



**Facultad de Farmacia**  
Universidad de La Laguna

**Trabajo de Fin de Grado**

# **La importancia de las micorrizas y sus beneficios para las plantas**

Autora

**Ivana González Rodríguez**

Tutora

**Cristina Giménez Mariño**

Área de conocimiento

**Fisiología Vegetal**

Grado en Farmacia

Curso 2022-2023

## INDICE

|  |    |
|--|----|
| 1. RESUMEN.....  | 3  |
| 2. INTRODUCCIÓN.....   | 5  |
| 3. OBJETIVOS .....   | 5  |
| 4. MATERIALES Y MÉTODOS.....   | 6  |
| 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....   | 6  |
| 5.1. DEFINICIÓN, ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN .....   | 6  |
| 5.2. CLASIFICACIÓN Y DIFERENCIAS DE LAS MICORRIZAS .....   | 8  |
| 5.4. PROCESO DE FORMACIÓN DE LA SIMBIOSIS MICORRÍCICA.....   | 10 |
| 5.5. TÉCNICA DE LA INOCULACIÓN .....   | 11 |
| 5.6. BENEFICIOS Y APLICACIONES QUE APORTAN LAS MICORRIZAS<br>AL ECOSISTEMA.....  | 13 |
| 5.7. INVESTIGACIONES SOBRE EL EFECTO POSITIVO DE LAS<br>MICORRIZAS EN EL DESARROLLO DE PLANTAS MEDICINALES O DE<br>INTERÉS ..... | 15 |
| 5.8. INVESTIGACIONES EN EL ARCHIPIÉLAGO CANARIO SOBRE SU<br>APLICACIÓN.....  | 17 |
| 6. CONCLUSIONES.....   | 20 |
| 7. BIBLIOGRAFÍA.....   | 21 |

## 1. RESUMEN

Las micorrizas son asociaciones simbióticas que se producen entre un hongo y una planta. Esta relación promueve el desarrollo de las plantas y, al mismo tiempo, la salud de las mismas frente a situaciones adversas. Tras una serie de investigaciones se ha podido observar que no solo se obtienen beneficios para los ecosistemas, sino que, aportan numerosas ventajas para el hombre, a nivel industrial. Estas asociaciones son interdependientes y se encuentran de manera universal en innumerables medios, ocupando un lugar privilegiado.

En este trabajo se tratará el proceso de la inoculación que ha permitido la explotación intensiva de campos de cultivo, siendo este modo de agricultura más sostenible, económico y respetuoso con el medio ambiente con respecto a los sistemas convencionales que se ha utilizado a lo largo de los últimos años en el mercado

Se comentarán diferentes ámbitos de notable importancia con respecto a este tipo de simbiosis mutualista y lo que aporta al medio. Asimismo, se mencionarán las llevadas a cabo en el Archipiélago Canario. De igual manera, se expondrá la rentabilidad que tiene esta asociación sobre las plantas medicinalesde gran interés farmacológico.

**Palabras clave:** Simbiosis, mutualismo, micorrizas, hongo arbusculares.

## ABSTRACT

Mycorrhizae are symbiotic associations that occur between a fungus and a plant. This relationship has the purpose of promoting the development of plants and, at the same time, preserving their health in the face of adverse situations. After a series of investigations, it has been observed that not only are there benefits for the ecosystems, but also numerous advantages for man, at an industrial level. These associations are interdependent and are universally found in countless environments, occupying a privileged place.

This work will deal with the development of inoculums for their subsequent inoculation, which has allowed the intensive exploitation of numerous crop fields, this mode of agriculture being more sustainable, economic and environmentally friendly than the conventional systems that have been used over the last few years on the market.

In addition, different areas of notable importance with respect to this type of mutualistic symbiosis and what it contributes to the environment will be presented. Mention will also be made of those carried out in the Canary Islands. The profitability of this association on medicinal plants of great pharmacological interest will also be explained.

**Keywords:** symbiosis, mutualism, mycorrhizae, arbuscular fungi.

## **2. INTRODUCCIÓN**

Las micorrizas son organismos que se encuentran desde hace 400 millones de años, periodo donde aparecieron los primeros indicios de plantas y, en 1885 fueron descubiertos por el patólogo y botánico alemán Albert. B. Frank (1).

La simbiosis entre un hongo micorrízico y una planta produce cambios fisiológicos y morfológicos. Las investigaciones realizadas sobre esta práctica han sido de gran ayuda a la hora de elegir las cepas más adecuadas para cada tipo de cultivo, teniendo en cuenta la naturaleza del mismo y las características fisicoquímicas del suelo en el que se encuentren.

En los últimos años se han estudiado métodos que ayuden a paliar y restituir los ecosistemas que se han visto sometidos a grandes cambios fruto de la intervención humana o de origen natural. La aplicación de hongos micorrízicos ha demostrado ser beneficiosa para la rizosfera. Ellos aportan numerosas ventajas a las plantas tales como la protección frente al estrés abiótico (salinidad, temperatura, pH,) como biótico (daño causado por microorganismos patógenos) (2).

Otros de sus múltiples beneficios es conseguir sistemas agrícolas sostenibles, ya que han demostrado ser uno de los mejores biofertilizantes en sustitución de los métodos tradicionales de fertilización química. Esto se debe a que son bioestimulantes radiculares (3), de manera que, fomentan tanto el desarrollo como el rendimiento de las raíces de las plantas (4).

## **3. OBJETIVOS**

El objetivo primordial de este trabajo es mostrar la importancia de las micorrizas como una de las fuentes primarias para la mejora de los ecosistemas. A su vez, se exponen las aplicaciones de las mismas en ámbitos como la agricultura y la medicina, las cuales son esenciales para la humanidad y que han permitido su desarrollo.

## **4. MATERIALES Y MÉTODOS**

Dado de que se trata de un trabajo bibliográfico, la metodología empleada se ha basado en la búsqueda de libros y artículos encontrados a través de Google Académico y el punto Q de la Universidad de La Laguna, buscador especializado en contenido y bibliografía científico-académica mediante la utilización de palabras clave como: “micorrizas”, “inoculación”, “hongos arbusculares”. Esta búsqueda dio como fruto una revisión rigurosa de 23 artículos publicados entre los años 1999 y 2022.

