora, se inicia la colonización con la formación del apresorio. Los mecanismos de penetración del hongo en la raíz aún no están definidos (Azcón-Aguilar & Barea,1996), aunque se ha sugerido la participación de enzimas hemicelulolíticas en el proceso (Rejón-Palomares et al., 1996). El proceso de colonización intrarradical lleva a la formación de las estructuras funcionales del intercambio de nutrientes entre los simbiontes: los arbúsculos intracelulares (Harley & Smith, 1983 citado en Gianinazzi et al., 1994). En las raíces de algunos hospederos, los HMA forman otras estructuras intracelulares en la corteza externa, tales como ovillos o ensortijados, donde también se da intercambio de nutrientes (Hirsch & Kapulnik, 1998) y vesículas, estructuras especializadas en el almacenamiento.

Se ha reportado que entre un 4 y un 20% del carbono fijado por la planta es exportado a las raíces micorrizadas (Barea, 1998). Los fotosintatos enviados al hongo por la planta hospedera, son convertidos por este, en compuestos carbonados específicos suyos, tales como lípidos y glucógeno, en el micelio interno (Smith & Smith, 1996). Los gránulos de glucógeno y los lipídicos son transportados hacia las hifas externas. Las reservas de tipo lipídico se observan como glóbulos en las hifas, esporas y vesículas, cuando la MA está madura (Gianinazzi-Pearson & Azcón-Aguilar, 1991).

HMA en el ciclaje de nutrientes

En el trópico prevalecen los sistemas de vegetación dominados por plantas herbáceas con micorriza arbuscular (Read, 1991). Las redes de micelio extrarradical formadas por el HMA está muy bien adaptadas a la toma eficiente de nutrientes del suelo y a su posterior transporte hacia la raíz de la planta colonizada, por lo que

los HMA son considerados uno de los grupos microbianos del suelo que contribuyen en forma más directa a la toma de minerales por la planta y al ciclaje de nutrientes (Kling & Jakobsen, 1998).

El micelio externo de los HMA se interconecta en el suelo gracias a su capacidad de anastomosis (Friese & Allen, 1991) y a la falta de especificidad hongo-planta (Barea,1990). Es así como las raíces de diferentes plantas pueden estar interconectadas y transportando nutrientes entre ellas, en una relación fuente -demanda (Smith & Smith, 1996; Allen et al., 1992; Allen, 1996)). Johansen & Jensen (1996), propusieron la transferencia de N y P a través de micelio externo, entre sistemas radicales de plantas vivas y plantas muertas sin necesidad de que los nutrientes entren a la solución del suelo, evitando así que los nutrientes recién mineralizados sean inmovilizados por microorganismos del suelo. Janos (1980), ya había reconocido la importancia de estas redes en el ciclaje de P, entre raíces muertas y raíces vivas, teniendo en cuenta los altos coeficientes de recambio de las raíces en el trópico.

La transferencia de nutrientes minerales y de compuestos carbonados simples entre plantas, a través del micelio externo ha sido comprobado por distintos autores (Chiariello et. al., 1982; Eason et. al., 1991; Francis & Read, 1984). Cuando una planta muere, los nutrientes inorgánicos pasan a plantas receptoras a través de estas redes fúngicas (Johansen & Jensen, 1996). Los nutrientes disponibles para las plantas provienen principalmente de la mineralización de compuestos orgánicos animales o vegetales. Una de las características más estudiadas en los ecosistemas tropicales es la acumulación de hojarasca y la proliferación de raíces (St. John, 1980; Cuenca et al., 1983) y de micelio externo de HMA entre ellas Went & StarK (1968) plantearon el ciclaje directo de nutrientes como un mecanismo necesario de transferencia de nutrientes mineralizados a partir de la hojarasca en descomposición hasta la planta de raíces micorrizadas. Este mecanismo era mediado por HMA que según los autores descomponían la hojarasca y captaban los minerales para transferirlos a la planta. El hecho de plantear la capacidad descomponedora de estos hongos ha generado controversia y es un hecho aún no demostrado. El ciclaje directo de nutrientes se plantea posteriormente como el proceso de captación de nutrientes recién mineralizados a partir de la hojarasca en descomposición, por parte de las raicillas que están presentes en el mantillo (Janos,1987). El ciclaje del P y otros elementos podría estar mediado por el micelio de HMA, que, proviniendo de raíces micorrizadas se extiende a través del mantillo, toma directamente los nutrientes recién mineralizados y los transfiere a la planta

