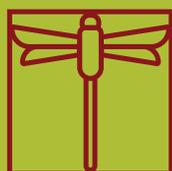
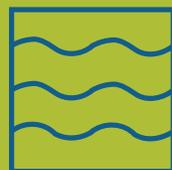


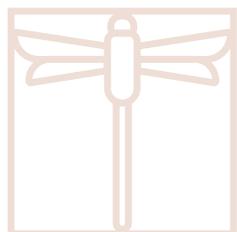
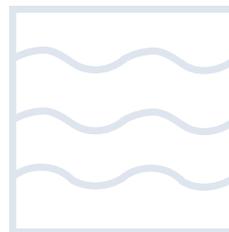
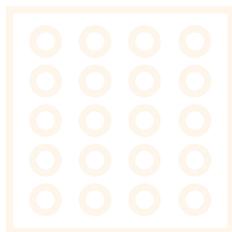
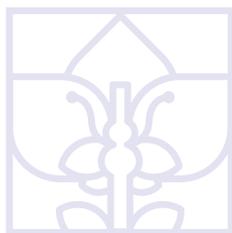
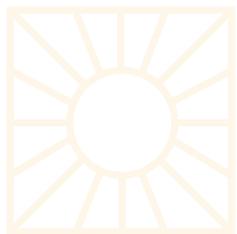
# Los hongos micorrícicos, claves para la fertilidad del suelo



Proyecto  
**Fincas Faro**

Red de fincas  
agroecológicas  
de Canarias





**Título:** Los hongos micorrícicos, claves para la fertilidad del suelo

**Autora:** María del Carmen Jaizme-Vega

Instituto Canario de Investigaciones Agrarias

**Diseño y maquetación:** María Hdez. (Verde y Lima · Comunicación y diseño gráfico)

**Corrección de textos:** Rosa Mary Hernández Hernández

**Año de edición:** 2023

**Proyecto:** Fincas Faro. Red de fincas agroecológicas de Canarias. 2022.

*El mundo microbiano de esa aparente “caja negra” que es el suelo es uno de los maravillosos misterios en las ciencias ambientales y agrícolas. Las interacciones biológicas del suelo que mueven y conectan todo en pro de procesos de vida muy eficientes hacen que se conserven, se estabilicen y sean resilientes los ecosistemas. En procura de la sostenibilidad, algunos de esos beneficios se están buscando adoptar en la agricultura. Los hongos micorrícicos tienen un potencial enorme en ese sentido, que invita a su estudio en la diversidad de escenarios productivos y naturales de las Islas Canarias.*



# Introducción

El suelo es uno de los hábitats microbianos que presenta mayor biodiversidad en nuestro planeta. Esta biodiversidad es sostenida principalmente por las comunidades de microorganismos que son la base para el funcionamiento de los ciclos de nutrientes, las interconexiones en el mundo biofísico, las relaciones intra e interespecíficas, etc. Son considerados los verdaderos ingenieros de los ecosistemas y agrosistemas.

Se estima que el suelo por gramo alberga entre  $10^9$  de microorganismos y  $10^4$  de especies diferentes. Entre ellos encontramos principalmente a las bacterias, actinobacterias, arqueobacterias y microbio absolutamente biodiverso, que tiene mucho para descubrir. Si nos ubicamos en aquellos espacios milimétricos del suelo que rodean las raíces de las plantas (*Rizosfera*) ese mundo edáfico se vuelve un hervidero de reacciones químicas, cambios físicos (movimiento de agua, estabilización, desestabilización, reorganización y transformación de agregados), sin dejar atrás las interacciones biológicas que, para bien o para mal, resultan en comunidades funcionales de microorganismos, al punto que se comunican entre ellos identificando señales químicas o eléctricas del medio, que le informan del estado en el que se encuentran sus congéneres y el resto de las especies. Su expresión genética se manifiesta en cambios del comportamiento microbio en el

suelo (*la percepción del quorum*) que, según el medio, por ejemplo, podrían actuar como patógenos o como descomponedores de materia orgánica o como solubilizadores o fijadores de nutrientes, entre otros roles. Los microorganismos pueden interactuar en la rizosfera con las raíces de las plantas, de modo que los exudados radicales, ricos en compuestos orgánicos, les aportan gran variedad de nutrientes para llevar a cabo sus actividades metabólicas. Pero también en el caso de los ecosistemas terrestres, la microbiota del suelo juega un papel fundamental en su regulación, influyendo en la productividad, diversidad y estructura de las comunidades vegetales (Van Der Heijden *et al.*, 2008). En el caso de los agrosistemas esos beneficios ambientales se sobredimensionan porque pueden potenciar la salud de los suelos y de las plantas cultivadas, aumentando la productividad tan anhelada por los productores agrícolas. Ya sea en forma natural, porque están presentes en el suelo, o inoculados como biofertilizantes, para generar condiciones que mejoran la nutrición, la defensa ante enfermedades, un mayor acceso al agua, entre otros, se logra optimizar los atributos de vigor, biomasa, frutos y producción vegetal.

Entre los microorganismos están los hongos formadores de micorrizas a través de la simbiosis con la raíz de las plantas. Las estructuras formadas, las micorrizas de tipo arbusculares, repre-

sentan entre el 5 a 50% de la biomasa de los microbios del suelo y son considerados como una comunidad biológica diversa y activa esencial para incrementar la sostenibilidad de los agrosistemas, representando las simbiosis de mayor relevancia en los sistemas agroecológicos. Por ello, los hongos micorrícicos deben considerarse parte de la diversidad biológica de los suelos e incluirse en los inventarios y en los análisis de la biodiversidad a nivel de ecosistemas y agrosistemas.