## **5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

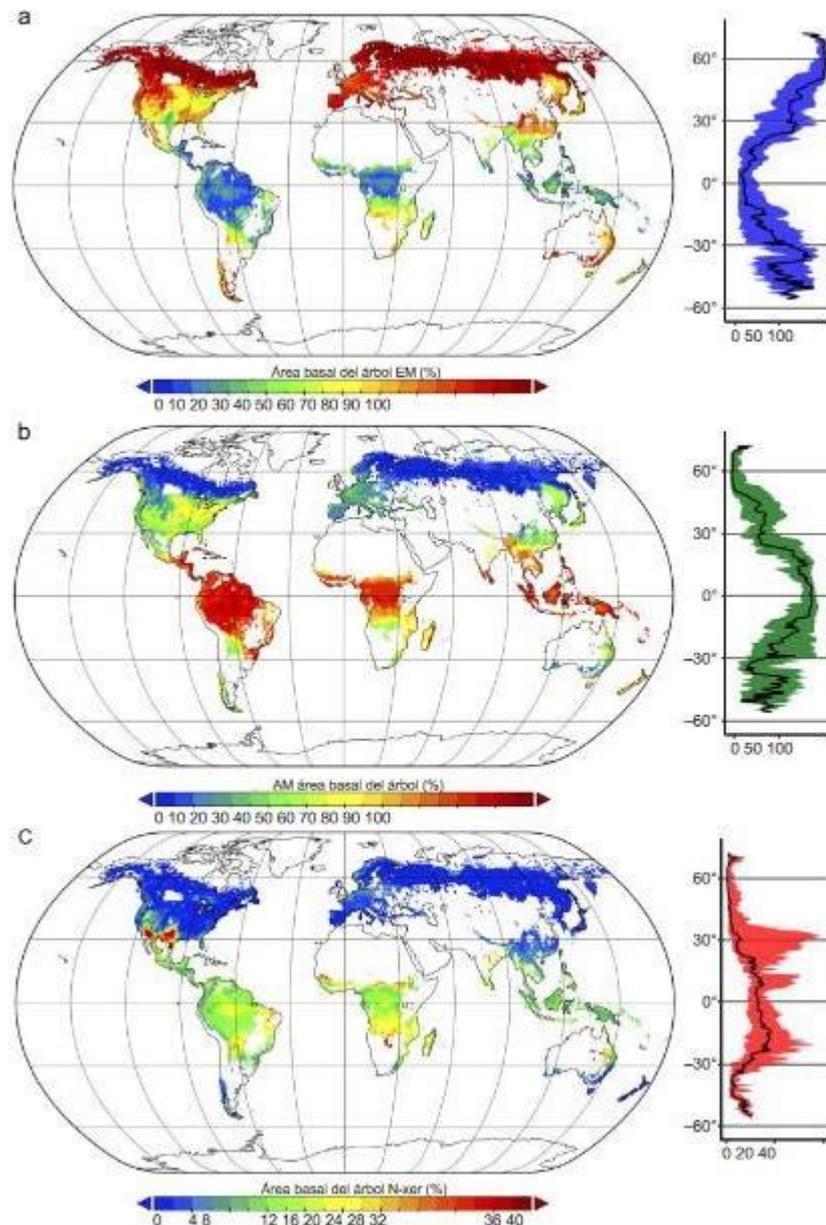
### **5.1. DEFINICIÓN, ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN**

Micorriza proviene del griego: “micos” = hongo y riza = “raíz”. Este término se define como la interacción simbiótica mutualista que ocurre entre las hifas (micelio) de un hongo y las raíces de una planta.

Esta asociación hongo-planta fue descrita en 1885 por el patólogo y botánico alemán, Albert. B. Frank, cuando este intentó averiguar el modo de aumentar la producción de trufas en su país natal y se encontró con este tipo de interacción entre una especie de hongo y las raíces de un árbol (5).

La simbiosis micorrízica se establece en el planeta desde hace más de 400 millones de años, momento en donde las plantas colonizaron la tierra por primera vez. Podemos encontrarlas en la mayoría de los ecosistemas tal como: bosques, lagos, selvas.

Existe una gran abundancia taxonómica de hongos y plantas (6), donde se calcula que hay alrededor de 6.000 especies de hongos que forman asociaciones simbióticas con alrededor de 240.000 especies de plantas. Por ello, se están haciendo estudios a nivel mundial sobre la distribución de los estados simbióticos de árboles y plantas (imagen 1).



**Imagen 1:** Mapas mundiales del estado simbiótico bosque-árbol (6). A–C, Mapas (izquierda) y gradientes latitudinales (derecha; la línea continua indica la mediana; la cinta de color abarca el rango entre los cuantiles del 5 % y el 95 %) del porcentaje de área basal del árbol para ectomicorrícico (a), micorriza arbuscular (b) y fijador de N (C) gremios simbióticos. Todas las proyecciones se muestran en una escala de latitud y longitud de 0,5° por 0,5°. Norte =28.454 celdas de cuadrícula.

Esto conlleva a una notable pluralidad de esta simbiosis mutualista donde el hospedador, la planta, obtiene nutrientes procedentes del suelo y captados por el micelio del huésped, el hongo. Por su parte, el hongo obtiene por parte de

la planta compuestos carbonados resultado de la fotosíntesis del hospedador (5).

## 5.2. CLASIFICACIÓN Y DIFERENCIAS DE LAS MICORRIZAS

En la actualidad se han reconocido diferentes tipos de micorrizas, en base a su funcionamiento: ectomicorrizas (micorriza ectotrófica), endomicorrizas (micorriza endotrófica) y un tercer grupo denominado ectendomicorrizas.

**Las ectomicorrizas** se distinguen porque el micelio del hongo, es decir, las hifas, rodean y cubren las raíces de las plantas, además de los espacios que se encuentran entre ellas. Esto origina una especie de manto fúngico y, en consecuencia se forma lo que se denomina “red de Harting”, la cual se caracteriza por avanzar intercelularmente, sin penetrar el córtex de las raíces de las plantas (Imagen 2) (7).

Los hongos que generan este tipo de simbiosis son los denominados Basidiomicetos (amanitas) y Ascomicetos (trufas). Esta asociación mutualista podemos encontrarla en planta superiores pertenecientes a las familias Fagaceae (castaños), Betulaceae (nogales), Pinaceae (abetos), y Fabaceae (habichuelas) (5).

**Las endomicorrizas** se diferencian porque no forman el manto fúngico. El micelio fúngico penetra el córtex de las raíces, originando un contacto más estrecho, aunque también pueden invadir intercelularmente las raíces de una planta (Imagen 2). Existen tres tipos: **ericomicorrizas** (familia Ericaceae), **orquideomicorrizas** y **micorrizas arbusculares (MA)** (5).

