



Agricultura

Multiplicación  
de hongos  
formadores  
de micorrizas  
arbusculares  
(HFMA) a  
pequeña escala  
para producción  
de plántulas de  
uchuva

CUNDINAMARCA  
REGION  
Que Progresas!



AGROSAVIA

Corporación colombiana de investigación agropecuaria





# Multiplicación de hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) a pequeña escala para producción de plántulas de uchuva

Diana Paola Serralde Ordóñez  
María Margarita Ramírez Gómez  
Andrea María Peñaranda Rolón  
Wilmar Alexander Wilches Ortiz  
Luciano Ramírez  
Emerson Duván Rojas Zambrano

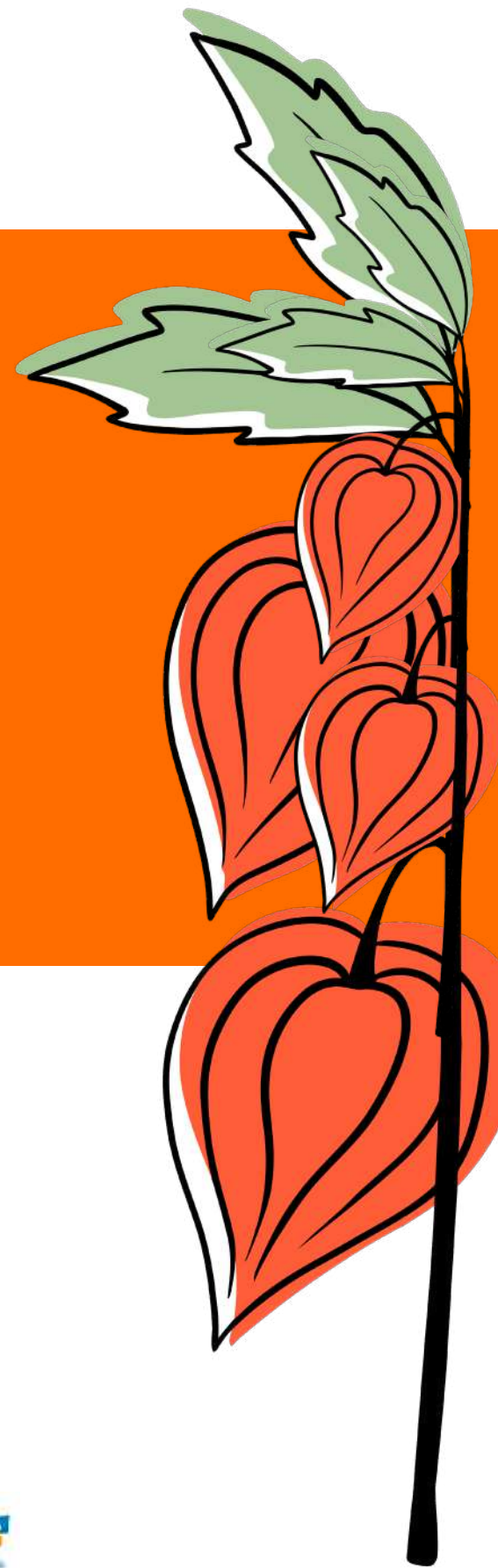
**AGROSAVIA**

Corporación colombiana de investigación agropecuaria

**SGR**  
Sistema General de Regalías

CUNDINAMARCA  
REGIÓN  
Que Progresa!

Mosquera, Colombia, 2023  
Colección Alianzas Agrosavia



Multiplicación de hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) a pequeña escala para producción de plántulas de uchuva. / Diana Paola Serralde Ordóñez [y otros cinco] – Mosquera, (Colombia) : AGROSAVIA, 2023.

42 páginas (Colección Alianzas AGROSAVIA)

Incluye referencias bibliográficas, ilustraciones y gráficos.

ISBN: 978-958-740-700-6

ISBN e-Book: 978-958-740-701-3

1. *Physalis peruviana* 2. Uchuva 3. Micorrizas arbusculares 4. Microorganismos 5. Hongos del suelo 6. Nutrición de las plantas 7. Producción de plántulas 8. Inoculación 9. Gestión integrada.

**Palabras clave normalizadas según Tesauro Multilingüe de Agricultura -Agrovoc**

Catalogación en la publicación – Biblioteca Agropecuaria de Colombia

La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA

Centro de Investigación Tibaitatá, km 14 vía Mosquera-Bogotá, Cundinamarca.