En ese sentido, cada vez es más necesario conocer su participación en la producción de cultivos de importancia económica para las Islas Canarias, región que se ha constituido, por su diversidad de condiciones bioclimáticas asociadas a su orografía y posición en la latitud subtropical, en microcontinentes, cuyos suelos nativos, cultivados y cultivables pueden reunir una significativa diversidad de hongos micorrícicos en especial para cultivos claves de las Islas como el aguacate, plátanos, viñas, entre otros.

### **¿Por qué son tan importantes los hongos micorrícicos para el suelo, los ecosistemas y agrosistemas?**

En el mundo diversamente bioactivo y dinámico que es el suelo hay tres tipos de microorganismos que establecen relaciones positivas con las plantas, específicamente con sus raíces: i.- Las bacterias que promueven el crecimiento vegetal (PGPR) a través de sustancias que producen metabólicamente, entre ellas las fitohormonas; ii.- Las bacterias fijadoras del nitrógeno que están en la atmósfera, que a través de procesos bioquímicos

altamente eficientes y específicos de la unión bacteria (*Rhizobium*) – raíz (*simbiosis*) transforman el nitrógeno en forma de gas a nitrógeno orgánico dentro de moléculas complejas de aminoácidos y proteínas que nutren a la planta y iii.- Los hongos formadores de micorrizas arbusculares (MA).

Según Laich (2020) los mecanismos involucrados en la interacciones de los PGPR con las plantas pueden incluir la fijación de nitrógeno, la solubilización de fosfatos, potasio, zinc, la producción de fitohormonas (auxina y citoquinina), sustancias volátiles estimulantes del crecimiento (Glick *et al.*, 1999). También una gran variedad de PGPR permite aumentar la capacidad fotosintética de las plantas, así como la tolerancia a la sequía y a la salinidad (Xie *et al.*, 2009; Zhang *et al.*, 2010). Por otra parte, la capacidad supresora de enfermedades (Chithrashree *et al.*, 2011), el crecimiento de las plantas (Hayat *et al.*, 2010), los mecanismos de adquisición de hierro de la propia planta (Zhang *et al.*, 2009), también son beneficios importantes.

Algunos de estos beneficios también ocurren con microorganismos que hacen simbiosis con las plantas como los rizobios y los hongos MA. Pero destaca en el caso de la fijación biológica del nitrógeno (FBN), llevada por bacterias del género *Rhizobium* en las leguminosas, que por esta vía se aporta más de la mitad del nitrógeno fijado biológicamente en la tierra, el cual puede llegar a un millón de toneladas de nitrógeno por año en suelos no cultivados de todo el mundo. Considerándose, además, las 450.000 toneladas de nitrógeno por año fijados por las leguminosas de plantaciones agrícolas, mediante esta simbiosis (Laich, 2020).

Con los hongos MA pasa un escenario similar, solo que esta simbiosis es de carácter universal, puesto que se establece en más del 80% de las especies de plantas que cubren la corteza terrestre. Una ventaja adicional es que la forman muchas especies vegetales de interés agronómico, ya sean hortícolas o frutales (leguminosas, gramíneas, compuestas, rosáceas, labiadas, entre otras) y de interés forrajero y pastizales, pertenecientes a di-

ferentes zonas agroclimáticas del planeta (áridas, tropicales, templadas y frías), así como especies de arbustos y herbáceas de ecosistemas naturales diversos. Los hongos MA hacen que la raíz a través de la nueva estructura formada a partir de la simbiosis (la *micorriza*) incremente ampliamente la capacidad de absorción de la planta (1 cm de raíz puede sustentar 1 m de hifas externas).



Nódulos en plantas de leguminosas formados a partir de la simbiosis de la raíz de la planta con una bacteria del género *Rhizobium* (Imagen izquierda). Cuando los nódulos están activos en fijar el nitrógeno atmosférico los nódulos suelen tener una coloración rosada (Imágenes de la derecha). Corte transversal del nódulo (Imagen superior derecha). Tomadas de García y Rivas (2015), Menéndez et al. (2016)



## Beneficios para las plantas

Los beneficios para plantas cultivadas y plantas de ecosistemas no intervenidos son múltiples. El micelio externo de los hongos MA puede absorber fósforo (elemento de escasa movilidad en el suelo debido a la físico química compleja en su ciclo en el suelo), igualmente absorbe las formas solubles de nitrógeno, los iones nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ) y amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) (catión de lenta movilidad), desde microhábitats distantes hasta 25 cm de la superficie de la raíz (más allá de la zona de agotamiento que la rodea) y transferir los nutrientes disponibles a las plantas con las que se asocia (Larsen *et al.*, 2015). Este efecto es mayor y más evidente en suelos con una baja o desequilibrada fertilidad. Además de este macronutriente (el fósforo), la simbiosis aporta a la planta cobre, zinc y otros microelementos.

Las plantas que se desarrollan formando micorrizas tienen por lo general una mayor tasa fotosintética que aquellas que solo tienen raíces. Este efecto se ha basado en la mejora nutricional de las mismas.

