

Utilidad de los microorganismos para control de fitopatógenos

Edgar David Meneses Moran

Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente. (ECAPMA)

CEAD-San Juan de Pasto

Diciembre de 2020

Utilidad de los microorganismos para control de fitopatógenos

Edgar David Meneses Moran

Monografía para optar al título de Agrónomo

Ruth Liliana Insuasti bravo Ing. A. M.Sc.

Directora de Proyecto

Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente. (ECAPMA)

CEAD- SAN Juan de Pasto
Diciembre de 2020

Nota de aceptación:

Firma del Jurado:

Dedicatoria

En primer lugar, le dedico este trabajo AL ETERNO Dios Todo Poderoso, por haberme dispensado la vida, el tiempo y todos los recursos necesarios para lograr la meta deseada, a mi madre Luz Maria quien depositó toda la confianza en mí; me brindó su apoyo moral y económico de forma incondicional, a mis hijos David Alejandro, Santiago Alexander y Sebastián Felipe a mi esposa Sonia Margoth a mi hermano Fernando Edmundo, por su apoyo en todas las dificultades, fueron vitales en el avance de todas las labores académicas.

Agradecimientos

A Ruth Liliana Insuasti Bravo Ing. A. M.Sc, Leonardo Álvarez Ríos PhD y M.Sc, Diana Carolina Salinas quienes estuvieron dirigiendo, orientando y motivando siempre con profesionalismo y asertividad el desarrollo de este proyecto

Resumen

El enfoque moderno del control de enfermedades en las plantas se fundamenta en agentes de control biológico, como la producción de agentes antimicrobianos y la fabricación de plantas mejoradas genéticamente, que son más resistentes a las enfermedades. Este enfoque es favorable porque es más amigable con el medio ambiente y más saludable para los humanos y los animales. La estructura infectada de la planta evidencia síntomas del tipo de enfermedad, como la raíz infectada, que generalmente se correlaciona con la enfermedad de la pudrición de la raíz. Las enfermedades de las plantas pueden clasificarse según varios parámetros: síntomas de la enfermedad, órgano infectado, tipo de planta infectada y tipo de fitopatógenos; este último se considera el criterio más utilizado para la clasificación de enfermedades de las plantas, ya que determina fácilmente la causa de la enfermedad, las posibles complicaciones y los métodos de control. Según este criterio, las enfermedades de las plantas se clasifican en dos tipos: enfermedades infecciosas (bióticas), que son causadas por eucariotas, procariotas, plantas superiores parasitarias, virus / viroides, hongos, nematodos y protozoos, y enfermedades no infecciosas (abióticas), en diferentes condiciones ambientales extremas.

En contraposición a lo anterior existe una clase especial de bacterias del suelo, llamadas rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas (PGPR). Los PGPR viven en los sitios rizosféricos del suelo, es decir, en las inmediaciones de las raíces de las plantas, y ejercen varios efectos benéficos sobre las plantas, directa o indirectamente. PGPR tiene propiedades antagonistas inherentes contra patógenos de plantas transmitidos por el suelo en condiciones naturales. Los puntos principales que se tratan en la presente

investigación son: (1) el biocontrol de patógenos vegetales como alternativa a los métodos de control químico. (2) El éxito de PGPR para proteger muchas especies de plantas contra una amplia gama de patógenos de plantas. (3) Mecanismos subyacentes al control e inhibición de patógenos de plantas transmitidos por el suelo, incluidas actividades antagónicas como la producción de antibióticos, que ofrece una dura competencia al patógeno por los nutrientes y nichos en la rizosfera, parasitismo del patógeno e inducción de resistencia sistémica en las plantas contra las enfermedades.

Palabras clave: microorganismos, fitopatógenos, rizosfera, materia orgánica, (PGPR)

Abstract

The modern approach to plant disease control relies on biological control agents, such as the production of antimicrobial agents and the manufacture of genetically improved plants, which are more resistant to disease. This approach is favorable because it is friendlier to the environment and healthier for humans and animals. The infected structure of the plant shows symptoms of the disease type, such as the infected root, which generally correlates with root rot disease. Plant diseases can be classified according to several parameters: disease symptoms, infected organ, type of infected plant and type of phytopathogens; the latter is considered the most widely used criterion for classifying plant diseases, as it easily determines the cause of the disease, possible complications, and control methods. According to this criterion, plant diseases are classified into two types: infectious (biotic) diseases, which are caused by eukaryotes, prokaryotes, higher parasitic plants, viruses / viroids, fungi, nematodes and protozoa, and non-infectious (abiotic) diseases, in different extreme environmental conditions.

In contrast to the above, there is a special class of soil bacteria, called plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR). PGPRs live in rhizospheric sites in the soil, that is, in the vicinity of plant roots, and exert various beneficial effects on plants, directly or indirectly. PGPR has inherent antagonistic properties against soil-borne plant pathogens under natural conditions. The main points that are treated in the present investigation are: (1) biocontrol of plant pathogens as an alternative to chemical control methods. (2) The success of PGPR in protecting many plant species against a wide range of plant pathogens. (3) Mechanisms underlying the control and inhibition of soil-borne plant pathogens, including antagonistic activities such as antibiotic production, offering stiff competition to the pathogen for nutrients and niches in the rhizosphere, parasitism of the pathogen, and induction of resistance systemic in plants against diseases.

Keywords: microorganisms, phytopathogens, rhizosphere, organic material, plant growth promoting rhizobacteria (PGPR)

Tabla de contenido

Patógenos vegetales.....	16
Utilidad de los microorganismos para el control de fitopatógenos	19
2.1. Microorganismos en la formación del suelo.....	19
2.2. Efecto de los organismos del suelo.....	21
2.3. Materia orgánica del suelo.....	23
2.4. Cadena trófica del suelo	27
2.5. Árbol filogenético de la vida	29
Control biológico.....	31
3.1. Definición de control biológico	31
3.2. Microorganismos que realizan control biológico	31
3.3. Tipos de biocontrol microbiológico	32
3.4. Colonización e inóculo	35
3.5. Competencia	36
3.6. Antibiosis.....	37
3.7. Micoparasitismo	39
Microorganismos más utilizados en el control de enfermedades.....	41
4.1. <i>Trichoderma</i> sp.....	41
4.2. <i>Bacillus</i> sp.	41

4.4. <i>Azospirillum</i> sp.	44
4.3. Micorrizas	47
Entomopatógenos	49
5.1. <i>Metharizium</i> sp.	49
5.2. <i>Beauveria bassiana</i>	51
Microorganismos de tipo comercial para control biológico.....	53
6.1. Productos microbiológicos comerciales, autorizados en Colombia, para el control de enfermedades	54
Conclusiones	61
Referencias bibliográficas.....	64

Listado de figuras

Figura 1. Cadena Trófica del suelo. La Fundación WBM. (2017).....	21
Figura 2. El árbol filogenético de los tres dominios. Carl Woese y Gary Losen (2004). ...	30
Figura 3. Competencia entre el agente de control biológico y el patógeno objetivo (2013).	37
Figura 4. Antibiosis. Prashar, P., Kapoor, N., & Sachdeva, S. (2013).....	38

Listado de tablas

Tabla 1. Bacterias solubilizadoras y con acción anti-fúngica.	32
Tabla 2. Antibióticos y su efecto sobre patógenos.	38
Tabla 3. Agentes de biocontrol y patógeno objetivo.	40
Tabla 4. Productos como agente microbial autorizados por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).	55

Introducción

Como estudiante de la UNAD-ECAPMA, de la carrera de pregrado de agronomía y en cumplimiento de la monografía titulada “Utilidad de los microorganismos para control de fitopatógenos” presento el trabajo relacionado con la temática abordada en la presente investigación. Mediante el desarrollo de la presente investigación se logró uno de los objetivos fundamentales el cual era conocer a fondo las relaciones de algunos microorganismos edáficos y los beneficios para las plantas a nivel de nutrición, control de patógenos edáficos y sanidad del suelo.

Lograr la seguridad alimentaria a través de enfoques sostenibles es un tema candente en todo el mundo. Aunque se han logrado mejoras dramáticas en términos de producción de cultivos en las últimas décadas, las enfermedades de las plantas han seguido siendo un obstáculo importante para lograr los objetivos. Los fitopatógenos transmitidos por el suelo están bien establecidos como la causa de muchas enfermedades devastadoras de las plantas que provocan una pérdida de cultivos del 25% al 100% cada año en todo el mundo (Glick y Bashan 1997). Estos se definen como los patógenos que causan enfermedades de las plantas a través de inóculos que llegan a la planta a través del suelo (Koike et al.2003) y pueden completar todo su ciclo de vida dentro del suelo, o pueden pasar parte de él en la filosfera.

Los fitopatógenos transmitidos por el suelo pueden incluir un grupo diverso de organismos que incluyen bacterias, hongos, virus y nematodos; sin embargo, los hongos son los más críticos entre ellos, ya que se sabe que causan un gran número de enfermedades transmitidas por el suelo, muchas de las cuales provocan pérdidas agrícolas más graves

anualmente (Agrios 2004; Koike et al. 2003). Los hongos más importantes del suelo incluyen *Fusarium* sp., *Phytophthora* sp., *Pythium* sp., *Rhizoctonia solani*, *Sclerotinia* sp., *Slerotium rolfsii*, *Thielaviopsis basicola* y *Verticillium dahlia* (Jeffery et al. 2010).

Los enfoques utilizados actualmente para el manejo de fitopatógenos transmitidos por el suelo para reducir esta pérdida, incluyen prácticas culturales como rotación de cultivos, mejoramiento de variedades de plantas resistentes y uso de agentes de control químico (pesticidas) (Cook 1993) y prácticas como fumigación, tratamiento con vapor y solarización de suelos hasta cierto punto (Gamliel y Katan 1992). Sin embargo, estos son insuficientes para controlar las enfermedades de las raíces de importantes plantas de cultivo. Además, debido a los efectos nocivos sobre la salud humana y ambiental, el miedo por el uso indebido de agentes químicos en el sector agrícola ha dado la alarma para buscar opciones más seguras y efectivas. Muchos agentes microbianos, en particular las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPR), exhiben mecanismos biológicos inherentes para controlar los patógenos. Las PGPR son las bacterias que residen en la rizosfera de la planta y la afectan de manera favorable. La rizosfera es la fina capa de suelo que rodea las raíces de las plantas y está influenciada por sus actividades. Las bacterias de la rizosfera disfrutan de una estrecha asociación con la planta y, por lo tanto, son los candidatos más adecuados para ser explorados por su potencial para controlar patógenos de plantas transmitidos por el suelo. Se ha demostrado que desempeñan un papel fundamental en la mejora del crecimiento y la salud de las plantas a través de mecanismos como una mayor absorción de nutrientes del suelo, la producción y liberación de fitohormonas, elevando la capacidad de tolerancia de la planta al estrés ambiental y al mismo tiempo afectando a los organismos nocivos (fitopatógenos) del suelo, incluidos hongos, virus y nematodos, controlando así las enfermedades. Se ha generado un gran volumen de literatura

en las últimas dos décadas que establece el papel de PGPR como agentes de control biológico para una variedad de patógenos transmitidos por el suelo. Por lo tanto, los métodos de biocontrol que utilizan microorganismos antagonistas asociados con la rizósfera vegetal ofrecen una opción atractiva y viable para desarrollar herramientas agrícolas alternativas para el control de patógenos de plantas transmitidos por el suelo y, por lo tanto, reemplazar / complementar los pesticidas químicos

Se estima que los rizodepósitos representan aproximadamente el 11% del carbono neto fijado fotosintéticamente y el 10–16% del nitrógeno total de la planta, aunque estos valores pueden variar mucho según la especie de la planta y la edad (Jones et al., 2009). Los compuestos liberados por las raíces de las plantas también pueden desencadenar una respuesta migratoria en algunos de los microbios presentes en la rizosfera (Kamilova et al., 2006 , van Overbeek y van Elsas, 1995), que ingresan a los tejidos de las plantas y se propagan más a las partes aéreas de la planta huésped, adoptando un estilo de vida endofítico . (Raaijmakers et al., 1995).

La colonización endofítica puede tener ventajas sobre las asociaciones de la superficie de la raíz, ya que los microbios pueden establecerse en un ambiente protegido (Reinhold-Hurek y Hurek, 2011, Ryan et al., 2008).

Patógenos vegetales

Según Waleed M. Abdulkhair y Mousa A. Alghuthaym et al., la enfermedad de las plantas significa la aparición de trastornos fisiológicos debidos a agentes bióticos tales como infección microbiana y / o agentes abióticos tales como factores ambientales extremos. Para que ocurra la enfermedad de las plantas, debe ocurrir una interacción entre dos componentes: la planta y la causa de la enfermedad, lo que conduce a trastornos fisiológicos. La causa de la enfermedad es un agente biótico o un agente abiótico como se mencionó anteriormente. Curiosamente, los agentes bióticos conducen a enfermedades infecciosas, que se desarrollan en condiciones ambientales adecuadas. Por lo tanto, las enfermedades infecciosas (ocurridas por patógenos) no se desarrollan en condiciones ambientales extremas. Esto significa que era imposible contraer enfermedades de plantas infecciosas y no infecciosas al mismo tiempo. Los agentes abióticos (factores ambientales) juegan un papel importante y vital en el desarrollo de la enfermedad y en la gravedad o resistencia de la enfermedad. Este asunto depende principalmente de diferentes factores: la familia de las plantas, la edad de las plantas, el tipo genético de las plantas, la raza de virulencia del patógeno, el tamaño del inóculo del patógeno y el estado latente del patógeno. Por lo tanto, podemos imaginar la enfermedad de las plantas como un triángulo, que se llama "triángulo de la enfermedad".