**Las ericomicorrizas** se encuentran formando parte de las raíces de las plantas de la familia Ericaceae (arándanos). Estas invaden exclusivamente el córtex de las raíces (Imagen 2). **Las orquideomicorrizas** están ligadas a la familia Orchidaceae y se caracterizan porque forman ovillos en el córtex, a parte, de invadir a nivel inter e intracelularmente a las raíces de una planta. Y, por último, las **micorrizas arbusculares**, diferenciadas por formar unas estructuras denominadas arbusculos, las cuales invaden intracelularmente el córtex de las raíces (Imagen 2). Gracias a ellas se lleva a cabo la transferencia de nutrientes entre el hospedador y el huésped. También se pueden encontrar otras

estructuras, las vesículas cuya función es de reserva, además de, azigosporas o esporocarpos situadas fuera del micelio (8).

**Las ectendomicorrizas**, comparten características comunes entre las ectomicorrizas y endomicorrizas, es decir, que son capaces de formar tanto manto fúngico, “red de Harting” y acceder de manera intracelular al córtex de las raíces (Imagen 2) (5).

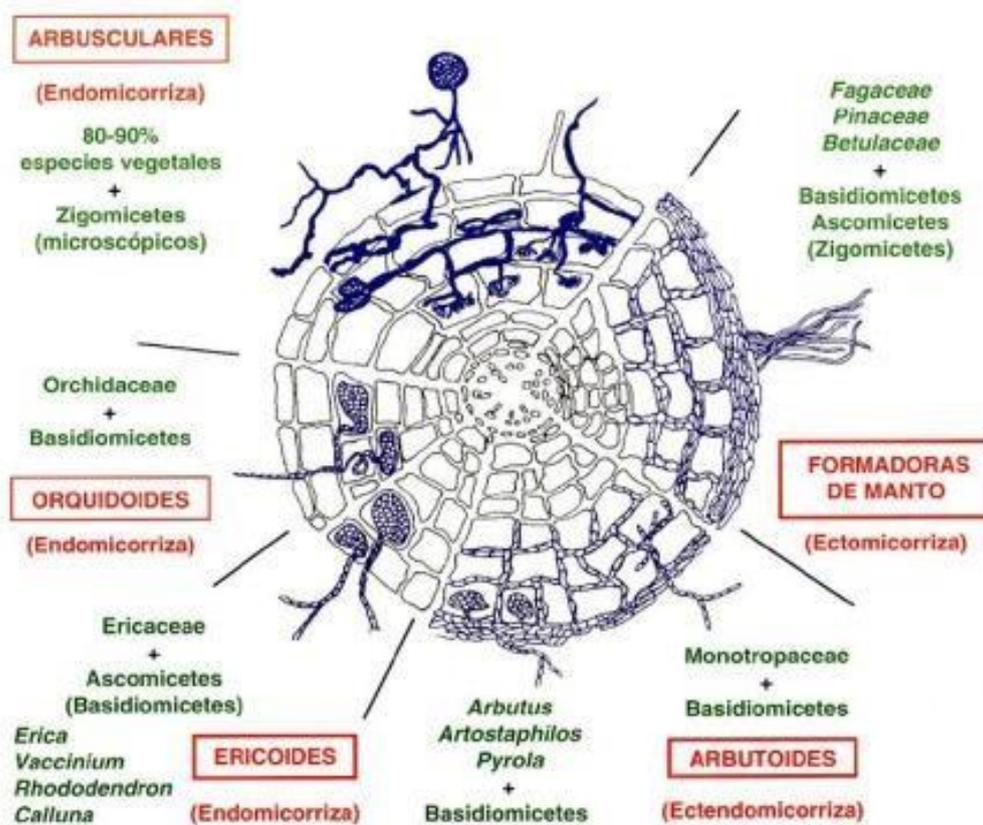


Imagen 2: Tipos de micorrizas (5).

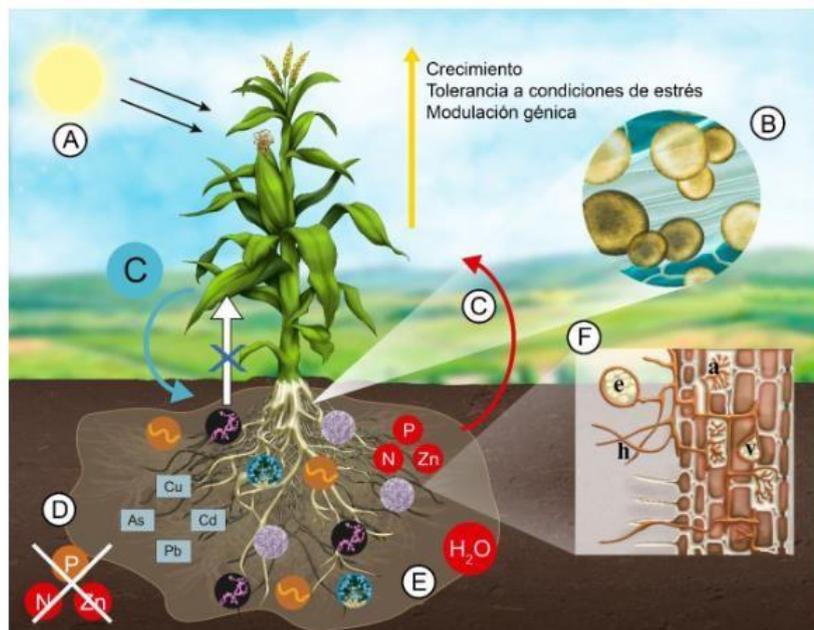
### 5.3. LAS MICORRIZAS ARBUSCULARES (MA)

Pese a que, todos los tipos de micorrizas que podemos encontrar formando parte de los ecosistemas que conforman el planeta tienen gran relevancia, cabe destacar al género de las micorrizas arbusculares (MA).

Las micorrizas arbusculares son organismos biotrofos obligados que pertenecen al Phylum Glomeromycota. Se estima que forman parte de más de un 80% de las especies de plantas que encontramos en la corteza terrestre. Por ello, se considera la simbiosis más extensa y antigua del planeta (9).

Gracias a las estructuras que diferencian a este tipo de micorriza, el aporte nutricional que le aporta a las plantas es bastante satisfactorio para las mismas (Imagen 3).