Otros beneficios importantes para las plantas es la tolerancia frente a la sequía y la salinidad. Los hongos MA modifican directamente la morfología y la anatomía radical, o indirectamente a través de cambios hormonales y estructurales. Así los hongos MA pueden mejorar la conductividad hidráulica insaturada, optimizando la toma de agua por las plantas. Además, se ha calculado que al-

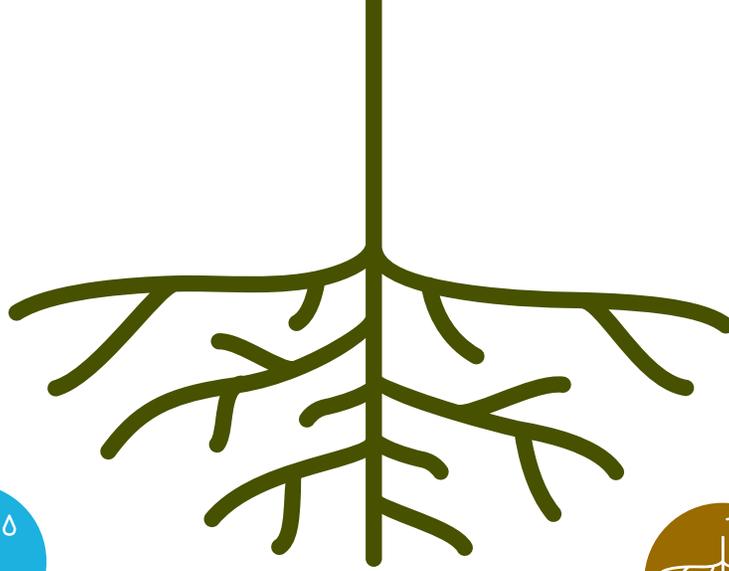
rededor de un 20% del agua que consigue una raíz se debe a la actividad del micelio externo de la micorriza que puede explorar exhaustivamente el suelo en busca de agua y nutrientes, más allá de la zona de influencia de la raíz (Barea *et al.*, 2016).

El establecimiento de los hongos MA puede ayudar a mejorar el desarrollo de las plantas en suelos contaminados, mediante el incremento de su resistencia frente a metales nocivos y evitar su toxicidad (*fitorremediación*). Los hongos micorrícicos absorben estos metales en altas concentraciones en el suelo, disminuyendo la translocación a la parte aérea de la planta, lo que resulta de interés en la fitoestabilización de suelos contaminados por metales.

En los últimos tiempos se ha despertado un alto interés sobre el papel que las micorrizas ejercen en las plantas al conferirles una mayor resistencia/tolerancia frente al ataque de patógenos que causan enfermedades a los cultivos. Diversos mecanismos se han propuesto en este sentido: un mejor estado nutricional, la competición patógeno-simbionte por los productos fotosintéticos y el nicho ecológico, la ramificación y lignificación de la raíz por los cambios morfológicos introducidos en ella con la micorrización, el incremento de carbono en el entorno rizosférico de exudados radicales de las micorrizas activa a los microorganismos de la rizosfera. Más recientemente se habla de un



**Incrementa** la superficie de absorción radicular hasta 1000 veces



**Promueve** un crecimiento equilibrado y mejora la calidad organoléptica de los frutos



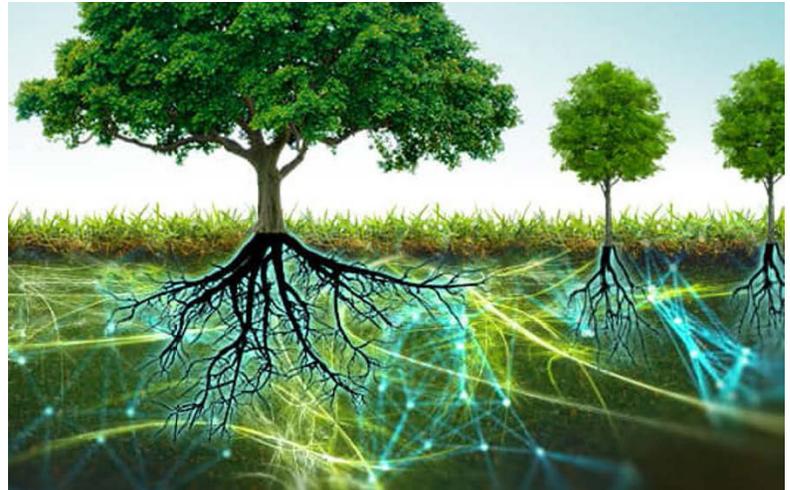
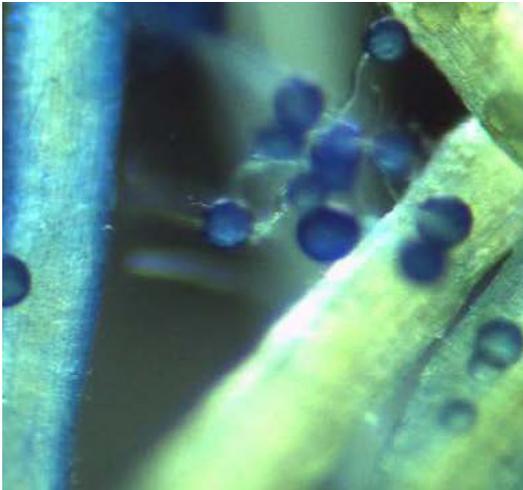
**Mejora** la eficiencia en la captación de nutrientes y agua del suelo