Los tres lados de este triángulo son la planta, los microorganismos y los factores ambientales. La longitud de cada lado es proporcional a la suma de las características de los otros dos lados. Por ejemplo, si la planta es resistente, el lado del hospedador y la cantidad de enfermedad serían pequeños o nulos, mientras que, si la planta es susceptible, el lado del

hospedador sería largo y la cantidad potencial de enfermedad podría ser grande. Este asunto depende principalmente de diferentes factores: la familia de las plantas, la edad de las plantas, el tipo genético de las plantas, la raza de virulencia del patógeno, el tamaño del inóculo del patógeno y el estado latente del patógeno. Por lo tanto, podemos imaginar la enfermedad de las plantas como un triángulo, que se llama "triángulo de la enfermedad". Los tres lados de este triángulo son la planta, los microorganismos y los factores ambientales. (Waleed M. Abdulkhair y Mousa A. Alghuthaym, 2016)

La longitud de cada lado es proporcional a la suma de las características de los otros dos lados. Por ejemplo, si la planta es resistente, el lado del hospedador y la cantidad de enfermedad serían pequeños o nulos, mientras que si la planta es susceptible, el lado del hospedador sería largo y la cantidad potencial de enfermedad podría ser grande; este aspecto depende principalmente de diferentes factores: la familia de las plantas, la edad de las plantas, el tipo genético de las plantas, la raza de virulencia del patógeno, el tamaño del inóculo del patógeno y el estado latente del patógeno. Por lo tanto, podemos imaginar la enfermedad de las plantas como un triángulo, que se llama "triángulo de la enfermedad". Los tres lados de este triángulo son la planta, los microorganismos y los factores ambientales. La longitud de cada lado es proporcional a la suma de las características de los otros dos lados. Por ejemplo, si la planta es resistente, el lado del hospedador y la cantidad de enfermedad serían pequeños o nulos, mientras que si la planta es susceptible, el lado del hospedador sería largo y la cantidad potencial de enfermedad podría ser grande podemos imaginar la enfermedad de las plantas como un triángulo, que se llama "triángulo de la enfermedad". (Waleed M. Abdulkhair y Mousa A. Alghuthaym, 2016); los tres lados de este triángulo son la planta, los microorganismos y los factores ambientales. La longitud de

cada lado es proporcional a la suma de las características de los otros dos lados. Por ejemplo, si la planta es resistente, el lado del hospedador y la cantidad de enfermedad serían pequeños o nulos, mientras que, si la planta es susceptible, el lado del hospedador sería largo y la cantidad potencial de enfermedad podría ser grande. (Waleed M. Abdulkhair y Mousa A. Alghuthaym, 2016).

Utilidad de los microorganismos para el control de fitopatógenos

2.1. Microorganismos en la formación del suelo

Los microorganismos son esenciales para la formación y la ecología del suelo porque controlan el flujo de nutrientes a las plantas (es decir, controlan los ciclos del carbono, nitrógeno y azufre), promueven la fijación de nitrógeno y promueven la desintoxicación del suelo de contaminantes orgánicos inorgánicos y naturales. Los microorganismos del suelo también forman parte de varias cadenas alimentarias, por lo que sirven como fuente de nutrientes entre sí y, con frecuencia, sirven como miembros primarios de las cadenas alimentarias en la biota del suelo.

Las raíces de las plantas también forman parte de la biota del suelo y algunos hongos. Muchas bacterias viven en relación simbiótica con las raíces de las plantas, alrededor de las cuales existe un área de elevada actividad microbiana, conocida como rizosfera. El reino Animalia también está representado en la biota del suelo por nematodos, lombrices de tierra, moluscos, Acarina, Collembola, así como varios insectos y larvas que se alimentan principalmente de materia orgánica en descomposición. Todos ellos forman parte de la cadena alimentaria del suelo y ayudan a promover la conversión de materia orgánica en biomasa bacteriana y fúngica. La microbiología del suelo es una disciplina relativamente reciente y se estima que hasta ahora solo se ha identificado alrededor del uno por ciento de los microorganismos del suelo.

El ecosistema del suelo está compuesto por materia inorgánica (calcio, óxido de hierro, nitratos, azufre, fosfatos, cenizas y partículas de piedra), sustratos (hojas caídas,

organismos muertos, madera en descomposición, raíces muertas), organismos (microbios, animales y plantas.), aire y agua. Las bacterias y los hongos son en su mayoría organismos heterótrofos que se alimentan de la materia orgánica existente descomponiéndolos para absorber los micronutrientes y minerales resultantes. Por tanto, son esenciales para el proceso de reciclaje de nutrientes que mantiene los suelos en buenas condiciones para el crecimiento de las plantas. La comunidad de microorganismos en un tipo de suelo determinado difiere de la que pertenece a otro tipo de suelo. Dependen en gran medida de factores ambientales como los niveles de dióxido de carbono, oxígeno, hidrógeno, pH del suelo. (Ya sea ácido, alcalino o neutro), tipos de sustratos, cantidades de sustratos disponibles, niveles de humedad y temperatura. Cada comunidad es muy compleja y, hasta ahora, se sabe poco sobre la sucesión de microorganismos en las cadenas alimentarias y las redes alimentarias interconectadas que forman, o sobre la secuencia de eventos en las rutas cíclicas del ecosistema del suelo.

La llegada de nuevo sustrato al suelo aumenta las poblaciones de bacterias que se alimentan de ellas, reciclando así en el proceso de nutrientes importantes tanto para las plantas como para otros organismos del suelo. La expansión bacteriana conduce a un segundo evento, conocido como sucesión, que es el crecimiento de poblaciones de protozoos que preceden a las bacterias. La expansión de las poblaciones de protozoos desencadena la actividad de los ácaros, que se alimentan de protozoos. La llegada del sustrato desencadena también la actividad y expansión de las poblaciones de hongos, que también son descomponedores. Algunas especies de hongos compiten con otras especies de hongos por los mismos sustratos, como el *Pisolithus* y el *Fusarium*. Los nematodos se activan y se alimentan tanto de hongos como de otras especies de nematodos. Algunos

hongos también pueden atrapar nematodos y alimentarse de ellos. En las rizosferas, estas poblaciones son más activas que en otras partes del suelo y los factores atmosféricos pueden influir en la biota de las rizosferas. El efecto a largo plazo del aumento de los niveles de dióxido de carbono sobre la dinámica de la biota del suelo y sobre el crecimiento de las plantas en un ambiente atmosférico enriquecido con dióxido de carbono, la colonización de las raíces de las plantas por hongos aumenta, lo que facilita el intercambio de carbono y nutrientes entre las plantas hospedadoras y los hongos (es decir, simbiosis), lo que favorece que las colonias de hongos se expandan dentro del suelo. Además de favorecer el crecimiento de la hierba. En consecuencia, el número de microartrópodos del suelo también ha aumentado, ya que muchos de ellos se alimentan de colonias de hongos. (Mundo de Microbiología, 2020).

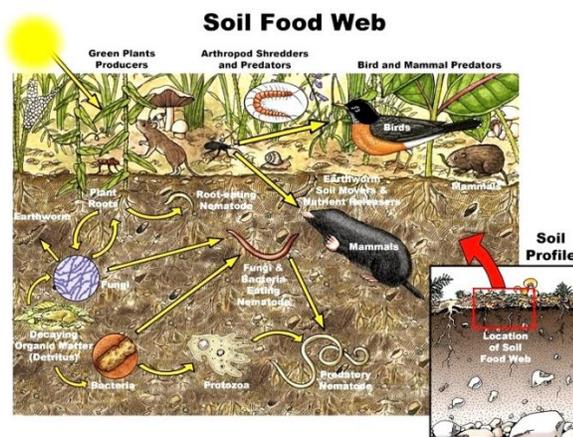


Figura 1. Cadena Trófica del suelo. La Fundación WBM. (2017).

2.2. Efecto de los organismos del suelo

El proceso de descomposición de la materia orgánica en los suelos es controlado por los factores biológicos. Como consecuencia, para preservar la fertilidad se requiere el

conocimiento de la actividad de los organismos edáficos. La biota del suelo constituye una fracción primordial de la biodiversidad terrestre. La mayoría de la energía capturada por la vegetación se utiliza por la biota para una serie de funciones esenciales de la integridad y la productividad del sistema (Martin y Lavelle, 1992; Palm, Swift y Barois, 2001). En general, la biomasa total de la biota edáfica constituye una fracción relativamente pequeña (1-8%) de la materia orgánica total del suelo.

Sin embargo, se reconoce por numerosos autores que la importancia funcional de estos organismos en los ecosistemas no es directamente proporcional a su biomasa existente, pues pueden regular el comportamiento del sistema a través de sus efectos en el reciclaje de nutrientes y en la estructura del suelo (Opperman, Wood, Harris y Cherrett, 1993; Hassink, Neutel y de Ruiter, 1994; Didden, Marinissen, Vreeken-Buijs, Burgers, de Fluiter, Geurs y Brussaard, 1994; Alegre et al., 2001; Decaens, Jiménez, Barros, Chauvel, Blanchart, Fragoso y Lavelle, 2004; Feijoo, Zúñiga, Quintero y Lavelle, 2007). La descomposición que realizan los organismos se caracteriza por una compleja comunidad de biota, que incluye la microflora y la fauna del suelo. Los hongos y las bacterias son, fundamentalmente, los responsables de que se efectúen los procesos bioquímicos en la descomposición de los residuos orgánicos (Tian, Brussaard, Kang y Swift, 1997).

De acuerdo con su participación en el proceso de descomposición, la fauna del suelo se agrupa en descomponedores y detritívoros. Los organismos descomponedores son bacterias y hongos que participan en las primeras etapas de la descomposición y consumen principalmente azúcares y aminoácidos (Martius, Höfer, García, Römbke y Hanagarth, 2004). En la medida que avanza la descomposición, el proceso es más lento y participan

hongos septados especializados, como Ascomycetes, Basidiomycetes y Actinomycetes, que pueden degradar la celulosa, la lignina y las proteínas más complejas. Los organismos detritívoros son consumidores que se alimentan del detritus y de las poblaciones de microorganismos asociados a él. Una gran diversidad de invertebrados edáficos representan este grupo y se les ha clasificado, de acuerdo con su tamaño, en: micro, meso, macro y megafauna: La microfauna presenta un diámetro corporal menor que 100 μm y comprende protozoos, gusanos nemátodos y rotíferos; la mesofauna (diámetro corporal entre 100 μm y 2 mm), está formada por los Acari (ácaros del mantillo), Collembola y Enchytraeidae; mientras que la macrofauna (diámetro corporal entre 2 y 20 mm) y la megafauna (mayor que 20 mm) incluyen Isópodos; Diplópodos, larvas de moscas (Diptera) y algunos escarabajos (Coleóptera); Oligoquetos, que son las lombrices de tierra; y Moluscosa que incluye a los caracoles y las babosas. La fauna del suelo aumenta la biodegradación y la humificación de los residuos orgánicos a través de varias vías (Lavelle, 1997; Tian et al., 1997):

1. Pulverizan los residuos orgánicos y aumentan el área superficial para la actividad microbiana.
2. Producen enzimas que transforman las biomoléculas complejas en compuestos simples y polimerizan los compuestos para formar el humus.
3. Mejoran el ambiente para el crecimiento y las interacciones microbianas.
4. Incorporan la materia orgánica en el suelo.

2.3. Materia orgánica del suelo

El proceso de descomposición de la materia orgánica es controlado por los factores biológicos. Como consecuencia, para preservar la fertilidad se requiere el conocimiento de la actividad de los organismos edáficos.

La biota del suelo constituye una fracción primordial de la biodiversidad terrestre. La mayoría de la energía capturada por la vegetación se utiliza por la biota para una serie de funciones esenciales de la integridad y la productividad del sistema (Martin y Lavelle, 1992; Palm, Swift y Barois, 2001).

En general, la biomasa total de la biota edáfica constituye una fracción relativamente pequeña (1-8%) de la materia orgánica total del suelo. Sin embargo, se reconoce por numerosos autores que la importancia funcional de estos organismos en los ecosistemas no es directamente proporcional a su biomasa existente, pues pueden regular el comportamiento del sistema a través de sus efectos en el reciclaje de nutrientes y en la estructura del suelo (Opperman, Wood, Harris y Cherrett, 1993; Hassink, Neutel y de Ruiter, 1994; Didden, Marinissen, Vreeken- Buijs, Burgers, de Fluiter, Geurs y Brussaard, 1994; Alegre et al., 2001; Decaens, Jiménez, Barros, Chauvel, Blanchart, Fragoso y Lavelle, 2004; Feijoo, Zúñiga, Quintero y Lavelle, 2007).