Este y otros indicios demuestran que estos hongos han formado una relación mutualista desde el comienzo de la evolución, contribuyendo a la adaptación de las plantas al mundo terrestre (10).



**Imagen 3:** Micorrizas arbusculares y su papel en la nutrición de las plantas (8)

## 5.4 PROCESO DE FORMACIÓN DE LA SIMBIOSIS MICORRÍCICA

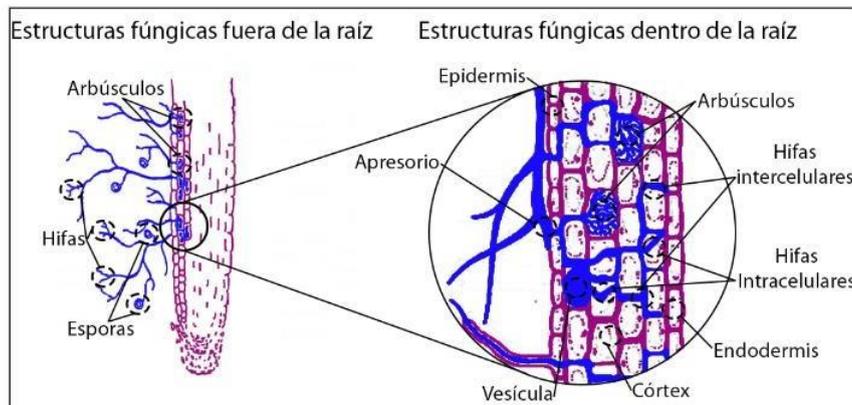
Aquellos hongos que forman una relación simbiótica con las plantas se encuentran de manera general en el suelo en forma de esporas, redes de micelio (raíces) o en las raíces de plantas, pero sin colonizarlas. Estas estructuras se denominan propágulos.

En el proceso de formación de las micorrizas, el hongo experimenta varias fases:

La **primera fase** se caracteriza porque el propágulo se encuentra en el medio y desarrolla una parte del micelio (raíces) sin colonizar a la planta hospedadora.

La **segunda fase**, es cuando las hifas del propágulo entran en contacto con la raíz y la penetran, formando una estructura denominada “apresorio”.

La **tercera fase**, caracterizada porque se produce una colonización a nivel inter como intracelular llegando a formar vesículas y arbusculos donde se produce el intercambio de nutrientes. Asimismo, las hifas del hongo se desarrollan hacia el exterior de la raíz de la planta formando un micelio esporulativo (formador de esporas), el cual está implicado en incrementar la capacidad de absorción de macronutrientes como el fósforo (P), al igual que la captación de agua. (5)



**Imagen 4:** Desarrollo del micelio dentro y fuera de la raíz de la planta hospedadora (2)

## 5.5. TÉCNICA DE LA INOCULACIÓN

Pese a que los hongos micorrízicos han aportado grandes beneficios a los agroecosistemas, la industria en las últimas décadas se ha visto sometida a una serie de inconvenientes. Problemas que abarcan desde la utilización de fungicidas u otros productos, suelos con alto contenido en fósforo y otros nutrientes y condiciones ambientales adversas.

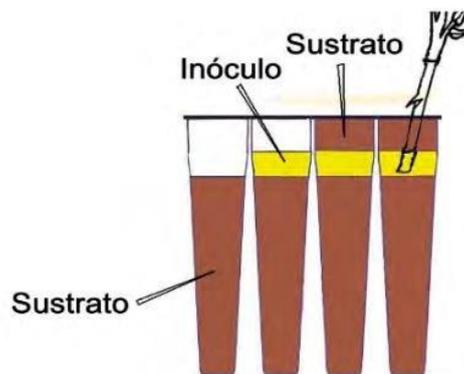
No obstante, la industria ha desarrollado métodos para la producción de inóculos de elevada calidad, siendo estos propágulos fúngicos (micelio, esporas

y raíces infectados con hongos) los que se instalarán en un transportador (arcilla, arena, etc.) con el objetivo de ser aplicados en sistemas de producción agraria.

De igual manera los inóculos deben poseer una serie de requisitos para avalar una buena técnica de inoculación. Dichos requisitos son:

- Simplicidad. La producción debe ser simple y económica.
- Solidez. El inóculo debe tolerar el medio de almacenaje y no perder la factibilidad.
- Adaptabilidad. El inóculo debe acomodarse con el medio al que va dirigido.

La inoculación es la técnica que se basa en administrar inóculos de hongos bajo una semilla, una planta in vitro, una estaquilla o cualquier otro material vegetal sobre un sustrato con el fin de que estos emitan raíces para formar un nuevo individuo y, así, multiplicar un sistema de producción vegetal (Imagen 5). Así mismo, se debe de tener en cuenta el mejor momento para llevar a cabo la inoculación, siendo la mejor opción al principio del ciclo del cultivo, durante las primeras fases del mismo. Para ello solo se debe colocar el inóculo lo más cerca posible del material que queramos propagar, sobre el sustrato utilizado teniendo en cuenta que no deben ser sustratos enriquecidos en nutrientes (11).



**Imagen 5:** Esquema orientativo para la aplicación de inóculos micorrícicos (5)

Existen varias formas de aplicar los inóculos. Por ejemplo, las utilizadas por técnicos y comerciales que recomiendan inocular en el momento de establecer el cultivo en el campo, como por ejemplo mediante el riego. Esta técnica de inoculación tiene el inconveniente de necesitar grandes cantidades de inóculos si lo comparamos con la inoculación en las primeras fases, ya que dicho cultivo puede estar ya “contaminado” con otras cepas de hongos.

Al finalizar este proceso, la planta tendrá una micorriza en lugar de lo que denominamos raíz.