**Potencia** la tolerancia a patógenos radiculares (nematodos y hongos)



**Aumenta** la resistencia al estrés hídrico y salino



Beneficios de las micorrizas para las plantas (imagen superior izquierda). Esporas de hongos germinando (Imagen superior derecha). Redes homeostáticas de comunicación de micorrizas entre plantas. Tomadas de Emol (2017), Atens (2018), Tech (2020)

sistema inmunitario para las plantas (Barea et al., 2016), lo cual es innovador y se basa en la producción de compuestos implicados en actividades de defensa tales como enzimas glucanolíticas, fitoalexinas, quitinasas, arginina, isoflavonoides, (Pozo *et al.*, 2013; 2015). Las micorrizas estimulan las defensas indirectas, como en el caso de los parasitoides (Durán-Prieto *et al.*, 2016), además, los insectos patógenos pueden ver alterados sus ciclos biológicos si se alimentan de plantas micorrizadas, tal como describen Garzo *et al.* (2018) para los áfidos.

A nivel de poblaciones y comunidades, en ecosistemas, o su equivalente, monocultivos y policultivos, en agrosistemas, las plantas micorrizadas han desarrollado estrategias que ayudan a su abastecimiento mediante una serie de redes homeostáticas que permiten mantener concentraciones adecuadas de nutrientes (ver imagen en página anterior). La absorción de estos por las hifas es independiente de la nutrición fosforada. Esta actividad benéfica se complementa además con una mejora en el movimiento de nutrientes y del carbono entre plantas de igual o diferente especie. La capacidad de interconexión de los sistemas radicales posibilita que aquellas plantas que se desarrollan bajo condiciones adversas puedan ser “auxiliadas” por aquellas otras con mejor actividad fotosintética, mejor capacitadas para la absorción de nutrientes. En las plantas micorrizadas la relación entre la biomasa de la raíz y la de la parte aérea, es menor que en aquellas plantas que funcionan con raíces.

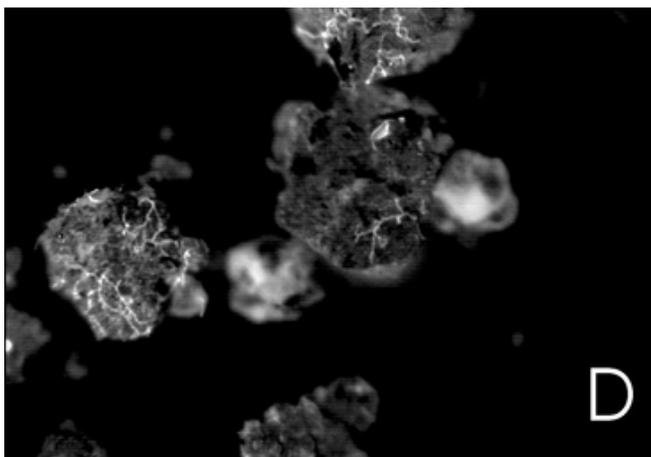
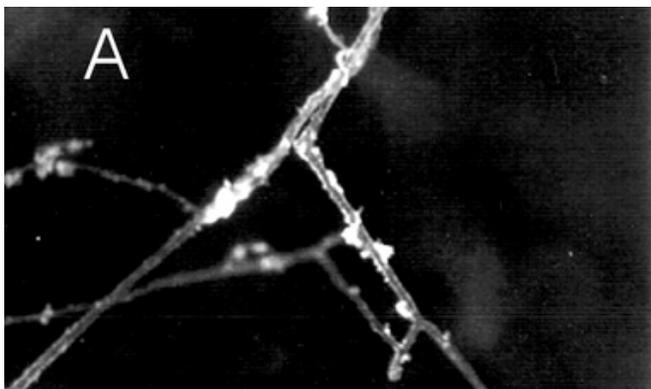
Todos estos avances incrementan las ya numerosas razones para considerar imprescindibles a los

hongos MA para la restauración de ecosistemas; en el caso de bosques, además, en la reforestación y forestación, al activar el suelo y el ecosistema como tal, a través de plantas nativas micorrizadas, en la misma sucesión natural del bosque o en una plantación forestal. Sin duda, en el manejo de los agrosistemas, su uso como biofertilizantes optimiza ostensiblemente la calidad del producto vegetal cultivado, donde se señalan mejoras entre el 15 y 70%, dependiendo del cultivo.



## Beneficios para el suelo

Las hifas de los hongos micorrícicos están implicadas en la formación de agregados estables del suelo, un aspecto clave de su calidad y posibilidades de conservación. Juegan varios factores en esta afinidad: las características de la raíz, la intensidad de la colonización del hongo y la cantidad de micelio asociado al sistema radical. Otras sustancias como los polisacáridos, de origen fundamentalmente bacteriano, actúan como agentes cementantes de las estructuras agregadas formadas.



Pero existe un pegamento natural no soluble en agua, que se produce en grandes cantidades por las hifas de los hongos MA: una glicoproteína llamada *glomalina*. La glomalina incrementa la fertilidad natural e integral de los suelos de los ecosistemas y agrosistemas, porque ayuda a formar una buena estructuración, con una adecuada proporción de macroagregados y poros por donde circula el agua y aire, optimizándose los procesos bioquímicos de transformación de nutrientes, de descomposición microbiana de la materia orgánica y de la humificación. Por otra parte, la estabilidad estructural del suelo es fundamental para la conservación de este y de los ecosistemas y agrosistemas, ante los frecuentes cambios de humedad-sequía en el suelo, el impacto de la gota de lluvia que activa la erosión y actividades antrópicas como la deforestación, la labranza y la fertilización inorgánica.