La descomposición que realizan los organismos se caracteriza por una compleja comunidad de biota, que incluye la microflora y la fauna del suelo. Los hongos y las bacterias son, fundamentalmente, los responsables de que se efectúen los procesos bioquímicos en la descomposición de los residuos orgánicos (Tian, Brussaard, Kang y Swift, 1997).

De acuerdo con su participación en el proceso de descomposición, la fauna del suelo se agrupa en descomponedores y detritívoros. Los organismos descomponedores son bacterias y hongos que participan en las primeras etapas de la descomposición y consumen principalmente azúcares y aminoácidos (Martius, Höfer, García, Römcke y Hanagarth, 2004).

En la medida que avanza la descomposición, el proceso es más lento y participan hongos septados especializados, como Ascomycetes, Basidiomycetes y Actinomycetes, que pueden degradar la celulosa, la lignina y las proteínas más complejas. Los organismos detritívoros son consumidores que se alimentan del detritus y de las poblaciones de microorganismos asociados a él. Una gran diversidad de invertebrados edáficos representan este grupo y se les ha clasificado, de acuerdo con su tamaño, en: micro, meso, macro y megafauna: La microfauna presenta un diámetro corporal menor que 100 μm y comprende protozoos, gusanos nemátodos y rotíferos; la mesofauna (diámetro corporal entre 100 μm y 2 mm), está formada por los Acari (ácaros del mantillo), Collembola y Enchytraeidae; mientras que la macrofauna (diámetro corporal entre 2 y 20 mm) y la megafauna (mayor que 20 mm) incluyen Isópodos; Diplópodos, larvas de moscas (Diptera) y algunos escarabajos (Coleóptera); Oligoquetos, que son las lombrices de tierra; y Moluscos que incluye a los ca racoles y las babosas.

La fauna del suelo aumenta la biodegradación y la humificación de los residuos orgánicos a través de varias vías (Lavelle, 1997; Tian et al., 1997):

1. Pulverizan los residuos orgánicos y aumentan el área superficial para la actividad microbiana.

2. Producen enzimas que transforman las biomoléculas complejas en compuestos simples y polimerizan los compuestos para formar el humus.

3. Mejoran el ambiente para el crecimiento y las interacciones microbianas.

4. Incorporan la materia orgánica en el suelo.

Tian et al. (1997) informaron que la diversidad de la flora es capaz de liberar amonio de los residuos en descomposición; las bacterias, los hongos y los actinomicetos pueden atacar este tipo de compuestos, con la consecuente mineralización de N, aunque las tasas varían de acuerdo con los grupos involucrados. El amonio (NH_4^+) es oxidado por *Nitrosomonas* a nitrito (NO_2^-) y después a nitrato (NO_3^-) por *Nitrobacter*, reacciones que proporcionan a estos organismos la energía para su proliferación y sobrevivencia (Salisbury y Ross, 1994).

Además de la mineralización del N existe el fenómeno de la inmovilización, el cual lleva a la síntesis de nuevas moléculas orgánicas a partir de formas inorgánicas. Este proceso es también llevado a cabo por los microorganismos del suelo; se da en mayor grado cuando los residuos son de baja calidad (Heal, Anderson y Swift, 1997). La mineralización neta de N en el suelo puede ser considerada como un balance entre los procesos de mineralización e inmovilización (Giller y Wilson, 1991).

Por otra parte, la fauna en el suelo se distribuye por su perfil; de acuerdo con sus hábitos alimenticios se les nombra epígeos a los que habitan sobre la superficie del suelo; endógenos a los que se encuentran por debajo de la superficie y anécicos a los que se mueven desde la superficie y por debajo de ella (Lavelle, 1997).

En la fauna epígea sobresalen los miriápodos, isópodos, caracoles y lombrices pigmentadas, que desmenuzan y disminuyen el tamaño de la hojarasca. En la endogeica se encuentran principalmente lombrices no pigmentadas y termitas comedoras de humus, que se alimentan de materia orgánica y raíces muertas. En la anécica se agrupan lombrices y termitas que trasladan la hojarasca desde la superficie hacia otros horizontes más profundos, mejoran las características hidráulicas y la estructura del suelo (Anderson e Ingram, 1993).

La interacción entre los desintegradores y los diferentes tipos de detritívoros regula el proceso de descomposición de la hojarasca. Se presenta en tres niveles, según Begon, Haper y Townsend, (1988): 1) tramas alimentarias entre microorganismos y microfauna; 2) transformaciones de hojarasca en material fragmentado y materia fecal, por la mesofauna y algunos de la macrofauna; y 3) la macrofauna, que son los organismos que interactúan con los microorganismos mediante relaciones mutualistas como rumen externo e interno, y que además mejoran la estructura del suelo. El papel fundamental de estos organismos es el reciclaje de nutrientes.

2.4. Cadena trófica del suelo

Aunque no es evidente a simple vista, un suelo sano es un sistema vivo dinámico que está lleno de vida. La mayoría de los organismos que viven en el suelo son microorganismos beneficiosos como hongos, bacterias, protozoos y nematodos. Aunque aparentemente insignificantes, están representados en millones en cualquier suelo, proporcionando una gama de servicios importantes que promueven el crecimiento y el vigor de las plantas.

El término colectivo para todos estos organismos es la 'red alimentaria del suelo'. Las interacciones entre estos organismos pueden proporcionar a las plantas muchos de los requisitos que necesitan para sobrevivir y florecer, que incluyen la disponibilidad y retención de nutrientes, la supresión de enfermedades y la construcción de la estructura del suelo. Sin embargo, la biología del suelo es un aspecto que se ha pasado por alto en gran medida y muchos productores prefieren conformarse con algo que ofrezca una solución rápida a corto plazo. El uso de productos químicos para matar patógenos y plagas también puede matar a los organismos beneficiosos. El resultado es un ambiente estéril propicio para más enfermedades y deficiencias de nutrientes. La solución rápida a menudo conduce a la dependencia del agricultor de más y más fertilizantes y químicos artificiales para mantener sus cultivos, ya que con cada aplicación está matando la red alimentaria natural del suelo. (Ingham E, 2020).

Una red alimentaria saludable ocurre cuando:

1. Todos los organismos que requiere una planta están presentes y funcionando.
2. Los nutrientes en el suelo se encuentran en las formas adecuadas que permitirán que una planta los absorba. Una de las funciones de una red alimentaria saludable es retener los nutrientes en formas no lixiviables que permanecen en el suelo, hasta que la planta necesita los nutrientes. En este punto, la planta "enciende" la biología adecuada para convertir los nutrientes en formas que la planta pueda absorber (pero que normalmente son muy lixiviables).

La proporción correcta de hongos a bacterias está presente y que la proporción de depredador a presa está presente, lo que garantiza que el pH del suelo, la estructura del suelo y el ciclo de nutrientes se produzcan a las tasas correctas y produzcan las

formas correctas de nutrientes que requiere la planta (Soil Foodweb Institute Australia, 2020).

2.5. Árbol filogenético de la vida

El gran desarrollo de la biología molecular durante el decenio siguiente permitió grandes avances en la investigación de los seres vivos, y por lo tanto se generaron nuevos conocimientos para su clasificación. (CCH Colegio de Ciencias Humanidades, 2020).

En 1977, Carl Woese y sus colaboradores, haciendo estudios dentro del grupo de los procariotas mediante técnicas de secuenciación a partir de unidades de tamaño 16S del ARNr, se dedicó a comparar las secuencias génicas del ARN ribosómico de diferentes bacterias, encontrando que dentro de los procariotas se habían incluido organismos que, a nivel molecular, eran muy diferentes. Así pudo establecer un árbol filogenético en función de las similitudes entre los ARN procedentes de estas especies que diferían, tanto de los procariotas como de los eucariotas.

Basado en estos estudios, más la comparación de la estructura de los lípidos de la membrana y la sensibilidad a los antibióticos, en 1990 Woese y sus colaboradores plantearon la necesidad de definir un nuevo taxón, el de Dominio, que estaría por encima del Reino y reagruparía en tres grandes dominios a todos los seres vivos, incluyendo en uno de ellos a los 5 reinos de Whittaker.

Este nuevo sistema de clasificación propone la existencia de una célula que fuera un antepasado común de todos los seres vivos, a la que denominaron progenote, que dio lugar

a tres tipos diferentes de células, cada una de las cuales representa uno de los tres dominios: Archaea (Arqueobacterias), Bacteria (Eubacteria) y Eucarya (Eucariotas).

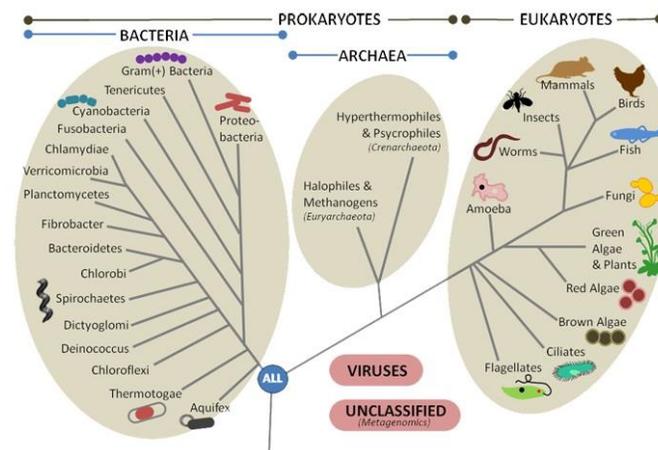


Figura 2. El árbol filogenético de los tres dominios. Carl Woese y Gary Losen (2004).

Control biológico

3.1. Definición de control biológico

Actualmente se entiende por biocontrol la reducción de la intensidad o las actividades productoras de enfermedades de un patógeno o parásito, lograda mediante la manipulación del ambiente, del hospedero o de los antagonistas del patógeno o plaga que se quiere controlar; en este último caso el biocontrol consiste en la utilización de microorganismos naturales o modificados, para reducir los efectos de organismos indeseables, favoreciendo al mismo tiempo el desarrollo de los microorganismos beneficiosos para las plantas. Los microorganismos antagonistas comprenden cualquier organismo que interfieren en la supervivencia o desarrollo de los patógenos. . (M.E. Pérez Sánchez, Abdelkader Sid Ahmed, María Emilia Candela Castillo, M. E. Requena, M. Ezziyyani, 2006).

3.2. Microorganismos que realizan control biológico

Algunos de los ejemplos de los microorganismos que se encuentran presentes en la región de la rizosfera incluyen los géneros: Bacillus, Arthrobacter, Pseudomonas, Agrobacterium, Alcaligenes, Clostridium, Flavobacterium, Corynebacterium, Micrococcus, Xanthomonas, Amanita, Tricholoma, Torrendia, Descomyces, Thelephora, Rhonosphillonia, Thermoactinomicetos, Amcolaptosis, Actinomadura (Sagar Aryal, 2020).

Tabla 1. *Bacterias solubilizadoras y con acción anti-fúngica.*

PGPR	Rasgos que promueven el crecimiento de las plantas	Referencias
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	IAA, Sideróforos, actividad antifúngica	Dey et al, (2004)
<i>Bacillus</i> sp.	P- Solubilización, Amoniac	Canbolat et al (2006)
<i>Bacillus subtilis</i>	IAA, solubilización de fosfatos	Zaidi et al. (2006)
<i>Azobacter</i> sp.	IAA, Producción de amoniac	Joseph et al. (2007)
<i>Rhizobium</i> sp. (pea)	IAA, Sideróforos, HCN, Amoniac	Wani et al. (2007)
<i>Enterobacter</i> sp.	IAA, ACC desaminasa, Sideróforos, solubilización de fosfatos	Kumar et al. (2008)
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	IAA, Sideróforos, HCN, Amoniac, solubilización de fosfatos	Ahemad and khan (2012)
<i>Bacillus</i> sp. JQ408711	IAA, Sideróforos, actividad antifúngica	Pradhan et al. (2014)

Fuente: (Avishek Pahari, 2017).

3.3. Tipos de biocontrol microbiológico

De acuerdo con lo descrito por M.E. Pérez Sánchez, Abdelkader Sid Ahmed, María Emilia Candela Castillo, M. E. Requena, M. Ezziyyani, (2006). Los tipos de biocontrol en la práctica, se pueden enfocar de tres formas: En primer lugar, está el control biológico clásico, en este sistema los microorganismos antagonistas se obtienen en su medio natural y

se utilizan en otro, donde ellos no existían antes. En este lugar la plaga o enfermedad se había establecido porque ha vencido a los microorganismos autóctonos que existían y ya no tiene enemigos naturales. La introducción de los nuevos organismos de biocontrol conduce a una reducción a largo plazo de la población de la plaga o enfermedad en los hábitats elegidos. Típicamente, el control biológico clásico ha sido el de más éxito en el sistema agro-económico o e q los cultivos de árboles, viñedos, plantas ornamentales y bosques perennes. Aunque los éxitos de la introducción del control biológico son constatables, el futuro es muy difícil de predecir. Casi solo el 30% de las introducciones han permanecido estables y la supresión con éxito de ciertas plagas y enfermedades ha ocurrido menos frecuentemente de lo esperado. La clave para el éxito en casi todos los proyectos de control biológico es el descubrimiento y la importación de enemigos naturales que produzcan altos niveles de parasitismo o depredación en los lugares nativos de la plaga o enfermedad.