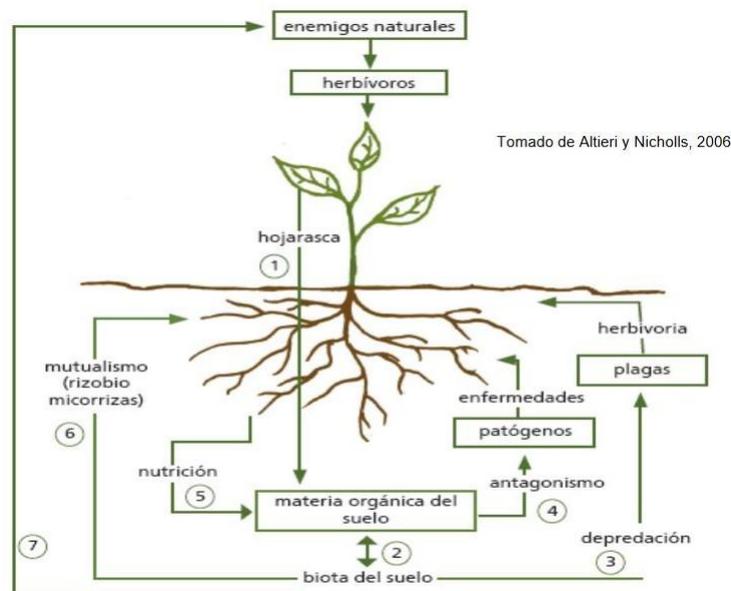
Esta técnica tiene como finalidad enriquecer tanto al medio del cultivo como al agricultor ya que, impulsamos una producción de plantas más homogéneas, resilientes, se promueve el ahorro de fertilizantes, etc. (12).

## **5.6. BENEFICIOS Y APLICACIONES QUE APORTAN LAS MICORRIZAS AL ECOSISTEMA**

Las micorrizas tienen numerosos beneficios. Aportan nutrientes a las plantas, ya que la propia raíz de la misma está colonizada por dichos hongos micorrizicos y forman agregados que mejoran dicha absorción de nutrientes. Aumenta la resistencia de plantas frente a hongos patógenos, plagas y plantas parásitas. Protegen a las plantas frente a diferentes factores como: el cambio de pH, temperatura, salinidad, ya que dichos hongos al poseer una red micelial tienen mayor capacidad para buscar en el suelo el agua y nutrientes de manera más exhaustiva (13). Protegen a las plantas frente a la contaminación por metales pesados, ya que los hongos absorben dichos metales y, por consiguiente, se minimiza la contaminación de los suelos. Además, las micorrizas interaccionan con otros microorganismos de la rizosfera (13), cuyas funciones son: descomponer la materia orgánica para reciclar nutrientes y que estos pasen a las plantas, solubilización de minerales para que estos sean asimilables para las plantas (14), captar nutrientes como el nitrógeno y fijarlo al suelo, lo cual contribuye a la mejora del medio ambiente (14). Reducir la aplicación de fungicidas o bactericidas, con la finalidad de preservar el ecosistema y aumentar la productividad agrícola (15).

Las principales aplicaciones de las micorrizas que se llevan a cabo en actividades agrícolas y ambientales más destacadas son las siguientes:

- Producción de cultivos de alta rentabilidad. Las micorrizas han favorecido a la implantación de plantaciones extensivas agrarias permitiendo la producción en masa de cultivos.
- Restauración de especies en peligro de extinción.
- Producción de plántulas micorrizadas (16).
- Rehabilitación de suelos deteriorados (17).
- Reforestación para hongos comestibles (17).
- Micropropagación de plantas. Esto ha permitido la extensibilidad de diversas especies vegetales con el fin de poner en práctica la multiplicación y/o regeneración de materia vegetal.



**Imagen 6:** Biodiversidad del medio y sus respectivas interacciones (5)

## 5.7. INVESTIGACIONES SOBRE EL EFECTO POSITIVO DE LAS MICORRIZAS EN EL DESARROLLO DE PLANTAS MEDICINALES O DE INTERES

A partir de plantas medicinales, se han obtenido compuesto de primera línea para fármacos clínicos. Sin embargo, debido al deterioro del entorno natural y la sobreexplotación, los recursos que se obtienen de las plantas se han visto disminuido notablemente. Por ello, han recurrido a este tipo de asociaciones con el fin de volver a reestablecer dichos recursos.

Estudios relevantes en este contexto, que merezcan ser analizados, son los mencionados por Sierra-Escobar et al. (18), en los cuáles se llevó a cabo la asociación entre hongos arbusculares (*Glomus spp*, *Acaulospora spp*, *Entrophospora spp*, *Scutellospora spp* y *Entrophospora colombiana* Spain & N.C. Schenck) y el romero (*Rosmarinus officinalis L.*). Tras la inoculación, los resultaron indicaron que no hubo respuesta positiva en el rendimiento de aceites esenciales y su concentración. Sin embargo, en la misma investigación se ha reportado que dependiendo de la especie de planta se ve favorecida la asociación con estos hongos arbusculares. Por ejemplo con la salvia (*Salvia officinalis Lin.*), valeriana (*Valeriana officinalis Lin.*) y orégano (*Origanum vulgare Lin.*), la presencia de los hongos arbusculares aumentó la productividad y la acumulación de metabolitos secundarios, los cuales tienen propiedades como: antiviral, estrogénica, antioxidante, sedantes (18).

Tal como vemos en la tabla 1, Rui-Ting et al. (19) realizaron un estudio exhaustivo para mostrar ejemplos de determinadas plantas medicinales y de especies de micorrizas que se han encontrado asociada a estas.