En el suelo, que es un caldo de cultivo de diferentes microorganismos interactuando con las plantas, ocurre uno de los tipos de interacción más importante que existe: entre micorrizas arbusculares y las bacterias fijadoras de nitrógeno atmosférico y, más concretamente, a las bacterias que lo fijan en simbiosis con la planta hospedadora. En la actualidad está asumida la presencia de la simbiosis MA

Glomalina adherida a las hifas (imagen superior) y agregados formados y estabilizados por las hifas con glomalina (inferior). Tomadas de González-Chávez *et al.* (2004)

en leguminosas noduladas y el rol de la micorriza en la formación y actividad del *Rhizobium* en el interior de los nódulos. Esta sinergia viene del hecho que el fósforo suplido por el hongo de la micorriza satisface la alta demanda de este macronutriente durante el proceso de nodulación, detectándose el doble o el triple del contenido de fósforo en los nódulos en relación con el de la raíz sin nodular. La contraparte la hace la simbiosis que permite la fijación biológica del nitrógeno atmosférico, puesto que ayuda a mantener balanceado el estatus fisiológico de la planta. Es ideal este estado para la formación y funcionamiento de la micorriza, al proveer el nitrógeno necesario para sintetizar la quitina que es un componente básico de la pared fúngica de los hongos MA. En esta interacción no debe opacarse que otros nutrientes como el zinc, cobre, molibdeno y calcio también pueden afectar la infectividad del *Rhizobium*.

El estudio de las interacciones MA con otros microorganismos simbioses de las plantas, en especial *Rhizobium*, puede ser de gran interés agrícola; siendo un punto clave en el manejo de agrosistemas el crear un efecto sinérgico entre la fijación y movilización biológica de nutrientes, especialmente del nitrógeno y fósforo, respectivamente, con el fin de lograr altos rendimientos de los cultivos con bajos costes ambientales.



## La formación de la micorriza y el “carácter” del hongo micorrízico

### El inicio

Los hongos micorrízicos se mantienen en el suelo bien en forma de esporas, redes de micelio, en el interior de raíces activas o en fragmentos de raíces colonizadas. Cualquiera de estas estructuras es capaz de reproducir el hongo y se conocen como *propágulos*. Para que se inicie la simbiosis es necesario que una hifa del hongo parta de un propágulo y establezca un diálogo con la planta hospedadora que inhibe sus mecanismos de defensa y le facilita al hongo la entrada a partir del contacto de la hifa con la superficie de la raíz, el hongo se diferencia formando un *apresorio* que entra en la raíz y se desarrolla en su interior. Una vez dentro, coloniza inter e intracelularmente las células de la corteza radical, dividiéndose en el interior celular de manera dicotómica y formando una estructura arborescente cuyas paredes son muy finas, cuya forma recuerda a la de una coliflor, y que es donde se produce el intercambio de nutrientes y señales entre la planta y el hongo. Esta estructura se conoce como *arbúsculo*. Una vez colonizada la raíz las hifas se desarrollan hacia el exterior formando

en torno a la raíz un micelio tridimensional muy ramificado que alcanza en el suelo mayores distancias que los pelos radicales y que incrementa considerablemente la capacidad de absorción de nutrientes de la planta, especialmente el fósforo como ya hemos mencionado (**Véase el proceso descrito en la imagen de la página siguiente**).

## El carácter

Los hongos MA tienen una gran diversidad genética y funcional que influye en su comportamiento en cada suelo, y afecta a su capacidad de germinación, colonización de la raíz o producción de esporas, así como a su habilidad para adquirir el fósforo. Esto implica que las diferentes especies de hongos e incluso sus cepas (*ecotipos*), muestren distintos grados de efectividad para mejorar el crecimiento de las plantas. Esta efectividad no siempre está correlacionada con su capacidad infectiva, por lo que la infectividad no se debe utilizar como un criterio que defina el potencial agrícola o restaurador de los hongos. Un alto nivel de infección no necesariamente se correlaciona con la potencialidad agrícola de un hongo MA (Barea, 1991). Los aislados también muestran diferentes tolerancias a los fitofármacos como herbicidas, nematicidas, etc., y a las prácticas de fertilización convencionales.

Los valores más altos de colonización radical y esporulación se consiguen en suelos de baja o moderada fertilidad. El estatus fosforado de la planta es el principal condicionante de la infección del hongo formador de micorrizas, y uno de los fac-

tores importantes como limitante de la aplicación agrícola de estos microorganismos. No obstante, se ha comprobado que las distintas especies de hongos varían en su sensibilidad o tolerancia al fósforo. De hecho, es frecuente encontrar micorrizas en plantas que se desarrollan en suelos fértiles, y parece que algunas cepas de hongos MA son bastantes tolerantes a prácticas de fertilización fosforada intensiva. Los hongos provenientes de suelos con bajo nivel de fósforo son mucho más sensibles a los aportes fosforados que aquellos que se desarrollan en suelos con alto nivel de este nutriente (Jasper *et al.*, 1979).