La existencia de estos hongos en el suelo hace que se produzcan una serie de interacciones con otros microorganismos que viven también en ese hábitat. La micorrizosfera es la rizosfera de una planta micorrizada, y es en ella donde se producen las interacciones que se pueden resumir como: Interacciones con microorganismos beneficiosos y con funciones específicas, e Interacciones con patógenos. La MA influye en la presencia y función de los microorganismos del suelo, especialmente los rizosféricos y los micorrizosféricos (Azcón- Aguilar &Barea, 1996).
Linderman (1992), sugirió que el micelio extraradical de los HMA puede absorber y transferir metabolitos de otros microorganismos tales como hongos, bacterias, algas, actinomicetos y cianobacterias, asociados a la rizósfera de la planta, modificando sus condiciones de competencia por nutrientes. Entre los microorganismos beneficiosos podemos citar a las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR), a las bacterias fijadoras de nitrógeno (tanto libres como simbiontes), a los actinomicetos y a algunos hongos saprofitos que actúan como antagonistas de patógenos del suelo y que pueden ser empleados para el control biológico.

En muchos casos las interacciones establecidas son de tipo positivo, llegándose a registrar un efecto de sinergismo, donde la presencia de la MA y del otro microorganismo produce un incremento del crecimiento, vigor y protección de la planta. De otra parte, se ha comprobado que los HMA median la protección de las plantas contra posibles patógenos, especialmente radicales. Dentro de los microorganismos restringidos por el HMA encontramos hongos y nemátodos fitopatógenos (Sharma et al,. 1995; Newsaham et al., 1995 citados en Kling & Jakobsen, 1998).
Se han propuesto una serie de mecanismos a través de los cuales ocurre la interacción micorrizas/patógenos, ya que no se ha demostrado nunca que los hongos MA actúen directamente sobre éstos, ya sea por antagonismo, antibiosis, o por depredación, sino que su efecto es indirecto.
Los mecanismos son los siguientes: cambios en la nutrición de la planta hospedera, alteraciones en la exudación radical. También puede cambiar la atracción quimiostática de los nematodos

hacia la raíz, activar los mecanismos de defensa de las plantas mediante la inducción de la producción de determinados metabolitos secundarios en las raíces como ligninas, fenoles, fitoalexinas, etileno, quitinaza y peroxidas (Gianinazzi- Pearson et al., 1994; Morandi, 1996) y competir por los sitios de infección en la raíz o por los fotosintatos del hospedador.

Efecto de los sistemas de producción vegetal en las poblaciones de HMA

El principal propósito de la utilización de HMA en los sistemas agrícolas es lograr el uso más eficiente del fósforo del suelo y de los fertilizantes fosfóricos (Sieverding & Barea,1991). El beneficio de la micorriza en la toma de nutrientes y en el crecimiento vegetal depende de las características de la población del hongo y de las condiciones de crecimiento. Los cambios físicos, químicos y biológicos importantes para la formación y función de la MA, son generados usualmente por actividades humanas, manejo agrícola, condiciones bajo las cuales la MA puede no ser eficiente (Kling & Jakobsen, 1998). Como alternativa para el uso práctico de los HMA en la producción vegetal, se plantea el manejo de las poblaciones naturales del hongo utilizando cultivos de especies vegetales que sean más susceptibles a la micorrización por los hongos endógenos o manipulando estas poblaciones con prácticas agronómicas de bajo impacto (Sieverding & Barea, 1991; Sánchez de P., 1999).