Otros factores, tales como la adaptación de los enemigos naturales al clima del nuevo lugar, búsquedas adecuadas y habilidades de utilización que permita descubrir y controlar la plaga o enfermedad, cuando todavía es baja la concentración del inóculo del patógeno, parece ser el punto crítico. En segundo lugar, tenemos el control biológico conservador.

Este es el que menos se asemeja a un verdadero biocontrol, pero es la base real del manejo integrado de plagas. Consiste fundamentalmente en favorecer la abundancia de los enemigos naturales de los patógenos causantes de plagas, reduciendo influencias dañinas y re-saltando las positivas. Se consigue por medio de insecticidas de espectro reducido; cambiando el tiempo de aplicación del insecticida para evitar daños a sus enemigos naturales con ciclos de vida distintos; proporcionando habitats alternativos para que los

enemigos naturales tengan alimentación, un lugar para reproducirse o invernar y provisión de néctar ya sea por plantas que cubren el suelo o por selección de una variedad de plantas que tengan nectarios como alimento para enemigos naturales. En tercer lugar, tenemos el control biológico aumentativo. (M.E. Pérez Sánchez, Abdelkader Sid Ahmed, María Emilia Candela Castillo, M. E. Requena, M. Ezziyyani, 2006)

Con este se pueden seguir dos tácticas: el control inoculativo y el control inundativo.

El control inoculativo consiste en favorecer la llegada y el desarrollo de los enemigos naturales que se quieren combatir, previamente al inicio o crecimiento de la cosecha de las plantas a proteger, con el fin de proceder a su disminución y destrucción.

Según M.E. Pérez Sánchez, et al., 2006, este método de control biológico es la base para el control de plagas y enfermedades en muchos sistemas de invernadero. Algunos patógenos de insectos tienen numerosas ventajas sobre los pesticidas químicos convencionales.

Estos incluyen: especificidad para los organismos objetivo o a un número limitado de especies huésped, poco o ningún impacto directo sobre parásitos y depredadores invertebrados, no residuos tóxicos, compatibilidad con otros agentes de biocontrol, no dañinos a vegetales y plantas, posibilidad de control a largo plazo, adaptable a la modificación genética de la biotecnología y fácil aplicación. El control inundativo es diferente de las estrategias clásicas e inoculativas, por lo que la liberación de enemigos naturales -y no de sus descendientes- son los agentes activos de control. Típicamente, liberaciones a gran escala de enemigos naturales se realizan repetidas veces durante el ciclo de la cosecha.

3.4. Colonización e inóculo

Los biofertilizantes son cultivos mantenidos artificialmente del microorganismo del suelo que se pueden usar como inoculantes microbianos o del suelo para mejorar la fertilidad y productividad de la planta y el suelo. En otras palabras, el biofertilizante o fertilizante microbiano es una sustancia compuesta de microorganismos vivos y una mezcla de sustancias biodegradables aplicadas a semillas, superficies de plantas o suelo, que coloniza la parte interior de la planta, a través de diversos medios, como la rizosfera, los espacios intercelulares, y mejora el crecimiento y los rendimientos al aumentar la disponibilidad de nutrientes primarios para la planta huésped (Vessey, 2003; Mazid et al., 2011). También se considera como factores clave para desarrollar un sistema integrado de gestión de nutrientes con muy bajo impacto ambiental (Malusà et al., 2016).

La historia comercial de los biofertilizantes comienza con la introducción de "Nitragin" por Nobbe y Hiltner, un cultivo de laboratorio de Rhizobia en 1895, seguido del descubrimiento de Azotobacter y luego de las algas verdiazules (Ghosh, 2004; Mazid et al., 2011; Mazid y Khan, 2015; Das et al., 2015).

Las interacciones beneficiosas planta-microbioma representan una solución sostenible prometedora para mejorar la producción agrícola en lugar de fertilizantes químicos (Timmusk et al., 2017). Los bioplaguicidas y biofertilizantes forman parte de productos de base natural que se utilizan ampliamente para enriquecer la calidad del suelo y como agente de biocontrol (Miranda, 2012). Actualmente se han identificado diferentes grupos de microorganismos, los cuales pertenecen a reinos de bacterias, hongos y protozoos, estos colonizan la rizosfera o los tejidos internos de la planta y se utilizan como

biofertilizantes para la producción agrícola mejorada (Lucy et al., 2004; Smith y David, 2008; Vessey, 2003).

3.5. Competencia

La competencia es la demanda activa por encima de la inmediata. Dado que los suelos generalmente tienen formas limitadas e inaccesibles de nutrientes para la utilización microbiana; La competencia por recursos como nutrientes, oxígeno y sitios adecuados en la superficie de las raíces es un fenómeno común entre los organismos que habitan el suelo (Cawoy et al. 2011) y es un mecanismo fundamental para el control de patógenos transmitidos por el suelo. El hambre es una causa importante y común de muerte microbiana, por lo que la competencia por limitar los nutrientes puede conducir al control biológico de los fitopatógenos fúngicos (Eisendle et al. 2004). Sin embargo, la competencia tendrá lugar solo si la cepa microbiana introducida y el patógeno tienen demandas similares en términos de espacio y recursos (van Dijk y Nelson 2000). Dado que los microbios generalmente tienen requisitos comunes en términos de factores de crecimiento esenciales, se supone que la falta de nutrientes críticos, como el carbono (Alabouvette et al. 2006) y elementos minerales, como el hierro, junto con los sitios adecuados en la rizosfera, es responsable de la inhibición de Germinación de esporas de hongos en el suelo (Loper y Henkels 1997).

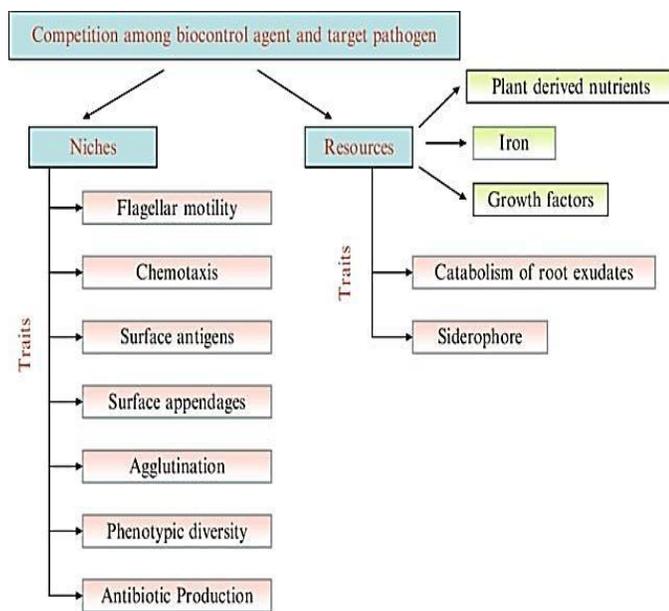


Figura 3. Competencia entre el agente de control biológico y el patógeno objetivo. Prashar, P., Kapoor, N., & Sachdeva, S. (2013)

Teniendo en cuenta el esquema anterior, la competencia entre el agente de control biológico y el patógeno objetivo. Ocurre para nichos adecuados y recursos disponibles en la rizosfera. Las posesiones de los rasgos enumerados en la figura ayudan al agente de biocontrol a competir con el patógeno controlando así la enfermedad correspondiente.

3.6. Antibiosis

Se refiere a la secreción de ciertas moléculas, por ejemplo, antibióticos, por un organismo, que tienen efectos inhibidores sobre los demás. Las rizobacterias promotoras del crecimiento de las plantas producen una gran variedad de antibióticos difusibles y volátiles en la rizósfera que previenen el crecimiento de patógenos incluso cuando se encuentran en las profundidades del tejido vegetal y también son eficaces en concentraciones bajas. PGPR: rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal. (Prashar, P., Kapoor, N., & Sachdeva, S. 2013).

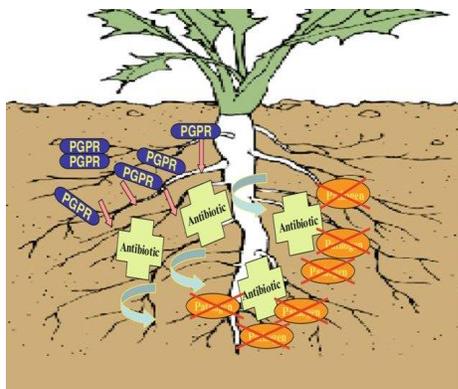


Figura 4. Antibiosis. Prashar, P., Kapoor, N., & Sachdeva, S. (2013).

Tabla 2. Antibióticos y su efecto sobre patógenos.

Antibiótico	Organismo fuente	Patógeno objetivo	Enfermedad	Referencia
Zwinermycin A	<i>B. cereus</i> UW85	<i>Pythium aphanidermatum</i>	Fruit rot (Cucumber)	Smith et al. 1993
		<i>Phytophthora medicaginis</i>	Damping off (AlfaAlfa)	Silo-Suh et al. 1994
Cyclic lipopeptides (Feogycin. Surfactin)	<i>B. subtilis</i>	<i>Fusarium graminearum</i>	Anthracnose (Pepper)	Wang et al. 2007
	<i>B. thuringiensis</i> CMB26	<i>gloeosporioides</i>		Kim et al. 2004
	<i>B. subtilis</i> RBI4	<i>Rhizoctonia solani</i>	Damping-off (tomato)	Asaka and Shoda 1996
	<i>B.</i>	<i>Colletotrichum</i>	Anthracnose	Yoshida et al.

Antibiótico	Organismo fuente	Patógeno objetivo	Enfermedad	Referencia
	<i>amyloliquefaciens</i>	<i>dematium</i>	(Mulberry)	2001
	<i>B. subtilis</i>	<i>Gibberella zeae</i>	Head blight (Wheat)	Dunlop et al. 2011
Kanosamine	<i>B. cereus</i> UW85	<i>Phytophthora medicaginis</i>	Damping-off (Alfa Alfa)	Milner et al. 1996
Peptide antibiotics (Gramicidin S and Polymyxin B)	<i>Bacillus brevis</i>	<i>Botrytis cinerea</i>	Grey mold (Strawberry)	Haggag 2008

Fuente: Prashar, P., Kapoor, N., & Sachdeva, S. 2013.

3.7. Micoparasitismo

El micoparasitismo es la forma más importante de antagonismo que implica el contacto físico directo con el micelio del huésped (Pal y Gardener, 2006 Tiwari, 1996). Implica el crecimiento tropical del micelio del hongo de control biológico hacia el patógeno objetivo seguido de un extenso enrollamiento y secreción de varias enzimas hidrolíticas que conducen a la disolución de la pared o membrana celular del patógeno (*Trichoderma harzianum*, *Rhizoctonia solani*). Varios micoparásitos pueden atacar a un solo hongo patógeno, p. Ej., *Acremonium alternatum*, *Acrodontium crateriforme*, *Ampelomyces*

quisqualis y *Gliocladium virens* son unos pocos hongos que tienen la capacidad de parasitar el patógeno tal como el mildiú polvoroso (Kiss, 2003).

Tabla 3. Agentes de biocontrol y patógeno objetivo.

Agente de biocontrol	Patógeno objetivo
<i>Minitanes de Coniothyrium</i>	<i>Sclerotinia</i> sp.
<i>Sporidesmium sclerotivorum</i>	<i>Sclerotinia menor</i>
<i>Trichoderma</i> sp.	<i>R. solani</i> , <i>Fusarium</i> sp., <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> ,
<i>Pythium nunn</i>	<i>Pythium</i> sp.
<i>Aspergillus niger</i>	<i>Macrophomina phaseolina</i>
<i>Ampelomyces quisqualis</i> ,	Hongos del mildiú polvoroso (<i>Erysiphe</i> sp., <i>Uncinula</i> sp.)

Fuente: Kiss, 2003.

Microorganismos más utilizados en el control de enfermedades

4.1. *Trichoderma* sp.

Trichoderma es un género de hongos ubicuo compuesto por algunos de los agentes de control biológico más versátiles contra una amplia gama de enfermedades de las plantas. El biocontrol de *Trichoderma* se consigue a través de varios mecanismos con una combinación de dos o más mecanismos actuando juntos, probablemente responsable de la versatilidad de su biocontrol. Es un micoparásito bien conocido que secreta enzimas que degradan la pared celular y otros compuestos que pueden matar directamente al patógeno diana, también produce antibióticos, peptaibols y otros compuestos bioactivos que tienen efecto antibiosis. Un colonizador de la rizosfera competente, puede competir por espacio y nutrientes con otros microorganismos en la rizosfera. Sin embargo, su propiedad descubierta más recientemente, para la cual ya existen algunas revisiones críticas, es su capacidad para inducir resistencia local y sistémica a una amplia variedad de plantas. En esta revisión, primero resumimos los múltiples efectos beneficiosos de *Trichoderma* spp. en plantas y discutir algunos rudimentos de la resistencia sistémica adquirida y la resistencia sistémica inducida, seguidas de los avances recientes sobre la resistencia mejorada de las plantas contra los patógenos de las plantas provocados por la aplicación de varias cepas de control biológico eficaces de *Trichoderma* spp. y finalmente relacionar estos resultados con el control biológico de enfermedades de las plantas (MGB Saldajeno H.A. Naznin M.M. Elsharkawy M. Shimizu M. Hyakumachi, 2014).