| plantas hospederas                                      | Especies de hongos AM  | Referencias            |
|---|--|------------------------|
| <i>Aconitum carmichaeli</i>                             | <i>Glomus caledonio</i> , <i>GRAMO.geospora</i> , <i>GRAMO.oculum</i> , <i>GRAMO.pálido</i> , y <i>Gigaspora gigantean</i>   | liy otros., 2011       |
| <i>Aloe vera</i>  | <i>Acaulospora leavis</i> , <i>GRAMO.clavisporum</i> , <i>GRAMO.etunicatum</i> , <i>GRAMO.caledonio</i> , <i>GRAMO.luteo</i> , y <i>Scutellospora gregaria</i>   | Kouly otros., 2012     |
| <i>Artemisia nilagrica</i>                              | <i>GRAMO.diáfano</i> , <i>GRAMO.etunicatum</i> , <i>GRAMO.intraradices</i> , <i>GRAMO.espolón</i> , y <i>Carolina del Sur.gregario</i>   | Kouly otros., 2012     |
| <i>Atractylodes macrocephala</i>                        | <i>GRAMO.constrictum</i> , <i>GRAMO.geospora</i> , <i>GRAMO.Mosseae</i> , y <i>GRAMO.pálido</i>  | liy otros., 2011       |
| <i>Coleus aromaticus</i>                                | <i>Acaulospora appendiculata</i> , <i>C.A.hojas</i> , <i>GRAMO.agregado</i> , <i>GRAMO.costrico</i> , <i>GRAMO.fasciculatum</i> , <i>GRAMO.mosseae</i> , <i>GRAMO.macrocarpo</i> , <i>entofósforospp.</i> , y <i>escutellosporasp</i>  | Mahobiyay otros., 2018 |
| <i>Coptis chinensis</i>                                 | <i>GRAMO.caledonio</i> , <i>GRAMO.geospora</i> , <i>GRAMO.mosseae</i> , <i>GRAMO.diáfano</i> , <i>GRAMO.oculum</i> , y <i>Acaulosporamella</i>   | liy otros., 2011       |
| <i>Curcuma decipiens</i>                                | <i>Ambispora Teptoticha</i> , <i>GRAMO.caledonio</i> , <i>GRAMO.constrictum</i> , <i>GRAMO.fasciculatum</i> , <i>GRAMO.geosporum</i> , y <i>GRAMO.multicaule</i>   | Radhikay otros., 2010  |
| <i>Hemidesmo índice</i>                                 | <i>Soy. Teptoticha</i> , <i>GRAMO.fasciculado</i> , <i>GRAMO.geosporum</i> , <i>GRAMO.maculoso</i> , y <i>GRAMO.multicaule</i>   | Radhikay otros., 2010  |
| <i>Lonicera japónica</i>                                | <i>GRAMO.constrictum</i> , <i>GRAMO.geosporum</i> , <i>GRAMO.mosseae</i> , y <i>GRAMO.Versiforme</i>   | gaiy otros., 2000      |
| <i>polifila de París</i><br>variedad <i>yunnanensis</i> | <i>Acaulospora appendicola</i> , <i>C.A.brieticulata</i> , <i>C.A.excavado</i> , <i>C.A.foveata</i> , <i>C.A.lacunosa</i> , <i>C.A.hojas</i> , <i>C.A.koskei</i> , <i>C.A.myriocarpa</i> , <i>C.A.polonica</i> , <i>C.A.rehmii</i> , <i>C.A.escrobiculata</i> , <i>GRAMO.álbido</i> , <i>GRAMO.ambisporum</i> , <i>GRAMO.deserticola</i> , <i>GRAMO.luteo</i> , <i>GRAMO.fragarioides</i> , <i>GRAMO.microagregado</i> , <i>GRAMO.multiforo</i> , <i>G.lúteo</i> , <i>G.fragarioides</i> , <i>G.microagregado</i> , <i>G.multiforo</i> , <i>Gigaspora albida</i> , <i>Soldado americano</i> , <i>Margarita</i> , <i>Soldado americano</i> , <i>ramisporophora</i> , <i>Scutellospora calospora</i> , <i>Carolina del Sur.Gilmorei</i> , y <i>Carolina del Sur.pelúcida</i> | Zhouy otros., 2009     |
| <i>Plantago asiática</i>                                | <i>GRAMO.intraradices</i>  | zhangy otros., 2006    |
| <i>Radix escrofulariae</i>                              | <i>GRAMO.constrictum</i> , <i>GRAMO.diáfano</i> , <i>GRAMO.geospora</i> , <i>GRAMO.mosseae</i> , <i>GRAMO.oculum</i> , <i>GRAMO.reticulatum</i> , y <i>Gigaspora gigantean</i>   | liy otros., 2011       |
| <i>Rauwolfia serpentina</i>                             | <i>C.A.apéndice</i> , <i>C.A.hojas</i> , <i>GRAMO.agregado</i> , <i>GRAMO.costrico</i> , <i>GRAMO.fasciculado</i> , <i>GRAMO.mosseae</i> , <i>GRAMO.macrocarpo</i> , <i>GRAMO.geosporum</i> , <i>Gigasporasp.</i> , <i>escutellosporasp.</i> , y <i>yesclerocistisspp.</i>   | Mahobiyay otros., 2018 |
| <i>Scutellaria baicalensis</i>                          | <i>GRAMO.geosporum</i> y <i>GRAMO.Versiforme</i>   | zhangy otros., 2006    |
| <i>Solanum nigrum</i>                                   | <i>Gigaspora margaria</i>  | gaiy otros., 2000      |
| <i>Solanum nigrum</i>                                   | <i>Glomus caledonio</i>  | zhangy otros., 2006    |
| <i>Tagetes erecta</i>                                   | <i>G.fistulosum</i> , <i>G.lúteo</i> , <i>G.etunicatum</i> , y <i>S.coralloidea</i>  | Kouly otros., 2012     |
| <i>Withania somnifera</i>                               | <i>G.clariodeum</i> , <i>G.etunicatum</i> , <i>G.fistulosum</i> , y <i>G.intraradices</i>  | Kouly otros., 2012     |

**Tabla 1.** Simbiosis de plantas medicinales con hongos arbusculares (HMA) (19)

Asimismo, los autores citados con anterioridad, Rui-Ting et al (19) realizaron estudios con plantas como ginseng (*Panax ginseng* Mey.) y yucca (*Yucca filamentosa* Lin.), que forman simbiosis con micorrizas arbusculares (*Funneliformis mosseae* Nicol. and Gerd.), demostraron que las plantas toleran más el estrés, aumenta la acumulación de terpenos y alcaloides, los cuales tienen efectos antiinflamatorios, antibacterianos, cardiotónicos y anticancerígenos (19). Asimismo, plantas como ajeno dulce (*Artemisia annua* Lin.) y stevia (*Stevia rebaudiana* Ver.), aumentaron su rendimiento promoviendo la acumulación de sus principios activos: artemisinina y esteviósido, respectivamente (19).

Del mismo modo, otras investigaciones han estudiado la rentabilidad que se produce entre este tipo de interacción simbiótica entre hongo-planta. Cabe destacar los trabajos llevados a cabo por Saldaña-Chafloque et al. (20) sobre 76

plantas medicinales situadas en Azad Jamma y Cachemira (Asia). Los resultados reflejaron que plantas como la menta (*Mentha arvensis* Var) y la palmarosa (*Cymbopogon martini* Roxb) después de ser inoculadas incrementaron el porcentaje de sus esencias y, con ello, la rentabilidad de las mismas. Por tanto, aumenta el rendimiento de sus propiedades, tales como: antiinflamatorias, antibacterianas en caso de la menta o, digestivas y diuréticas destacadas en la palmarosa. De igual manera, el hinojo (*Foeniculum vulgare* Mill.), potenció sus propiedades (antioxidante, expectorante), aumentando la concentración de aceite esencial debido a la interacción con dos tipos de hongos: *Glomus macrocarpum* Tul. & Tul. y *Glomus fasciculatum* (Thaxter) Gerdeann & Trappe (20).