Código postal 250047, Colombia.

Esta publicación es el resultado del trabajo realizado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA, en el marco del proyecto “Desarrollo, transferencia de tecnología y conocimiento para la innovación que reduzca la baja competitividad de uchuva derivada de la emergencia por el Covid-19, mediante la disminución del marchitamiento vascular en Ubaté y Granada, Cundinamarca (ID: 1001611)”, 2049-BPIN 2020000100700.

Colección Alianzas Agrosavia

Tipología: Manual

Fecha de recepción: 13 de septiembre de 2023

Fecha de evaluación: 22 de septiembre de 2023

Fecha de aceptación: 24 de octubre de 2023

Primera edición: diciembre 2023

*Printed in Bogotá, Colombia*

editorial@agrosavia.co

Diseño y diagramación: Gabriel D. Roveda

Corrección de estilo: Amalia Tapiero

Citación sugerida: Serralde Ordóñez, D. P., Ramírez Gómez, M. M., Peñaranda Rolón, A. M., Wilches Ortiz, W. A., Ramírez, L., & Rojas Zambrano, E. D. (2023). *Multiplicación de hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) a pequeña escala para producción de plántulas de uchuva*. La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA).

<https://doi.org/10.21930/agrosavia.manual.7407013>

Cláusula de responsabilidad: AGROSAVIA no es responsable de las opiniones ni de la información recogida en el presente texto. Los autores asumen de manera exclusiva y plena toda responsabilidad sobre su contenido, ya sea este propio o de terceros, declarando en este último supuesto que cuentan con la debida autorización de terceros para su publicación. Igualmente, expresan que no existe conflicto de interés alguno en relación con los resultados de la investigación propiedad de tales terceros. En consecuencia, los autores serán responsables civil, administrativa o penalmente, frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros, relativa a los derechos de autor u otros derechos que se vulneren como resultado de su contribución.

Línea de atención al cliente: 018000121515

atencionalcliente@agrosavia.co

[www.agrosavia.co](http://www.agrosavia.co)



<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>

# Tabla de contenido

## **6 Agradecimientos**

## **7 Introducción**

## **9 Generalidades de los HFMA**

9 ¿Qué son los HFMA?

10 ¿Cuáles son los beneficios de la simbiosis HFMA y la planta?

13 ¿Dónde se encuentran los HFMA?

## **17 Inoculación con HFMA**

17 ¿Por qué inocular con HFMA plantas de uchuva?

## **21 Multiplicación de HFMA a pequeña escala**

23 Paso 1. Inoculación en bandejas de germinación

24 Paso 2. Trasplante e inoculación en materas/bolsas

25 Paso 3. Construcción e inoculación en camas

27 Paso 4. Recolección del inóculo

28 Paso 5. Control de calidad

## **33 Producción de plántulas de uchuva micorrizadas**

## **37 Referencias**

## **39 Autoría**



# Lista de figuras

- 10 [Figura 1. Establecimiento de la simbiosis entre los HFMA y la raíz de una planta](#)
- 11 [Figura 2. Potenciales efectos de la relación simbiótica entre los HFMA y la planta](#)
- 13 [Figura 3. Efecto de la simbiosis planta- HFMA](#)
- 23 [Figura 4. Primer paso en el proceso de escalamiento de HFMA](#)
- 24 [Figura 5. Segundo paso: trasplante e inoculación en materas](#)
- 25 [Figura 6. Tercer paso: construcción y establecimiento de camas de multiplicación a pequeña escala de HFMA](#)
- 26 [Figura 7. Desinfección y solarización del sustrato](#)
- 27 [Figura 8. Inoculación en camas de multiplicación a pequeña escala](#)
- 28 [Figura 9. Recolección del inóculo](#)
- 29 [Figura 10. Proceso para la cuantificación de esporas](#)
- 30 [Figura 11. Proceso para determinar el porcentaje de colonización de una raíz micorrizada](#)
- 33 [Figura 12. Proceso de desinfección de semillas de uchuva \(\*Physalis peruviana\* L.\)](#)
- 34 [Figura 13. Inoculación y producción de plantas de uchuva micorrizadas](#)



# Agradecimientos

Los autores agradecen a La Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR), a la Gobernación de Cundinamarca y al Sistema General de Regalías (SGR) por la financiación del proyecto que permitió el desarrollo de esta obra.



Foto: Gabriel D. Roveda R.