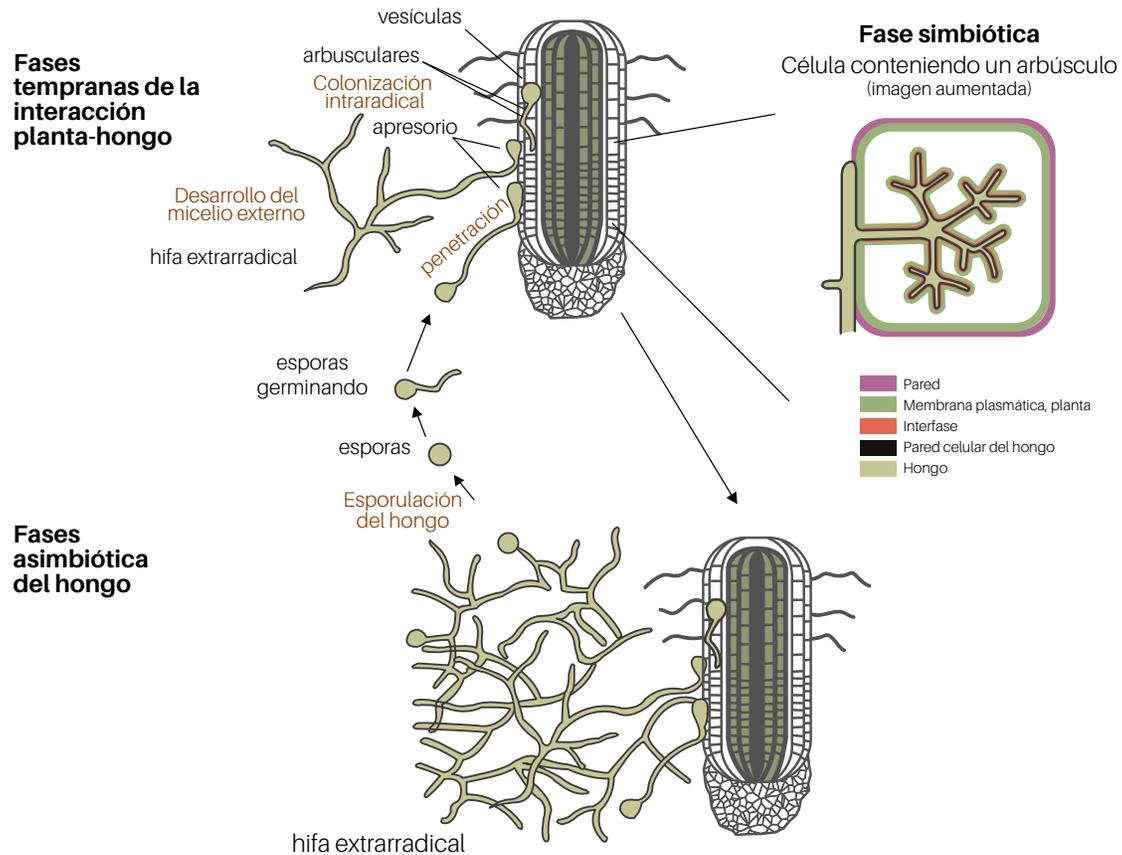
## Generalidad frente a especificidad

El estímulo rizosférico no afecta a toda la población de microorganismos por igual, sino que ejerce una selección natural producto de un complejo proceso coevolutivo interespecífico entre las plantas y los microorganismos del suelo. Un ejemplo de alta especificidad planta/raíz-microorganismos es la relación simbiótica entre las plantas leguminosas y las bacterias fijadoras de nitrógeno (rizobios). Actualmente se considera que el microbioma rizosférico actúa como un sistema externo de las plantas, altamente adaptado, funcional y evolucionado.

En el caso de los hongos MA, se ha escrito mucho sobre el papel significativo de estos en la adaptación de las plantas al medio terrestre, papel que siguen desempeñando actualmente en situaciones de estreses bióticos y abióticos. Esta coevolución explica la universalidad de la simbiosis. En la natu-

raleza, la mayoría de las raíces están colonizadas simultáneamente por hongos micorrícicos de diferentes especies. Por lo general, los hongos no son específicos y pueden colonizar diversas plantas a la vez. A su vez, una misma cepa de un hongo

micorrícico infecta las raíces de distintas plantas en grados diferentes, proporcionando efectos variables en función de la micotrofia (capacidad de la planta hospedadora de captar alimentos a través de la micorriza).



Proceso de infección de hongos MA en la raíz, formándose la micorriza con las vesículas arbusculares. Se muestran los propágulos como esporas, redes de micelio extramatriciales, raíces con micelio interno o fragmentos de raíces colonizadas. Tomado de Núñez (2013) modificado por los autores.



## Aislamiento, multiplicación e identificación de las poblaciones de hongos MA

Casi toda la investigación de ecología o de fisiología de la micorriza requiere el aislamiento de esporas del suelo o la separación de esporas de una muestra para estimar la población. Los estudios conllevan la identificación en morfotipos, cepas e inclusive especies con diferentes métodos de extracción, tinción usando microscopía óptica, lupas estereoscópicas y claves. En las últimas décadas, los avances de la biología molecular en la identificación genética han llevado a determinaciones correctas de especies y morfotipos. Sin embargo, ahora es cuando hay todo un mundo por descubrir desde la taxonomía de los hongos MA.

Un interés que va más allá de su estudio fisiológico y taxonómico es ahondar más en sus aplicaciones ecológicas para la restauración de ecosistemas, recuperación y conservación de suelos degradados por eventos naturales o antropogénicos como la contaminación por hidrocarburos, y una de las aplicaciones más conocidas: la de producir biofertilizantes para optimizar la producción de agrosistemas en campo o la de plantas de interés agrícola en vivero. Todas estas aplicaciones se basan en los

reconocidos beneficios ambientales que ya hemos mencionado para la planta y para el suelo.