## **5.8. INVESTIGACIONES EN EL ARCHIPIÉLAGO CANARIO SOBRE SU APLICACIÓN**

A raíz de los efectos que generan los hongos micorrízicos en los agroecosistemas, el Instituto Canario de Investigaciones Agrarias, con el respaldo de Proyectos de Investigación nacionales y europeos, lleva décadas desarrollando trabajos enfocados en evaluar los efectos que provoca este tipo de simbiosis al medio y contrarrestar el uso de fitosanitarios, con el fin de promover la homogeneidad de especies de gran interés. Los ensayos se han realizado en cultivos tropicales y subtropicales (plataneras, papayas, etc.), específicamente en viveros. Utilizando sustratos pobres en fósforo, aplicando azufre de manera limitada como única práctica fitosanitaria y efectuando la técnica de inoculación en las primeras fases de desarrollo de los vegetales. Otras especies para estos estudios han sido los frutales, donde se demostró las ventajas de inoculación en la fase de estaquillado en viñas y en cítricos.

En cultivos hortícolas se evidenció la susceptibilidad de estas especies en ser micorrizadas. Aunque, hubo inconvenientes, en las investigaciones que se han realizado se pudo observar que el efecto rentable de la inoculación de este tipo de especie era haciendo uso de semilleros. De igual modo, esta práctica también se ha llevado a cabo en especies en peligro de extinción (*Lotus*

*Berthelotii* Masf.), especies forrajeras (tagasastes) y plantas ornamentales (*Phoenix canariensis* Wild.) (5).



**Imagen 7:** Plantas de papaya micorrizadas en invernadero (5)

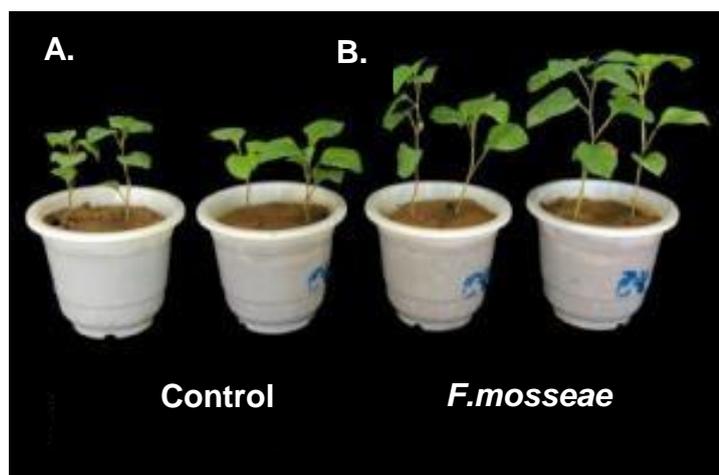
Muchos de estos ensayos se realizaron con especies de gran interés agrícola, como el tomate (*Solanum lycopersicum* L.) que se encontraban contagiadas por patógenos como nematodos y lesionadores (21).

Igualmente, una de las investigaciones de gran notoriedad se realizó en la isla de Tenerife. Esta investigación, realizada por Rubio-Sanz et al. (22), se llevó a cabo con una planta de gran interés nutricional y medicinal, la moringa (*Moringa oleífera* Lam.). Esta especie se caracteriza por ser una fuente de nutrientes como: calcio, potasio o hierro. Asimismo, de vitaminas del grupo A, B, C y D (22). Se concluyó que después de su inoculación con el hongo *Funneliformis mosseae* aumento su desarrollo positivamente (Imagen 6). Con lo que respecta a su nutrición, se observó que nutrientes como el calcio, duplicaron su valor, al igual que el magnesio, y el hierro (23).



**Imagen 8:** Plantas y árboles de *Moringa oleífera* en la finca de Güímar (Tenerife). Arriba: recién trasplantadas (2014) y un año después en desarrollo dcha. Abajo: Árboles ya adultos (2018), (22).

Ensayos llevados a cabo con otro tipo de especies vegetales como la plata medicinal hierba nudosa (*Polygonum cuspidatum* Siebold & Zucc) conocida por sus propiedades antienvjecimiento también mostraron que la inoculación de ese mismo hongo (*Funneliformis mosseae*) produjo efectos positivos frente a las plantascontrol (19).



**Imagen 9:** Planta *Polygonum cuspidatum* control (A) y micorrizada con *Funneliformis mosseae* (B) (19)

## 6. CONCLUSIONES

- Las micorrizas representan una asociación simbiótica fundamental para el desarrollo y bienestar de los vegetales.

-Gracias a ellas, se ha podido restablecer la vida en ecosistemas que han sido gravemente dañados, tanto por el hombre como por fenómenos naturales.

Las micorrizas son responsables de grandes beneficios tanto a nivel agronómico, ya que promueven un mejor rendimiento de especies vegetales como a nivel económico, puesto que a partir de plantas medicinales y aromáticas se obtiene una mayor producción de metabolitos secundarios, los cuales tendrán gran utilidad en la industria farmacéutica y/o alimentaria.

-Podemos considerar las micorrizas como biofertilizantes, ya que son de gran utilidad para protegen al medio ambiente, asegurando el ciclo biológico de la vida y la capacidad productiva para generaciones futuras.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

1. Honrubia, M. Las micorrizas: una relación planta-hongo que dura más de 400 millones de años. 2009; Vol. 66 (1): 133-144. Disponible en: <https://doi.org/10.3989/ajbm.2226>
2. Bernardo, V. Garita, S. Ripodas, J.I. Gonzalez, G. Arango, C y Ruscitti, M. Micorrizas arbusculares, aplicaciones en el sector agro-forestal. Nazareno Saparrat, M.C. Ruscitti, M. F. Arango, M.C. Micorrizas arbusculares. Biología y aplicaciones en el sector agro-forestal. 5. Universidad Nacional de la Plata: UNLP. 2011. p. 64-88.
3. Jaizme-Vega, M.C. La vida en el suelo. Papel de los microorganismos en la agroecología. En Afonso-Carrillo, J. (Ed.). Agricultura en Canarias: conciliando tradición y ciencia. Actas VII Semana Científica Telesforo Bravo. Instituto de Estudios Hispánicos de Canarias. Puerto de la Cruz, Tenerife. 2012. 145-172.
4. Grageda-Cabrera O. A, Díaz-Franco A, Peña-Cabriaes J. J. Vera-Nuñez J. A. Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 2012; 3(6): 1261-1274. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263123222015>
5. Jaizme-Vega, M.C. Las micorrizas, una estrategia agroecológica para optimizar la calidad de los cultivos.1. ICIA. Phytoma España, S.L; 2019.
6. Steidinger, B. S. Crowther, T.W. Liang, J. Van Nuland M.E. Werner, G.D.A. Reich P. B. Nabuurs, G. J. Miguel, S. Zhou, M. Picard, N. Herault, B. Zhao, X. Zhang, C. Routh, D. Consortium, GFBI y Peay, K.G. Climatic controls of decomposition drive the global biogeography of forest-tree symbioses. Nature. 2019: 569: 404-415. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41586-019-1128-0>
7. Galindo-Flores G, Castillo-Guevara C, Campos-López A, Lara C. Characterization of ectomycorrhizae formed by *Laccaria trichodermophora* and *Suillus tomentosus* in *Pinus montezumae*. Botanical sciences. 2015: 93 (4): 855-863. Disponible en: <https://doi.org/10.17129/botsci.200>
8. Carrillo-Saucedo, S. M., J. Puente-Rivera, S. Montes-Recinas y R. Cruz-Ortega. Las micorrizas como una herramienta para la restauración ecológica.