Algunos de los efectos de las prácticas agrícolas sobre las poblaciones de HMA son la reducción de la diversidad de esporas (Sieverding, 1991) y la reducción de la población de HMA (Powell, 1983; Jeffries & Barea, 1994; Sánchez de P., 1999) debida a las altas fertilizaciones, especialmente con fosfatos. Sin embargo los efectos negativos de las altas concentraciones de fosfato en los suelos dependen de factores como especies fúngicas y vegetales, tipo de suelo y lugar de aplicación del fertilizante (Bolan, 1991 y Miller et al., 1995, citados en Kling & Jakobsen, 1998).

Aplicación de los HMA en la agricultura y dependencia micorrizal

La dependencia de la micorrización es el grado hasta el cual una planta depende de la condición de estar micorrizada para obtener un crecimiento óptimo a un determinado nivel de fertilidad de suelo (Gerdemann, 1975).
Se han realizado numerosos estudios en los que se demuestra que la inoculación artificial con HMA a especies de interés agrícola, incrementa la nutrición y el crecimiento de la planta, y le permite a su vez superar situaciones de estrés biótico y abiótico (Calvet y Camprubi 1996 a; Francl, 1993; Perrin, 1991, Sierverding, 1991).

Los efectos benéficos de la introducción artificial de inóculo micorrícico resultan más evidentes en suelos donde las poblaciones de HMA nativos no existen, o han sido eliminadas por empleo de prácticas agrícolas desfavorables para su desarrollo como la fumigación del suelo y el cultivo intensivo o en situaciones en que la cantidad de inóculo MA en el suelo agrícola es baja por la existencia de un cultivo anterior no hospedador, y en suelos en donde las poblaciones autóctonas no sean lo suficientemente agresivas y eficaces (Rhodes, 1984; Sieverding, 1991). Los beneficios económicos se derivan de una mayor y más uniforme producción, una mayor rapidez de crecimiento y entrada en producción de las plantas, una mejor calidad de la cosecha y un ahorro en fertilizantes, riego y productos fitosanitarios.

BIBLIOGRAFÍA

- Guía de insumos biológicos para el manejo integrado de plagas. Harmonia, abril 2004, Feriva S.A, Cali – Colombia.
- Introducción a la Microbiología del Suelo, Martín Alexander, AGT editor S.A, junio 1994, México D.F
- Vida Microbiana en el Suelo, C.Dr. Clemente Fernández Cabadilla, C. Dr. René Novo Sordo, Editorial Pueblo y Educación, Cuba.
- Enciclopedia Encarta
- Microbiología, Pelczar, Reid, Chan, Editorial Mc Graw Hill, cuarta edición, México, 1982.
- fruit.naro.affrc.go.jp/.../ colony/0204307.jpg
- fruit.naro.affrc.go.jp/.../ colony/vleca2.jpg
- www.biological-research.com/.
- www.ina.ac.cr/.../ image006.jpg
- http://desaveal.ual.es/sifa/bio/org_biologicos/auxiliar.jsp?id=15
- http://www.control-biologico.com/ monog. lilacinol.htm
- http://www.isch.edu.cu/biblioteca/ANUARI02/hongos2.htm
- Lucía Ana Díaz, Unidad de Biotecnología Vegetal, Pontificia Universidad Javeriana.





COMISIÓN EUROPEA

Proyecto "Huertos orgánicos para mejorar la salud y nutrición de productoras y productores campesinos del valle de Toacaso", Contrato No. FIL-11-14

CISP
COMITATO INTERNAZIONALE PER LO SVILUPPO DEI POPOLI

25 anni dalla parte dei diritti 1983-2008

Comitato Internazionale per lo Sviluppo dei Popoli (CISP)
Sede Central en Italia
Via Germanico, 198 Int.10
00192 Roma, Italia
www.cisp_ngo.org

Sede Quito Ecuador
Noboa Caamaño 186 y Humbolt
cisp-ecu@uio.satnet.net

MSP

Passe