# Introducción

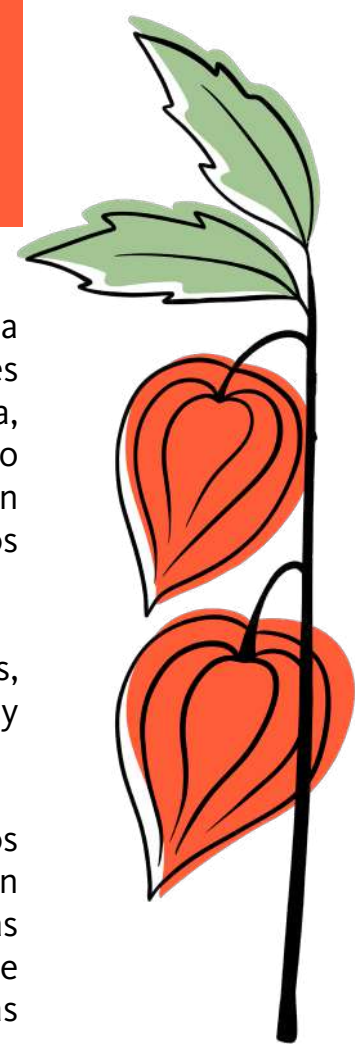
**E**ste manual describe de manera sencilla pero rigurosa el proceso de multiplicación a pequeña escala de propágulos infectivos de Hongos Formadores de Micorrizas Arbusculares (HFMA). Aunque esta metodología es simple y no requiere de una infraestructura compleja, es indispensable hacer un control y manejo adecuado, así como garantizar el acompañamiento de expertos, para garantizar que la efectividad, calidad e inocuidad del inóculo producido sean adecuados. De esta manera, se podrán obtener satisfactoriamente los beneficios que estos microorganismos brindan en los diferentes sistemas productivos.

En la naturaleza se establecen una serie de relaciones entre los diferentes organismos vivos, dentro de las cuales destaca la simbiosis: una relación entre dos organismos que interactúan y se benefician mutuamente durante su crecimiento, desarrollo y producción.

Los HFMA son microorganismos que se encuentran de forma libre en la mayor parte de los ecosistemas terrestres. En ausencia de una planta hospedera, estos microorganismos permanecen latentes en el suelo. Solo cuando establecen contacto con las raíces de las plantas, las esporas de los HFMA pueden completar su ciclo y aumentar sus poblaciones. Es por esta razón que se consideran simbioses obligados. Al ser microorganismos simbioses de la mayoría de las plantas terrestres, los HFMA proporcionan a las plantas nuevas rutas para el transporte de nutrientes y agua. A su vez, la planta les proporciona a los HFMA azúcares y carbohidratos indispensables para completar su ciclo de vida.

Por esta razón, para aumentar y concentrar las poblaciones de este tipo de microorganismos, a diferencia de otros microorganismos benéficos, como los de tipo bacteriano que pueden desarrollarse en condiciones de laboratorio, los HFMA requieren la presencia de una planta para multiplicar sus poblaciones.

Este manual tiene como objetivo presentar al lector una metodología básica para aumentar las poblaciones de HFMA con el fin de obtener un inóculo de calidad para aplicar en diversos sistemas productivos. Aunque utilizaremos la implementación de esta metodología como ejemplo para la producción de uchuva, es importante destacar que los HFMA son capaces de asociarse con aproximadamente el 70 % de las plantas terrestres, como se abordará más adelante en este manual. Por lo tanto, este tipo de inóculos puede aplicarse en diferentes sistemas productivos siguiendo una serie de recomendaciones.