Acta Botánica Mexicana. 2022; 129: 1-27. Disponible en:  
<http://doi.org/10.21829/abm129.2022.1932>

9. Noda, Y. Las Micorrizas: Una alternativa de fertilización ecológica en los pastos. Redalyc. 2009; 32(2): 1-10. Disponible en:  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=269119695001>

10. Alarcón .A, Ferrera Cerrato R. Manejo de la micorriza arbuscular en sistemas de propagación de plantas frutícolas. Terra Latinoamericana. 1999; 17(3):179-191. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57317302>

11. Jaizme Vega, M.C, Garzón, M. García, A. Marqués, R. y Porcuna, J.L. Consideraciones sobre la inoculación micorrícica en viveros de cítricos. Phytohemeroteca. 2019; 308: 40-46. Disponible en:  
<https://www.phytoma.com/la-revista/phytohemeroteca/308-abril-308/consideraciones-sobre-la-inoculacion-micorrícica-en-viveros-de-citricos>

12. Arias Mota, R.M. Romero Fernández, A.J. Bañuelos Trejo, J. Cruz Elizondo, Y. Inoculación de hongos solubilizadores de fósforo y micorrizas arbusculares en plantas de jitomate. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 2019; 10 (8): 1747-1757. Disponible en: <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i8.1558>.

13. Cano, L.A. Interacción de microorganismos benéficos en plantas: micorrizas, trichoderma spp. Y pseudomonas spp. 2011. 14(2): 15-31. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v14n2/v14n2a03.pdf>

14. Saparrat, M. Bernardo, V. Ruscitti, M. Elíades, L y Balatti, P. Hongos rizosféricos y el movimiento del fósforo en el suelo. Nazareno Saparrat, M.C. Fabiana Ruscitti, M y Arango, M.C (coordinadores). Micorrizas arbusculares. Biología y aplicaciones en el sector agro-forestal. 5. Universidad nacional de la plata. UNLP. 2011. 52-63.

15. Velazquez, S. Valdés, F y Abarca, C. Tecnología de la inoculación. Nazareno Saparrat, M.C. Fabiana Ruscitti, M y Arango, M.C (coordinadores). Micorrizas arbusculares. Biología y aplicaciones en el sector agro-forestal. 5. Universidad nacional de la plata. UNLP. 2011. 106-114.

16. Gonzalez, M Arango, C. Pastorino, G y Ruscitti, M. Micorrizas arbusculares y la restauración de ecosistemas degradados. Nazareno Saparrat, M.C. Fabiana Ruscitti, M y Arango, M.C (coordinadores). Micorrizas arbusculares. Biología y aplicaciones en el sector agro-forestal. 5. Universidad nacional de la plata. UNLP. 2011. 89-105.
17. Garcia, S. Martínez Aragón, J. Oliach, D. Entender los beneficios de usar plantas micorrizadas para la reforestación. E-FOR-OWN. Garcia, S. Martínez Aragón, J. Oliach, D. Junio 2019. Disponible en: <https://eforown.ctfc.cat>
18. Sierra-Escobar, J.A. Márquez Arteaga, M y Quiroz, C. Efecto de los hongos formadores de micorriza arbuscular (HFMA) en la producción de aceites esenciales en romero (*Rosmarinus officinalis* L.). Revis Bionatura. 2022; 7 (4): 1-6. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.21931/RB/2022.07.04.52>.
19. Rui Ting, S. Ze Zhi, Z. Nong, Z. Srivastava, A.K. Kamil, K. Elsayed F. ABD ALLAH. Abeer, H. Qiang-Sheng, W. A review of the interaction of medicinal plants and mycorrhizal fungi in the rhizosphere. Notulae Botanicae Horti Agrobotanici cluj-napoca. 2021; 49 (3): 1-15. Disponible en: <https://doi.org/10.15835/nbha49312454>
20. Saldaña-Chafloque CF, Acosta-Román M, Jordán de la Cruz-Castillo A, Valenzuela-Ramos MR. Impacto de la agricultura orgánica en la producción de plantas medicinales. Medicina naturista. 2022; 16 (1): 41-47.
21. Jaizme Vega MC, Rodriguez-Romero AS, Barroso Nunez LA. Effect of the combined inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and plant-growth promoting rhizobacteria on papaya (*Carica papaya* L.) infected with the root-knot nematode *Meloidogyne incognita*. Fruits, 2006; 61; 151–162 .Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1051/fruits:2006013>
22. Rubio Sanz, L.; Arnés, M; Jaizme Vega, MC. Ventajas de la micorrización temprana sobre el desarrollo y la calidad nutricional de *Moringa oleífera* Lam. En: Vila-Real. VI Jornadas Técnicas sobre Agroecología “Antonio Bello”; abril de 2018; Castellón, España. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/341709996\\_Ventajas\\_de\\_la\\_micorriza](https://www.researchgate.net/publication/341709996_Ventajas_de_la_micorriza)

[cion temprana sobre el desarrollo y la calidad nutricional de Moringa oleifera Lam](#)

23. Rubio Sanz, L. Garzón Molina. M. Arnes García, M. Optimización del desarrollo, nutrición y producción de semillas de Moringa oleífera mediante el uso de micorrizas bajo manejo agroecológico. Agroecología. 2020; 14: 81-90. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/343229904>.