4.2. *Bacillus* sp.

El género *Bacillus* ha sido ampliamente estudiado debido a su alta abundancia y diversidad en los agro-sistemas (suelo, agua y planta), siendo significativamente mayor su población en comparación a otros géneros microbianos, y además por sus diversas capacidades metabólicas, destacando su capacidad para producir antibióticos y otros metabolitos antimicrobianos y antifúngicos (Tejera-Hernández et al., 2011). Por ejemplo, diversos estudios moleculares han revelado que un porcentaje significativo del genoma de cepas del género *Bacillus* está relacionado con la producción de metabolitos secundarios asociados al control de fitopatógenos, i.e. el 8.5 y 4% del genoma de las cepas *B. amyloliquefaciens* FZB42 y *B. subtilis* 168, respectivamente (Raaijmakers y Mazzola, 2012). Esto justifica el amplio uso de cepas de este género bacteriano como ACB para el control de enfermedades que afectan los cultivos agrícolas. Sin embargo, la eficiencia de cepas sin riesgos a la bioseguridad del género *Bacillus* utilizadas como Agente de Control Biológico ACB es maximizada por su introducción efectiva al agrosistema, induciendo sus mecanismos de control biológico.

El género *Bacillus* fue reportado por primera vez por Cohn (1872), quien lo describió como bacterias productoras de endosporas resistentes al calor. Las especies de *Bacillus* pertenecen al Reino Bacteria; Filo Firmicutes; Clase Bacilli; Orden Bacillales y Familia Bacillaceae (Maughan y van der Auwera, 2011). Actualmente, el género incluye más de 336 especies, las cuales por su similitud genética pueden clasificarse en distintos grupos, siendo los más destacados: a) el grupo de *B. cereus*, asociado a patogenicidad, que incluye a *B. cereus-anthraxis-thuringiensis*; b) los bacilos ambientales que son caracterizados por su presencia en distintos hábitats, como el grupo de *Bacillus subtilis*, comprendido por *B. subtilis-licheniformis-pumilus*; c) el grupo de *B. clausii-halodurans*; y

d) el grupo que incluye a *Bacillus* sp. NRRLB-14911-coahuilensis (Alcaraz et al., 2010; LPSN, 2016).

Las especies de *Bacillus* se encuentran ampliamente distribuidas a nivel mundial debido a su habilidad para formar endosporas, característica que les confiere resistencia y potencia su aislamiento en diversos hábitats, tanto ecosistemas acuáticos como terrestres, e incluso en ambientes bajo condiciones extremas (Tejera-Hernández et al., 2011). Sin embargo, el suelo es considerado el principal reservorio de este género bacteriano, debido a que la mayoría de especies de *Bacillus* son saprófitas pudiendo utilizar la gran diversidad de sustratos orgánicos presentes en el suelo, siendo ésta una matriz compleja para el establecimiento de una gran diversidad genética y funcional de especies microbianas (McSpadden, 2004). Por lo cual, múltiples especies de *Bacillus* pueden desarrollarse en los suelos, cuyos recuentos cultivables se encuentra en el intervalo de log 3 a log 6 por gramo de peso fresco de suelo, esencialmente en especies similares genéticamente al grupo de *B. subtilis* y *B. cereus* (Vargas-Ayala et al., 2000). No obstante que estudios de ARNr en suelo contradicen la abundancia relativa de especies cultivables y no cultivables de este género bacteriano (Kumar et al., 2011).

Bajo un enfoque dirigido a la sustentabilidad agrícola se han realizado escasas investigaciones con el objetivo de comprender la diversidad y dinámica poblacional específica de *Bacillus* en suelos rizosféricos, donde las comunidades bacterianas que habitan la rizósfera responden particularmente a la fertilidad del suelo y los exudados de las raíces de las plantas, los cuales varían con la fenología y genotipo vegetal (de Souza et al., 2015), por lo que bacterias que interaccionen con las plantas y presenten capacidades asociativas, endofíticas o procesos simbióticos para adaptarse a las condiciones rizosféricas

son reconocidas como potenciales inoculantes microbianos. Rudrappa et al. (2008) reportaron que la producción de biopelículas de *B. subtilis* FB17 es un mecanismo de colonización rizosférica, esto debido a su atracción por el ácido L-málico secretado por las raíces de *Arabidopsis thaliana* e inducido por el patógeno foliar *Pseudomonas syringae* pv tomato. Por otra parte, Kumar et al. (2011), López-Fernández et al. (2016) y Selim et al. (2016) señalan que diversas especies de *Bacillus* pueden ser residentes de tejidos internos en plantas de uva (*Vitis vinífera*) y algodón (*Gossypium barbadense* L). Estas características tienen un papel determinante en el desarrollo, colonización y función de *Bacillus* estimulando su asociación con la planta hospedera, cuyas características de control biológico son potenciadas.

Entre las características del género *Bacillus* destaca su crecimiento aerobio o en ocasiones anaerobio facultativo, Gram positivas, morfología bacilar, movilidad flagelar, y tamaño variable (0.5 a 10 μm), su crecimiento óptimo ocurre a pH neutro, presentando un amplio intervalo de temperaturas de crecimiento, aunque la mayoría de las especies son mesófilas (temperatura entre 30 y 45 °C), su diversidad metabólica asociada a la promoción del crecimiento vegetal y control de patógenos (Tejera-Hernández et al., 2011); además destaca su capacidad de producir endosporas (ovales o cilíndricas) como mecanismo de resistencia a diversos tipos de estrés (Calvo y Zúñiga, 2010; Layton et al., 2011; Tejera-Hernández et al., 2011).

4.4. *Azospirillum* sp.

Azospirillum es un género de bacterias gram negativas de vida libre capaz de fijar el nitrógeno. Ha sido conocida por muchos años como promotor del crecimiento de

las plantas, ya que es un organismo beneficioso para los cultivos, por ello, pertenecen al grupo de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal y han sido aisladas de la rizosfera de gramíneas y cereales. Desde el punto de vista de la agricultura, *Azospirillum* es un género muy estudiado por sus propiedades, esta bacteria es capaz de usar los nutrientes excretados por la planta y se encarga de la fijación del nitrógeno atmosférico. Gracias a todas estas características favorables, es incluida en la formulación de biofertilizantes para ser aplicados en los sistemas de agricultura alternativos (Gelambi, 2020).

El género es fácilmente identificado por su forma vibroide o de varilla gruesa, el pleomorfismo y la movilidad en espiral. Pueden ser rectas o estar curvadas ligeramente, su diámetro es de aproximadamente 1 μm y de 2,1 a 3,8 de longitud. Generalmente las puntas son afiladas y las bacterias del género *Azospirillum* presentan una motilidad evidente, presentando un patrón de flagelos polares y laterales. El primer grupo de flagelos se usa principalmente para nadar, mientras que el segundo está relacionado con el desplazamiento en superficies sólidas. Algunas especies sólo presentan el flagelo polar, esta motilidad le permite a la bacteria desplazarse a zonas donde las condiciones sean propias para su crecimiento. Además, presentan atracción química hacia ácidos orgánicos, compuestos aromáticos, azúcares y aminoácidos. También son capaces de moverse hacia regiones con concentraciones óptimas de oxígeno, cuando se enfrentan a condiciones adversas – como la desecación o escasez de nutrientes – la bacteria puede tomar formas de quistes y desarrollar una cubierta externa compuesta de polisacáridos (Gelambi, 2020).

Se ha reportado que la asociación de la bacteria con las plantas es beneficiosa para el crecimiento del vegetal. Este fenómeno ocurre gracias a distintos mecanismos, que producen la fijación del nitrógeno y la producción de hormonas vegetales como auxinas, giberilinas, citoquininas y ácido absísico, que contribuyen al desarrollo de la planta, cuantitativamente, la hormona más importante es la auxina – ácido indolacético (IAA), derivado del aminoácido triptófano – y es sintetizada por al menos dos rutas metabólicas dentro de la bacteria. Sin embargo, no existe evidencia directa de la participación de la auxina en el incremento del crecimiento de la planta. Las giberilinas, además de participar en el crecimiento, estimulan la división celular y la germinación de la semilla. Las características de las plantas inoculadas por esta bacteria incluyen el incremento en la longitud y en el número de las raíces ubicadas lateralmente, el incremento en el número de pelos radicales y el aumento en el peso seco de la raíz. También incrementan los procesos de respiración celular (Gelambi, 2020).

4.3. Micorrizas

Las micorrizas son un tipo de relación simbiótica que se da entre plantas y hongos. Se define específicamente como la asociación entre las raíces de algunas plantas y ciertos hongos no patógenos para ellas. El término deriva de los vocablos griegos *mykos* y *rhiza*, que significan respectivamente “hongo” y “raíz” (Parada, 2020). Entre los hongos y los organismos vegetales se han descrito dos tipos de relaciones simbióticas: los líquenes y las micorrizas. Mientras que los líquenes normalmente consisten en la interacción permanente entre un alga y un hongo, las micorrizas corresponden a la asociación entre un hongo y las raíces de una planta vascular (Parada, 2020). Como toda relación interespecífica de tipo simbiosis, las micorrizas representan una interacción sumamente estrecha y que perdura en el tiempo, donde los dos simbiositos, es decir, el hongo y la planta, reciben beneficios mutuos de dicha interacción (Parada, 2020). Las micorrizas son sumamente comunes; se piensa que cerca del 90% de las especies de plantas vasculares descritas en la actualidad, tanto silvestres como cultivadas por el hombre, se asocia simbióticamente con un hongo a través de sus raíces; sea cual sea el tipo de micorriza de que se trate el resultado siempre es el mismo: la planta consigue un aumento en la absorción de minerales y cierta protección frente a nemátodos u hongos patógenos, y el hongo obtiene a cambio azúcares y sustancias orgánicas nutritivas derivadas del tejido vegetal (Parada, 2020).

Las micorrizas son asociaciones simbióticas muy importantes para las dos especies involucradas, especialmente en lo que se refiere a la nutrición de los simbiositos. Los hongos micorrícicos aportan beneficios sustanciales para las plantas hospedadoras, pues contribuyen a su capacidad de absorber agua y nutrientes minerales esenciales como el

fósforo (P), el zinc (Zn), el manganeso (Mn) y el cobre (Cu); además de la capacidad de absorción aumentada, la planta hospedadora recibe protección frente a la invasión de otros hongos patógenos, así como al ataque de gusanos redondos como los nemátodos del suelo; La planta hospedadora provee al hongo micorrícico soporte estructural y material alimenticio en forma de vitaminas y otras sustancias orgánicas elaboradas (Parada, 2020).

En la literatura se conocen dos tipos principales de micorrizas, las endomicorrizas y las ectomicorrizas. De estos dos tipos, las endomicorrizas representan quizá el 80% de todas las micorrizas encontradas entre las plantas vasculares (Parada, 2020).

Las Endomicorrizas son el tipo de micorriza en el cual las hifas del hongo penetran las células de la raíz de la planta, estableciendo un contacto muy estrecho entre ambas especies, El componente fúngico de la mayor parte de las endomicorrizas consiste en un hongo de tipo glomeromicota, que es un grupo de hongos simbioses estrictos; es importante decir que las relaciones endomicorrícicas no son muy específicas, de lo que se entiende que un hongo puede “colonizar” indistintamente varios tipos de plantas (Parada, 2020); las micorrizas arbusculares y vesiculares-arbusculares, actúan cuando las hifas de un hongo endomicorrícico penetran la pared de las células del córtex de la raíz de una planta hospedadora, usualmente estas se acomodan en su interior formando unas estructuras muy ramificadas que han sido denominadas “arbusculos”, la formación de estos arbusculos define a lo que se conoce como micorrizas arbusculares, que representan la mayor parte de los hongos endomicorrícicos, estos arbusculos no atraviesan el protoplasto celular, es decir, no penetran la membrana plasmática para llegar al citosol, sino que solamente atraviesan la pared celular e inducen la formación de pronunciadas invaginaciones en la membrana

celular en las células corticales. (Parada, 2020); por otra parte las Ectomicorrizas se caracterizan debido a que cuando las hifas de un hongo micorrícico rodean las células de la raíz, pero no penetran la pared celular, estos se conocen como ectomicorrícicos; los hongos que participan en este tipo de micorriza usualmente pertenecen al grupo de los agaromicota, aunque también pueden encontrarse ascomicetos, las ectomicorrizas son comunes en algunos árboles y arbustos de climas templados y tropicales entre los que se incluyen los robles, los sauces, los álamos, los pinos, los eucaliptos, entre otros.; en las especies donde se consigue este tipo de asociación, aparentemente la planta presenta considerablemente más resistencia a condiciones hostiles como la sequía y el congelamiento. (Parada, 2020).

Las ectomicorrizas se caracterizan porque las hifas del componente fúngico en la dupla simbiótica no penetran las células corticales de la raíz, sino que crecen, en algunos casos, entre las células, formando una especie de red sumamente ramificada conocida como la red de Hartig, a menudo, esta red de Hartig se forma entre las células de la epidermis y de la corteza radical, eventualmente rodeando la mayor parte de las células en ambos tejidos; otra característica definitoria de los hongos ectomicorrícicos es la formación de un “manto” o “cubierta” de hifas que recubre la superficie de la raíz, con lo que hebras derivadas del micelio se extienden desde este manto hacia el suelo del que captan algunos nutrientes para la planta. (Parada, 2020).