### El suelo de donde se extraen

En todos esos casos los hongos MA hay que extraerlos del suelo de interés: el suelo que se va a recuperar o cultivar, o el del ecosistema a restaurar, para propagarlos, y después utilizarlos como bioinoculantes en los ecosistemas y/o agrosistemas, con plantas micotróficas afines y compatibles con la micoflora del suelo. Se usa el suelo rizosférico para la extracción.

### Extracción y formas de cuantificación

El número de propágulos determina la capacidad de las poblaciones de hongos MA presentes en el suelo para generar infección micorrícicas. Se puede hacer análisis de propágulos a través de repeticiones seriadas de diluciones crecientes de suelo de interés con materiales inertes como el cuarzo, picón, entre otros, donde se cultivan especies micotróficas de rápido crecimiento como el sorgo, la alfalfa o la albahaca (*plantas trampas*). A estas diluciones en series del suelo se le denomina técnica del número más probable (*NMP*). Luego de varias semanas se observa si existe simbiosis y se cuantifica los números de propágulos existentes.

Para la obtención de propágulos, especialmente las esporas, se utilizan métodos de tamizado en húmedo de un suelo rizosférico usando una serie de secuencia de tamices de una malla muy pequeña. Combinado con filtraciones a vacío de los ex-



Variedad de esporas de hongos MA encontradas en suelos de las Islas Canarias.

tractos de suelo y usando una técnica de filtrado lo más limpia posible de otras partículas de suelo, podemos obtener esporas cuyo brillo, color y morfología nos permiten contar e identificar los morfotipos de especies de hongos MA en una lupa.

Una forma de cuantificar propágulos que evalúa la colonización intrarradical es observando y cuantificando, en un microscópico óptico, la aparición de las vesículas y arbusculos dentro de las células

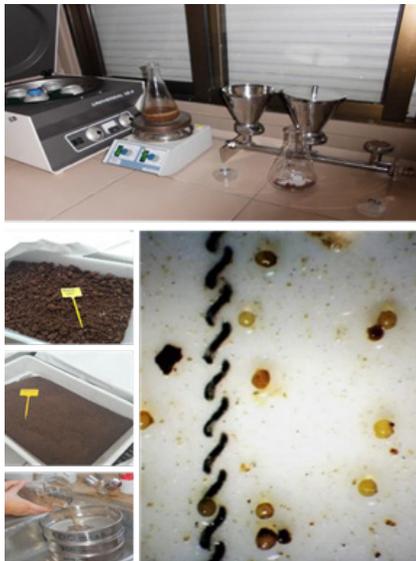
de la raíz teñidas con azul de tripán de las plantas que crecen en los suelos bajo estudio.

## La multiplicación de hongos MA

Luego están las técnicas de propagación de hongos MA in vivo que se utilizan comúnmente para la producción de inóculo que se aplica en la restauración de ecosistemas, suelos y como biofertilizante. Son indispensables el cultivo trampa con plantas micotróficas de rápido crecimiento en maceta, que favorece la expresión de algunos hongos que ya han formado esporas y estimulan la de otros que aún no han esporulado, y el cultivo con diferentes sustratos, entre otros. Son los métodos más rutinarios por su facilidad y eficacia de propagación. Algunas semanas después de iniciada la infección, el hongo está en condiciones de producir esporas, favorecida por algunas condiciones ambientales del suelo que modulan la esporulación. Una vez



Plantas trampa y suelo de interés diluido con material inerte para evaluar número de propágulos a través del NMP. Instalaciones del ICIA.

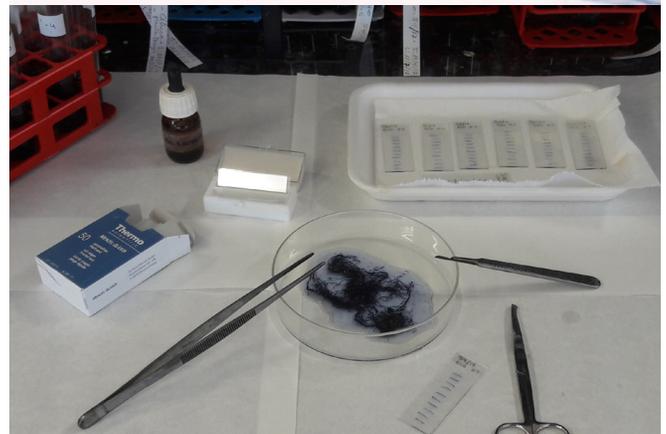
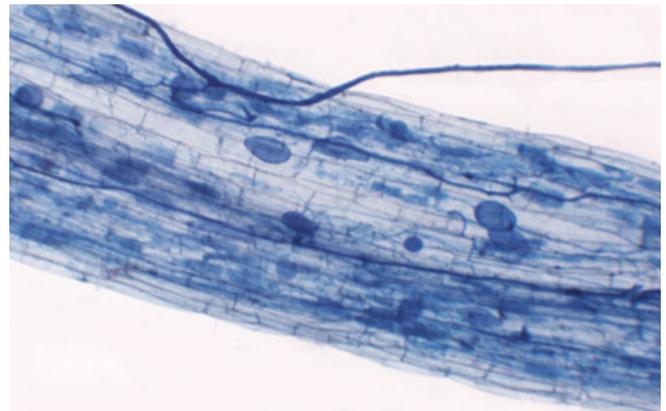


Procesos de tamizado, centrifugado y filtrado para la obtención de esporas de suelos rizosféricos. Instalaciones del ICIA.

consolidada la colonización, ambos organismos (planta y hongo), inician su vida en común funcionando de manera simbiótica a través de las micorrizas haciéndose valer los beneficios ambientales de esta simbiosis.