Entomopatógenos

5.1. *Metharizium* sp.

El hongo *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin es uno de los principales entomopatógenos empleado como bioinsecticida. Este hongo tiene, un amplio rango de insectos hospederos de diferentes órdenes, entre los que se incluyen plagas de lepidópteros de importancia agrícola (Faria y Wraight 2007). El ciclo biológico de este HE comprende una fase infectiva celular en el interior del insecto y otra saprofita cuando el hongo completa su ciclo al aprovechar los nutrientes del cadáver del insecto (Khachatourians y Qazi 2008). Los insectos muertos por este hongo son inicialmente cubiertos de forma total por micelio de color blanco, el cual se torna verde cuando el hongo esporula (Wraight et al. 2007). En cuanto a los mecanismos de acción de los HE presentan una ventaja sobre las bacterias y los virus debido a que éstos deben ser ingeridos por el insecto para actuar. En el caso de los HE pueden ingresar por contacto a través de un proceso de infección en la cutícula del insecto.

Debido al interés en estos hongos para el control de plagas de los cultivos hortofrutícolas se continúa en la búsqueda de estrategias para mejorar el proceso de producción a fin de ser empleados en la elaboración de bioinsecticidas. Algunos ejemplos son los trabajos realizados por Pham et al. (2010) quienes produjeron *B. bassiana* por fermentación en sólidos a través del arroz en bolsas de polietileno (14 días a 25 °C) en las que colocaron un inóculo de 107 esporas/g de arroz. La producción obtenida en este caso fue de 4.05 g de esporas/100 g de arroz. Otra investigación reciente es la realizada por Taylor et al. (2013) quienes produjeron *B. bassiana* en arroz con una producción de 108 a 109 esporas/g de arroz.

La eficacia de los HE usados en campo se ve afectada por factores abióticos como la radiación solar, la temperatura y la humedad (Rangel et al. 2005) por lo que se requiere adicionar adyuvantes que permitan proteger al ingrediente activo (IA) para incrementar su persistencia y residualidad. En las nuevas tecnologías que involucran a los agentes de control biológico se incluye el diseño y la elaboración de bioinsecticidas de hongos, bacterias y virus a través de formulaciones microencapsuladas por el proceso de secado por aspersión (SA). En el caso de los hongos el IA son esporas y micelio, los cuales se pueden encapsular en una matriz de adyuvantes y fagoestimulantes para mejorar su efectividad en controlar las poblaciones del insecto blanco (Behle et al. 1997).

5.2. *Beauveria bassiana*

En 1835, el entomólogo BASSI Agostino de Lodi, descubrió el agente causal de la enfermedad de la pebrina que convirtió legiones de gusanos de seda italianos en momias blancas (Lord, 2005). El aspecto característico de los cadáveres cubiertos de una capa de polvo blanco dio lugar al descriptor "enfermedad de la muscardina blanca". Más tarde, BEAUVÉRIE Jean describió este patógeno como *Botrytis bassiana* (De Kouassi 2001). El género *Beauveria* fue formal solo alrededor del siglo XX cuando Vuillemin (1912) afirmó que *Botrytis bassiana* (Bals.-Criv) era una especie que pertenece al género *Beauveria* (Halouane 2008).

El hongo *B. bassiana* (Bals.) Vuill. Era de origen terrígeno, saprófito omnipresente y patógeno para muchos órdenes de insectos como: Lepidoptera, Hemiptera, Coleoptera, Hymenoptera, y Orthoptera (Sabbahi 2008; Li et al. 2001). Las esporas asexuales de *B.*

bassiana son conidios de color blanco a amarillento que llevan largos filamentos transparentes y septales en zigzag. El diámetro de las hifas varía entre 2,5 μm y 25 μm .

B. bassiana puede producir diferentes tipos de conidios dependiendo del entorno. En presencia de aire (ambiente aeróbico), el hongo produce conidios esféricos (de 1 a 4 μm de diámetro) u ovalados (de 1,55 a 5,5 $\mu\text{m} \times 1$ a 3 μm de tamaño), pero en condiciones anaeróbicas produce blastosporas de forma ovalada (2-3 μm de diámetro y 7 μm de longitud). Las blastosporas y los conidios son todos órganos infecciosos (Weiser 1972; Lipa 1975; Sabbahi 2008).

Diferentes estudios revelaron el potencial insecticida de *B. bassiana* como micopesticidas y hongos endofíticos comerciales (Jaber y Ownley 2018). Todos los estudios involucraron la aplicación directa del entomopatógeno para atacar plagas o la aplicación indirecta mediante la inoculación de la planta hospedante de la plaga. En el último caso, *B. bassiana* se considera un endófito de la planta hospedante. En la estrategia de colonización endofítica, los métodos de inoculación de especies vegetales consisten en recubrimiento de semillas e inyección de plántulas (Brownbridge et al. 2012), inmersión de radículas, raíces o rizomas (Posada y Vega 2005, 2006), inyección de tallo (Posada et al. 2007); Tefera y Vidal 2009), empapado del suelo (Posada et al. 2007) y fumigación foliar (Gurulingappa et al. 2010; Posada et al. 2007).

Microorganismos de tipo comercial para control biológico

La década de 1960 fue la década de la revolución verde. Nos salvó de la mano de la escasez de alimentos y el hambre. Sin embargo, fue el resultado del aumento de la superficie cultivada mediante la tala de la cubierta forestal, el desarrollo de nuevas variedades y el aporte de fertilizantes inorgánicos para sustentar estas variedades. Posteriormente, se denominó “agricultura de explotación” por su dependencia del uso extensivo de fertilizantes, pesticidas, bactericidas y fungicidas. Todos estos agroquímicos son ampliamente conocidos por dañar el medio ambiente y la salud humana, aumentando la demanda de productos orgánicos entre los consumidores (Noble y Ruaysoongnem 2010).

Para cumplir con estos requisitos, es necesario desarrollar enfoques innovadores, sostenibles y rentables para la protección y mejora de cultivos. Las plantas y los microbios viven en una relación intrincadamente equilibrada que incluye un comportamiento sinérgico o antagónico. Las interacciones sinérgicas muestran perspectivas prometedoras para mejorar el escenario agrícola actual mediante el desarrollo de inoculantes microbianos que son equivalentes a sus contrapartes agroquímicos para aumentar la productividad de los cultivos y proporcionar resistencia al estrés ambiental sin causar ningún desequilibrio en el ecosistema. La comercialización de estos inoculantes microbianos puede resultar en la solución de muchos problemas que los agricultores y los ambientalistas enfrentan en todo el mundo.

Los inoculantes / biofertilizantes microbianos son la preparación que contiene células vivas o latentes de cepas microbianas eficientes capaces de fijación de nitrógeno, solubilización de fosfato y zinc o actividad celulolítica. Aumentan el ritmo de los procesos

microbianos que aumentan la disponibilidad de nutrientes que las plantas pueden absorber bien. El inoculante es el medio para extraer bacterias vivas de la fábrica e introducirlas en las plantas (Tittabutr et al. 2007). Además, estimulan las fitohormonas proporcionando una mejor absorción de nutrientes y una mayor tolerancia al estrés mientras mantienen la salud del suelo y el medio ambiente. La administración de incluso una pequeña cantidad de biofertilizante es suficiente para obtener los resultados deseados, ya que cada gramo contiene al menos 10 millones de células viables de la cepa seleccionada (Anandaraj y Delapierre 2010).

Los primeros inoculantes bacterianos que se pusieron en práctica fueron los cultivos de *Rhizobium* spp. en leguminosas (Fages 1992; Nehra y Choudhary 2015) seguido de *Azotobacter*, algas verdiazules (BGA) y otro grupo diverso de microorganismos (Bashan 1998). *Azospirillum* y micorrizas vesicular-arbuscular (VAM) son descubrimientos razonablemente recientes. A finales de la década de 1970, *Pseudomonas* spp. (Glick 1995; Glick y Bashan 1997) mostraron un potencial de mejora del crecimiento en las plantas no leguminosas (Dôbereiner y Day 1976). *Acetobacter*, *Bacillus* y *Flavobacterium* son algunos otros microorganismos con potencial de promover el crecimiento de las plantas (Tang y Yang 1997).

6.1. Productos microbiológicos comerciales, autorizados en Colombia, para el control de enfermedades

Existe normatividad vigente en lo relacionado a los productos comerciales más utilizados en Colombia asociados a microorganismos; la entidad que regula lo relacionado con este aspecto es el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) en cabeza del Ministerio

de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR). El ICA, relaciona los productos autorizados para la utilización en el agro, los cuales se pueden consultar en la tabla 4.

Tabla 4. *Productos autorizados como agente microbial por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA).*

Nombre comercial del producto	ingrediente(s) activo(s) de la formulación	clasificación de productos área	tipo de producto	blanco biológico n/científico
BACTOX WP	<i>Bacillus subtilis</i>	agente de control biológico	agente microbial	1. <i>Botrytis cinerea</i> / 2. <i>Rhizoctonia solani</i> / 3. <i>Alternaria solani</i> / 4. <i>Pseudomonas syringae</i> / 5. <i>Ramularia areola</i>
TRICHOX WP	<i>Trichoderma harzianum</i>	agente de control biológico	agente microbial	1. <i>Fusarium sp</i> / 2. <i>Rhizoctonia solani</i>
BACTOX SL	<i>Bacillus subtilis</i>	agente de control biológico/ inoculante biológico	agente microbial/ promotor crecimiento vegetal	1. <i>Mycosphaerella fijensis</i> / 2. <i>Ramularia oreola</i> / 3. <i>Alternaria solani</i> / 4. <i>Fusarium oxysporum</i> / 5. <i>Phytophthora cinnamomi</i> / 6. <i>Phytophthora parasitica</i> / 7. <i>Colletotrichum gloesporoides</i> / 8. <i>Colletotrichum acutatum</i>
ACTYBAC SC	<i>Streptomyces racemochromogenes</i>	agente de control biológico	agente microbial	1. <i>Burkholderia glumae</i> / 2. <i>Pseudomonas fuscavaginae</i>
TRICHODEX 25	<i>Trichoderma harzianum T-39</i>	agente de control biológico	agente microbial	1. <i>Botrytis cinerrea</i>
MYCOBAC WP	<i>Trichoderma lignorum</i>	agente de control biológico	agente microbial	1. <i>Fusarium oxysporum</i> / 2. <i>Rhizoctonia solani kuhn</i> /

Nombre comercial del producto	ingrediente(s) activo(s) de la formulación	clasificación de productos área	tipo de producto	blanco biológico n/científico
				3. <i>Fusarium oxysporum sp. Lycopersici</i>
TRICHO D. WP	<i>Trichoderma harzianum</i>	agente de control biológico	agente microbial	1. <i>Rhizoctonia solani</i> / 2. <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> / 3. <i>Ceratocystis fimbriata</i>
FITOTRIPEN WP	<i>Trichoderma harzianum</i> <i>Trichoderma koningii</i> <i>Trichoderma viride</i>	agente de control biológico	agente microbial	1. <i>Rhizoctonia solani</i> / 2. <i>Phytophthora spp</i>
BIOREGULAX WP	<i>Trichoderma harzianum</i>	agente de control biológico	agente microbial	1. <i>Rhizoctonia solani</i>
BIOFUNGO WP	<i>Trichoderma harzianum</i>	agente de control biológico	agente microbial	1. <i>Rhizoctonia solani</i> / 2. <i>Sclerotinia sclerotiorum</i>
TRICHOGEN WP	<i>Trichoderma lignorum</i>	agente de control biológico	agente microbial	1. <i>Rhizoctonia solani</i>
TRIFESOL WP	<i>Trichoderma viride</i>	agente de control biológico	agente microbial	1. <i>Rhizoctonia solani</i>
ANTAGON WP	<i>Trichoderma harzianum</i>	agente de control biológico	agente microbial	1. <i>Rhizoctonia solani</i> / 2. <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> / 3. <i>Fusarium oxysporum</i> / 4. <i>Fusarium roseum</i>
AGROGUARD®	<i>Trichoderma harzianum DSM 14944</i>	agente de control biológico	agente microbial	1. <i>Botrytis cinerea</i>
TRICHOBIOL WP	<i>Trichoderma lignorum</i>	agente de control biológico	agente microbial	1. <i>Rhizoctonia solani</i>
RHAPSODY® 1.34 SC	<i>Bacillus subtilis</i>	agente de control biológico	agente microbial	1. <i>Phytophthora Infestans</i> / 2. <i>Sphaeroteca pannosa</i>
TRICHOLLANOS WP	<i>Trichoderma harzianum</i>	agente de control biológico	agente microbial	1. <i>Rhizoctonia solani</i>
TRIFESOL SC	<i>Trichoderma viride</i>	agente de control	agente	1. <i>Rhizoctonia solani</i>

Nombre comercial del producto	ingrediente(s) activo(s) de la formulación	clasificación de productos área	tipo de producto	blanco biológico n/científico
		biológico	microbial	
TRICHOTROPICO WP	<i>Trichoderma harzianum</i> & <i>Trichoderma koningii</i>	agente de control biológico	agente microbial	1. <i>Rhizoctonia solani</i>
FOLIGUARD SC	<i>Trichoderma harzianum</i> CEPA DSM 14944	agente de control biológico	agente microbial	1. <i>Botrytis cinerea</i> / 2. <i>Damping off</i> / 3. <i>Alternaria solani</i>
TROPIMEZCLA WP	<i>Beauveria bassiana</i> <i>Metarhizium anisopliae</i> <i>Paecilomyces lilacinus</i> <i>Trichoderma spp</i> <i>Saccharomyces cerevisiae</i> <i>Trichoderma sp</i>	agente de control biológico	agente microbial	1. <i>Alternaria spp</i>
BOTRYCID	<i>Burkholderia cepacia</i>	agente de control biológico	agente microbial	1. <i>Botrytis cinerea</i>
PRQTECTOR WP	<i>Trichoderma harzianum</i>	agente de control biológico	agente microbial	1. <i>Fusarium oxysporum</i>
BIODERMA	<i>Trichoderma harzianum</i>	agente de control biológico	agente microbial	1. <i>Rhizoctonia solani</i>
FITOBAC	<i>Trichoderma harzianum</i>	agente de control biológico	agente microbial	1. <i>Rhizoctonia spp</i>
SONATA ® 1.38 SC	<i>Bacillus pumilis</i> RAZA (QST 2808)	agente de control biológico	agente microbial	1. <i>Sphaeroteca pannosa</i> / 2. <i>Phytophthora infestans</i> / 3. <i>Mycosphaerella fijiensis</i> / 4. <i>Pyricularia oryzae</i> / 5. <i>Alternaria spp</i>
PROPHYTEX EC	<i>Bacillus subtilis</i>	agente de control biológico	agente microbial	1. <i>Mycosphaerella fijiensis</i>
TRICHOFUS WP	<i>Trichoderma harzianum</i>	agente de control biológico	agente microbial	1. <i>Rhizoctonia solani</i> / 2. <i>Sclerotinia sclerotiorum</i> / 3. <i>Fusarium spp</i>

Nombre comercial del producto	ingrediente(s) activo(s) de la formulación	clasificación de productos área	tipo de producto	blanco biológico n/científico
TRIFESOL 1000 WP	<i>Trichoderma viride</i>	agente de control biológico	agente microbial	1. <i>Rhizoctonia solani</i>
TRIFESOL 1000 SC	<i>Trichoderma viride</i>	agente de control biológico	agente microbial	1. <i>Rhizoctonia solani</i>
AGROINT-T	<i>Trichoderma harzianum</i>	agente de control biológico	agente microbial	1. <i>Rhizoctonia solani</i>
TRIBIOL WG	<i>Trichoderma harzianum</i>	agente de control biológico	agente microbial	1. <i>Rhizoctonia solani</i>
BLINDER SC MYCROS	<i>Trichoderma harzianum</i> CEPA BTH003	agente de control biológico	agente microbial	1. <i>Botrytis cinerea</i> / 2. <i>Rhizoctonia solani</i>
SUBTICROP SL®	<i>Bacillus subtilis</i>	agente de control biológico	agente microbial	1. <i>Mycosphaerella fijiensis</i>
FUNGIGRASP WP	<i>Trichoderma harzianum</i>	agente de control biológico	agente microbial	1. <i>Fusarium spp</i>
SAFERSOIL WP	<i>Trichoderma asperellum</i> <i>Trichoderma atroviride</i> <i>Trichoderma harzianum</i> <i>Paecilomyces lilacinus</i>	agente de control biológico	agente microbial	1. <i>Rhizoctonia solani</i> / 2. <i>Meloidogyne spp</i>
SUBTIKIND EC	<i>Bacillus subtilis cepa B-01</i>	agente de control biológico	agente microbial	1. <i>Mycosphaerella fijiensis morelet</i>
BAKTILLIS MEZFER	<i>Bacillus subtilis</i>	agente de control biológico	agente microbial	1. <i>Mycosphaerella fijiensis morelet</i>
TRICOTEC® WP	<i>Trichoderma koningiopsis</i>	agente de control biológico	agente microbial	1. <i>Fusarium oxysporum</i>
PRO-ROOT	<i>Trichoderma viride</i>	agente microbiano		1. <i>Sclerotinia sclerotium</i> / 2. <i>Botrytis cinerea</i>
PROMOBAC	<i>Bacillus subtilis</i> , <i>Bacillus pumilis</i> , <i>Bacillus thuringiensis var Kurstaki</i> , <i>Bacillus amyloliquefaciens</i>	inoculante biológico	promotor de crecimiento vegetal	1. <i>Fusarium</i>
ACTYBAC WP	<i>Streptomyces racemochromogenes</i>	agente de control biológico	agente microbial	1. <i>Burkhalderia glumae</i> / 2. <i>Pseudomonas fuscavaginae</i>

Nombre comercial del producto	ingrediente(s) activo(s) de la formulación	clasificación de productos área	tipo de producto	blanco biológico n/científico
TRICHOGEL® GL	<i>Trichoderma harzianum</i> <i>Trichoderma koningii</i>	agente de control biológico	agente microbial	1. <i>Rhizoctonia solani</i>
BACTOFIT	<i>Bacillus subtilis</i>	agente de control biológico	agente microbial	1. <i>Botrytis cinerea</i>
ACTYBAC 100 SC	<i>Streptomyces racemachromagenes</i>	agente de control biológico	agente microbial	1. <i>Burkholderia glumae</i> / 2. <i>Pseudomonas fuscovaginae</i> / 3. <i>Fusarium oxysporium</i>
TRIFESOL 100 SC	<i>Trichoderma viride</i>	agente de control biológico	agente microbial	1. <i>Rhizoctonia solani</i> / 2. <i>Bipolaris oryzae</i> / 3. <i>Sarocladium oryzae</i> / 4. <i>Gaeumannomyces graminis</i>
TRIFESOL 100 WP	<i>Trichoderma viride</i>	agente de control biológico	agente microbial	1. <i>Rhizoctonia solani</i> / 2. <i>Bipolaris oryzae</i> / 3. <i>Sarocladium oryzae</i> / 4. <i>Gaeumannomyces graminis</i>
FOSFOBIOL 100 SC	<i>Penicillium janthinellum</i>	inoculante biológico	solubilizador de fosfatos	1. <i>Penicillium janthinellum</i>
BIOTRICO WP	<i>Trichoderma harzianum</i>	agente microbial		1. <i>Rhizoctonia solani</i>
BIOHAR FORTE	<i>Trichoderma spp.</i> (<i>T. Harzanium</i> , <i>T. koningii</i> , <i>T. asperellum</i> , <i>T. viridae</i>), <i>Bacillus polymyxa inertes</i>	inoculante biológico	promotor de crecimiento	1. <i>Trichoderma spp</i> / 2. <i>Bacillus polymyxa</i>
MYCOUP®	<i>Glomus iranicum</i> var. <i>Tenuihypharum</i>	inoculante biológico	promotor de crecimiento	1. <i>Glomus iranicum</i> var. / 2. <i>Tenuihypharum</i>
AMYLO-X® SC	<i>Bacillus amyloliquefaciens cepa D747</i>	agente de control biológico	agente microbial	1. <i>Rhizoctonia solani kuhn</i> / 2. <i>Sphaerothecapannosa</i>

Nombre comercial del producto	<i>ingrediente(s) activo(s) de la formulación</i>	clasificación de productos área	tipo de producto	<i>blanco biológico n/científico</i>
				/ 3. <i>Colletotrichum gloeosporoides</i> PENZ
TRICOTEC® WG	<i>Trichoderma koningiopsis</i>	agente microbial	biocontrolador	1. <i>Fusarium oxysporum</i> / 2. <i>Rhizoctonia solan</i> / 3. <i>Sclerotinia minor</i> / 4. <i>Botriytis cinerea</i>

Fuente: ICA, 2021.

Conclusiones

El suelo es considerado un organismo vivo y un recurso finito, en él se llevan una serie de complejas funciones donde interactúan diferentes seres vivos, con factores bióticos y abióticos, en un sistema que los edafólogos y biólogos han determinado como “interfaz o cadena trófica del suelo”, la comprensión y el funcionamiento de este complejo procedimiento es pieza clave para interpretar las relaciones de los microorganismos con las plantas.

Dentro de las redes tróficas del suelo existen organismos descomponedores que transforman la hojarasca, los desechos orgánicos en materia orgánica (MO), esta MO tiene propiedades fundamentales para la sanidad del suelo y las plantas que lo habitan.

La materia orgánica del suelo tiene un impacto enorme en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo y por ello también en las diferentes funciones del suelo, teniendo en cuenta estos hechos la MO, desempeña un papel importante para el suelo, los agricultores la sociedad, el medio ambiente y el clima, uno de los beneficios de MO son las propiedades físicas, es el aumento de la estabilidad de los agregados que se traduce en la reducción de la formación de costras y mejor infiltración del agua y en una mejora del espacio porosos, un mejor distribución del aire al aumentar el contenido de MO, también se mejora la capacidad de retención de agua, estas características son extremadamente importantes si consideramos la creciente ocurrencia de fenómenos meteorológicos severos y un clima cambiante.

En el suelo existen una infinita cantidad de organismos benéficos y patógenos, si se alteran sus propiedades, se descompensa el suelo por lo tanto existirán ataques de patógenos

a las plantas y cultivos, la acción antrópica ha dado al traste con el aporte de fertilizantes químicos de síntesis, se ha comprobado de forma científica que cuando existe MO suficiente en el suelo el ataque de fitopatógenos es mínimo comparado en suelos salinos por causa de uso excesivo de fertilizantes de síntesis.

La comunicación o interacción dentro y entre los organismos es la pieza clave que integra la función del fitobioma. Algunas interacciones están mediadas por señales físicas, tales como la vibración o bloqueo de la luz, pero la mayoría son de naturaleza química: lípidos, péptidos, polisacáridos y metabolitos volátiles. La comunicación puede ocurrir a través de la degradación de señales, mimetismo o inhibición por parte de otros miembros de la comunidad, lo que incluye plantas, bacterias, hongos e insectos. Las plantas producen señales emitidas en radicales o exudados foliares que son percibidas por otros miembros de la comunidad. Las plantas también perciben señales de diversos miembros de la comunidad que activan o mejoran las respuestas localizadas o sistémicas y que culminan en cambios en su desarrollo, salud y productividad.

Una de las vías para lograr mayores niveles de control y consistencia con los bioinsumos basados en microorganismos ha sido el uso de técnicas independientes de cultivo y de alto rendimiento, que permiten una rápida caracterización multiómica. Su utilización ha permitido demostrar el impacto de determinados agentes de biocontrol sobre la composición de la comunidad microbiana presente en el suelo o asociada a la planta, y obtener información más detallada sobre cómo responde el microbioma de la planta a la presencia del patógeno o a los de agentes de biocontrol.

Los microorganismos promotores del crecimiento vegetal (PGPM, por la sigla en inglés de plant growth- promoting microorganism) son heterogéneos en su naturaleza, comprenden bacterias, hongos y actinomicetos que sobreviven en y alrededor de la rizosfera y mejoran el crecimiento de la planta y el rendimiento, ya sea directa o indirectamente,. Un PGPM eficaz, además de ser competente en la rizosfera, debe ser capaz de hacer frente al estrés biótico y abiótico y de desarrollar múltiples funciones. La promoción directa del crecimiento de las plantas implica la solubilización o movilización de nutrientes importantes (fósforo, potasio, zinc, azufre y hierro) o la fijación de nitrógeno atmosférico para la absorción de las plantas. También se sabe que estos producen varias fitohormonas que promueven el crecimiento de las plantas, como el ácido indolacético, el ácido giberélico, las citoquininas y el etileno y reducen el efecto deletéreo de los fitopatógenos.

Referencias bibliográficas

Acuña Jiménez, Mónica, García Gutiérrez, Cipriano, Rosas García, Ninfa

María, López Meyer, Melina, & Saíz Hernández, Juan Carlos. (2015). Formulación de *Metarhizium anisopliae* (Metschnikoff) Sorokin con polímeros biodegradables y su virulencia contra *Heliothis virescens* (Fabricius). *Revista internacional de contaminación ambiental*, 31(3), 219-226. Recuperado en 02 de diciembre de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S01884999201500030001&lng=es&tlng=es.