En estos sistemas el estado de producción de plantas se basa en la propagación por semillas en sustrato artificial, cultivo en macetas o camas de propagación desinfectadas, lo cual requiere trabajos en campo, toda vez que se parte de ensayos y aplicaciones en laboratorio y vivero, donde las condiciones ambientales son distintas en cada caso. Es esencial encontrar el hongo ideal, adaptado a la planta (Azcón-Aguilar y Barea, 1996) y suelo según las condiciones ambientales que se presenten en el lugar de interés.

Después de la selección del hongo, la producción de grandes cantidades de inóculo se basa en cultivos de hongos bien definidos. El INVAM (*International Culture Collection of Arbuscular Mycorrhizal Fungi*) y el BEG (*La Banque Européene de Glomales*) almacenan germoplasma de diferentes especies que permiten el posicionamiento taxonómico y la conservación (Dodd *et al.*, 1994).



Tratamientos químicos para la tinción de raíces de plantas creciendo en suelos de interés que permite observar y contabilizar los propágulos relacionados con la colonización de las raíces. Tomadas de González (2020).



## Banco de inóculos e inoculación

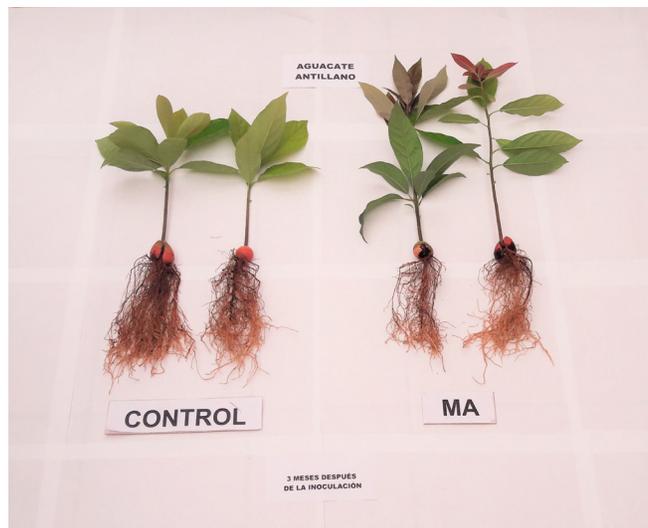
La composición más común del inóculo es una mezcla de esporas, raíces colonizadas, hifas y el sustrato soporte, usualmente desarrollado en suelo esterilizado o en medios con bajo contenido en suelo. Se debe tener cuidado con los largos periodos de conservación de MA y con el almacenamiento del inóculo.

Los materiales que se inoculan son semillas, plántulas, esquejes, o plantas micropropagadas -estas últimas a través de propágulos desinfectados. Considerando la variabilidad genética entre la relación planta-hongo, se deben llevar a cabo bioensayos que aseguren la compatibilidad funcional entre ambos.

En la inoculación se usan contenedores con sustratos apropiados para la formación de esporas de MA.

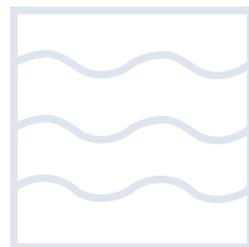
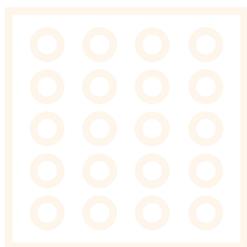
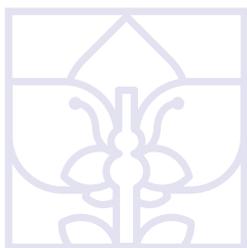
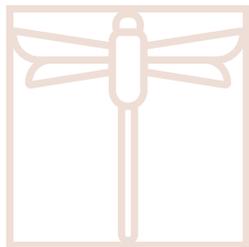
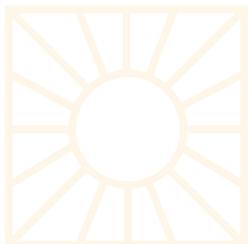
Los factores críticos en el manejo del inóculo son la dosificación y el tiempo de inoculación.

El momento de inoculación también es crítico y, de forma general, se puede decir que cuanto más temprano se realice mayor será el beneficio para la planta (Barea *et al.*, 1993). Los inóculos en suelo son relativamente fáciles de obtener y, con el tiempo pueden producirse inóculos altamente infectivos. También se puede hacer en fase de trasplante.



Efecto de la inoculación temprana con hongos micorrízicos sobre el desarrollo de plántulas de aguacate. MA: plantas micorrizadas.

En Unidad de Protección Vegetal del ICIA, todos estos métodos de extracción, identificación y multiplicación son de uso común y siempre siguen mejorándose en función de la optimización de los protocolos, según los casos que sean de interés. El largo historial de estudios usando estas técnicas ha estado orientado hacia obtener y propagar hongos MA de suelos agrícolas para optimizar procesos productivos de cultivos de interés. Nuevas orientaciones, incipientes todavía, de la aplicación de estos métodos van dirigidas hacia el campo de la diversidad ecológica y la solución de problemas ambientales.





Proyecto  
**Fincas Faro**  
Red de fincas  
agroecológicas  
de Canarias