Alfonso, E., Leyva, Á., & Hernández, A. (2005). Microorganismos benéficos como biofertilizantes eficientes para el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill). *Revista Colombiana de Biotecnología*, 7(2), 47-54. Recuperado de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/498/891>

Alfredo Samaniego-Gaxiola, J., Chew-Madinaveitia, Y., Gaytán-Mascorro, A., & Pedroza-Sandoval, A. (2019). Biological, anaerobic and reductive soil disinfestation to the soil for control of harmful organisms to plants. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 37(1), 115–134. <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.18781/R.MEX.FIT.1810-1>

Arora, P., Chandra, D., & Sharma, A. (2017). Commercial Microbial Products: Exploiting Beneficial Plant-Microbe Interaction. En *Plant-Microbe Interactions in Agro-*

Ecological Perspectives. Recuperado de https://doi.org/10.1007/978-981-10-6593-4_25

Bolaños Benavides, M. (1998). El papel del componente biorgánico en la fertilidad de los suelos. [https://agropecuaria-](https://agropecuaria-primotc.hosted.exlibrisgroup.com/permalink/f/193ddca/57BAC_Aleph000026482)

[primotc.hosted.exlibrisgroup.com/permalink/f/193ddca/57BAC_Aleph000026482](https://agropecuaria-primotc.hosted.exlibrisgroup.com/permalink/f/193ddca/57BAC_Aleph000026482)

Cano, Mario Alejandro. (2011). interacción de microorganismos benéficos en plantas: micorrizas, trichoderma spp. y Pseudomonas spp. UNA REVISIÓN. Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, 14(2), 15-31. Retrieved October 07, 2020, from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-42262011000200003&lng=en&tlng=es

Cantillo K, Maury S, Rincón K, Vargas G.1. Microorganismos como biocontroladores de fitopatógenos en post cosecha de cítricos. MICROCIENCIA Investigación, Desarrollo e Innovación, Vol. 7 – 2018. Recuperado de: <https://revistas.unilibre.edu.co/index.php/microciencia/article/view/5613/5183>

Caro Quintero, A., González, Carolina Autor, Balbín Suárez, Alicia Autor, Wisniewski, Michael Autor, Berg, Gabriele Autor, Smalla, Korneliaael Autor, & Cotes, Alba Marina Autor. (2018). Estudios del microbioma y su aplicación en el control biológico de fitopatógenos . https://agropecuaria-primotc.hosted.exlibrisgroup.com/permalink/f/193ddca/57BAC_Aleph000068137

Companioni González, B., Domínguez Arizmendi, G., & García Velasco, R. (2019).

Trichoderma: su potencial en el desarrollo sostenible de la agricultura.

Biotecnología Vegetal, 19(4), 237–248.

<https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/639/pdf>

Cotes, Alba Marina d534eddc-56deba b78f176d9; Mosher, Stephen bd2c0b ea db

c209509e38f8; Barrera, Gloria Patricia 3dca8b0b-ba1b-4de a0c e4bd1f831860;

Kobayashi, Sadao d0d36c f- -4800b2b58de9; Elad, Yigal 3244bae d2c- b34b-

07e09ee9396d. (Dakota del Norte). Nuevas estrategias para el control biológico de

fitopatógenos . Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria Bogotá

(Colombia).Recupaerado de:

[https://agropecuariaprimotc.hosted.exlibrisgroup.com/permalink/f/193ddca/bac_dsp-](https://agropecuariaprimotc.hosted.exlibrisgroup.com/permalink/f/193ddca/bac_dsp-ace20.500.12324/34158)

[ace20.500.12324/34158](https://agropecuariaprimotc.hosted.exlibrisgroup.com/permalink/f/193ddca/bac_dsp-ace20.500.12324/34158)

Cotrufo, M. F., Soong, J., Horton, A., Campbell, E., Haddix, M., Wall, D., & Parton, W.

(2015). Formation of soil organic matter via biochemical and physical pathways of

litter mass loss. Nature Geoscience, 8.Recuperado de:

<https://doi.org/10.1038/NGEO2520>

Cristina Menta (2012). Diversidad de la fauna del suelo: función, degradación del suelo,

índices biológicos, restauración del suelo, conservación y utilización de la

biodiversidad en un mundo diverso, Gbolagade Akeem Lameed, IntechOpen, DOI:

10.5772 / 51091. Disponible en: [https://www.intechopen.com/books/biodiversity-](https://www.intechopen.com/books/biodiversity-conservation-and-utilization-in-a-diverse-world/soil-fauna-diversity-function-soil-degradation-biological-indices-soil-restoration)

[conservation-and-utilization-in-a-diverse-world/soil-fauna-diversity-function-soil-](https://www.intechopen.com/books/biodiversity-conservation-and-utilization-in-a-diverse-world/soil-fauna-diversity-function-soil-degradation-biological-indices-soil-restoration)

[degradation-biological-indices-soil-restoration](https://www.intechopen.com/books/biodiversity-conservation-and-utilization-in-a-diverse-world/soil-fauna-diversity-function-soil-degradation-biological-indices-soil-restoration)

Garzón, Lina Paola (2016). Importancia de las micorrizas arbusculares (ma) para un uso sostenible del suelo en la amazonia colombiana. *Revista Luna Azul*, (42), 217-234. [Fecha de Consulta 7 de Octubre de 2020]. ISSN:. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=3217/321744162010>

Hernández-Lauzardo, Ana Niurka, Bautista-Baños, Silvia, Velázquez-del Valle, Miguel Gerardo, & Hernández-Rodríguez, Annia. (2007). Uso de Microorganismos Antagonistas en el Control de Enfermedades Postcosecha en Frutos. *Revista mexicana de fitopatología*, 25(1), 66-74. Recuperado en 08 de octubre de 2020, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33092007000100009&lng=es&tlng=es.

Instituto Colombiano Agropecuario, ICA. (2021). PRODUCTOS BIOINSUMOS REGISTRADOS - MARZO 2021. Recuperado de: <https://www.ica.gov.co/getdoc/2ad9e987-8f69-4358-b8a9-e6ee6dcc8132/productos-bioinsumos-mayo-13-de-2008.aspx>.

Kaviya N., Upadhayay VK, Singh J., Khan A., Panwar M., Singh AV (2019) Papel de los microorganismos en la génesis y las funciones del suelo. En: Varma A., Choudhary D. (eds) *Mycorrhizosphere and Pedogenesis*. Springer, Singapur. https://doi.org/10.1007/978-981-13-6480-8_2

Legein, M., Smets, W., Vandenneuvel, D., Eilers, T., Muyshondt, B., Prinsen, E., Samson, R., & Lebeer, S. (2020). Modes of Action of Microbial Biocontrol in the Phyllosphere. *Frontiers in Microbiology*, 11, 1619. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.01619>

M.E. Pérez Sánchez, Abdelkader Sid Ahmed, María Emilia Candela Castillo, M. E. Requena, M. Ezziyyani. Control biológico por microorganismos antagonistas. *Horticultura: Revista de industria, distribución y socioeconomía hortícola: frutas, hortalizas, flores, plantas, árboles ornamentales y viveros*, ISSN 1132-2950, Nº 191, 2006, págs. 8-15. Recuperado de: https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_Hort/Hort_2006_1_91_8_15.pdf

Mishra, J., Singh, R., & Arora, N. (2017). Plant Growth-Promoting Microbes: Diverse Roles in Agriculture and Environmental Sustainability. En *Probiotics and Plant Health* (pp. 71-111). https://doi.org/10.1007/978-981-10-3473-2_4

Monalize Salete Mota, Cesar Bauer Gomes, Ismail Teodoro Souza JÃºnior, AndrÃ©a Bittencourt Moura, Bacterial selection for biological control of plant disease: criterion determination and validation, *Brazilian Journal of Microbiology*, Volume 48, Issue 1, 2017, Pages 62-70, ISSN 1517-8382, <https://doi.org/10.1016/j.bjm.2016.09.003>. Recuperado de: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1517838216308991>

Motta-Delgado, Pablo Andrés, Murcia-Ordoñez, Betselene Hongos entomopatógenos como alternativa para el control biológico de plagas. *Ambiente & Agua - Revista interdisciplinaria de ciencias aplicadas* [en línea]. 2011, 6 (2), 77-90 [fecha de Consulta 2 de Diciembre de 2020]. ISSN: 1980-993X. Disponible en:

Newitt, JT; Prudence, SMM; Hutchings, MI; Worsley, SF Biocontrol de las enfermedades de los cultivos de cereales mediante el uso de estreptomicetos. *Patógenos* 2019 , 8 , 78. Recuperado de: <https://doi.org/10.3390/pathogens8020078>

Ortega García, M., Shagarodsky Scull, T., Dibut Álvarez, B. L., Ríos Rocafull, Y., Tejeda González, G., & Gómez Jorin, L. A. (2016). Influencia de la interacción entre el cultivo del garbanzo (*cicer arietinum* l.) y la inoculación con cepas seleccionadas de *mesorhizobium* spp. *Cultivos Tropicales*, 37, 20–27. <https://doi.org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.13140/RG.2.1.4007.3841>

Pahari, Pradhan, A., Nayak, S., & Mishra, B. B. (2017). Bacterial Siderophore as a Plant Growth Promoter. En *Microbial Biotechnology* (pp. 163-180). Recuperado de: https://doi.org/10.1007/978-981-10-6847-8_7

Prashar, P., Kapoor, N., & Sachdeva, S. (2013). Biocontrol of Plant Pathogens Using Plant Growth Promoting Bacteria (Vol. 12, pp. 319-360). Recuperado de https://doi.org/10.1007/978-94-007-5961-9_10

Quesada-Mola, Y., Fernández-Gonzálves, E., Casanueva-Medina, K., Ponce-Grijuela, E., & Márquez-Gutiérrez, M. E. (2019). Actividad biológica de nuevas cepas cubanas de

Trichoderma spp. efectivas en el control de Meloidogyne incognita (Kofoid & White) Chitwood. Cuban Journal of Biological Sciences / Revista Cubana de Ciencias Biológicas, 7(1), 1–9. Recuperado de: https://scholar.google.com/scholar?safe=active&rlz=1C1CHZL_esCO900CO900&xsrf=ALeKk01gF2u7PIFDFwZnIWc6scxYvghKA:1603250584218&biw=1164&bih=545&um=1&ie=UTF-8&lr&q=related:ZoD6ig05TcDd8M:scholar.google.com/

Ramiro Daniel Acurio Vásquez, Johanna Estefania Mamarandi Mossot, Andrea Giomayra Ojeda Shagñay, Estefany Michelle Tenorio, Viviana Pamela Chiluisa Utreras, Ivonne De los Ángeles Vaca Suquillo. (2020). Evaluación de Bacillus spp. como rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV) en brócoli (Brassica oleracea var. italica) y lechuga (Lactuca sativa). Ciencia & Tecnología Agropecuaria, 21(3), p.1. <http://revista.corpoica.org.co/index.php/revista/article/view/1465>

Rodríguez Sánchez, J., Ríos Rocafull, Y., & Baró Robaina, Y. (2016). efectividad de cepas de azotobacter sp. y bacillus sp. para el control de especies fúngicas asociadas a hortalizas. Cultivos Tropicales, 37, 13–19. <https://doi-org.bibliotecavirtual.unad.edu.co/10.13140/RG.2.1.1385.9443>

Sánchez, Saray, Crespo, G, Hernández, Marta, & García, Y. (2008). Factores bióticos y abióticos que influyen en la descomposición de la hojarasca en pastizales. Pastos y Forrajes, 31(2), 1. Recuperado en 07 de diciembre de 2020, de

http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942008000200001&lng=es&tlng=es

Santos Díaz, Adriana Marcela; Cotes Prado, Alba Marina; Caro Quintero, Alejandro; Bustillo Pardey, Alex Enrique; et al., (Dakota del Norte). Control biológico de fitopatógenos, insectos y ácaros: Agentes de control biológico. V. 1 . Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria Mosquera. Recuperado de: https://agropecuaria-primotc.hosted.exlibrisgroup.com/permalink/f/193ddca/bac_dspace20.500.12324/33829

Schulz, S., Brankatschk, R., Dümig, A., Kögel-Knabner, I., Schloter, M., & Zeyer, J. (2013). The role of microorganisms at different stages of ecosystem development for soil formation. *Biogeosciences*, 10, 3983-3996. <https://doi.org/10.5194/bg-10-3983-2013>

Schulz, S., Brankatschk, R., Dümig, A., Kögel-Knabner, I., Schloter, M., & Zeyer, J. (2013). The role of microorganisms at different stages of ecosystem development for soil formation. *Biogeosciences*, 10, 3983-3996. <https://doi.org/10.5194/bg-10-3983-2013>

Sharanaiah Umesha ., Rajat P. Singh.(2018). Biotecnología microbiana y agricultura sostenible. Recuperado de: <https://www-sciencedirect-com.bibliotecavirtual.unad.edu.co/topics/agricultural-and-biological-sciences/microbial-inoculant>

Villarreal-Delgado, María Fernanda, Villa-Rodríguez, Eber Daniel, Cira-Chávez, Luis Alberto, Estrada-Alvarado, María Isabel, Parra-Cota, Fannie Isela, & Santos-Villalobos, Sergio de los. (2018). El género *Bacillus* como agente de control biológico y sus implicaciones en la bioseguridad agrícola. *Revista mexicana de fitopatología*, 36(1), 95-130. <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1706-5>

Waleed M. Abdulkhair y Mousa A. Alghuthaymi. (2016). Patógenos vegetales, crecimiento vegetal, Everlon Cid Rigobelo, IntechOpen, DOI: 10.5772 / 65325. Disponible en: <https://www.intechopen.com/books/plant-growth/plant-pathogens>

Chaudhary, T. y Shukla, P. (2019). Bioinoculantes para aplicaciones de biorremediación y resistencia a enfermedades: perspectivas innovadoras. *Revista india de microbiología* , 59 (2), 129-136. <https://doi.org/10.1007/s12088-019-00783-4>

Daniels, W., & Haering, K. (2015). *The Mid-Atlantic Nutrient Management Handbook* Chapter 3. Concepts of Basic Soil Science. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/242519773_The_Mid-Atlantic_Nutrient_Management_Handbook_Chapter_3_Concepts_of_Basic_Soil_Science