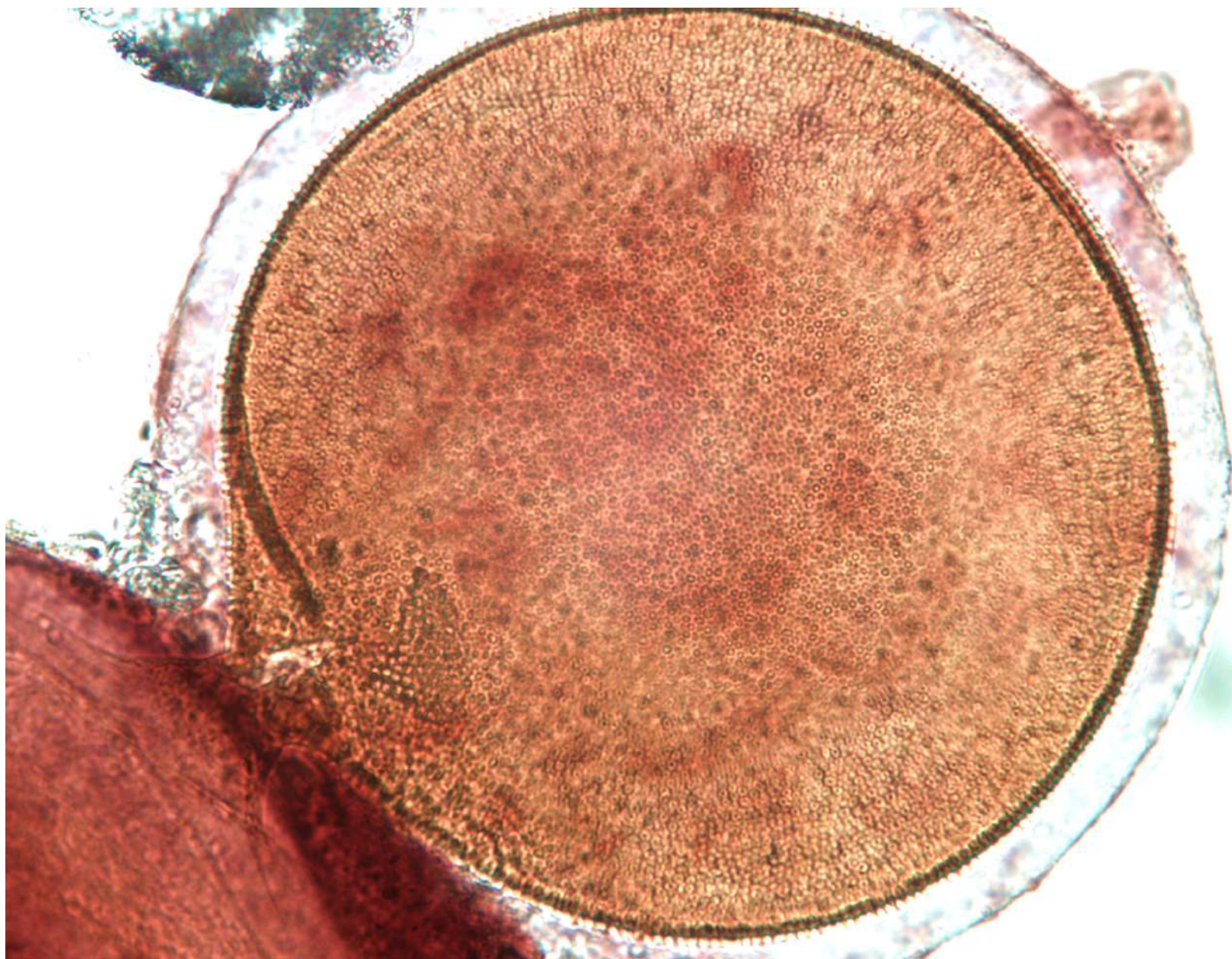
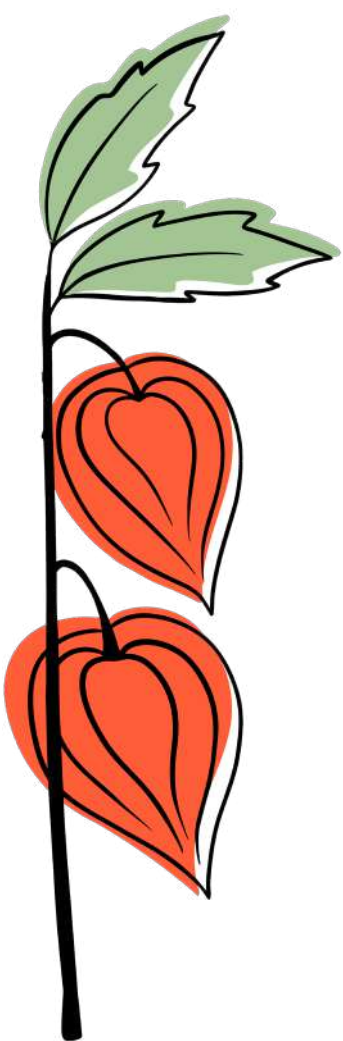


Foto: María Margarita Ramírez Gómez



# Generalidades de los HFMA

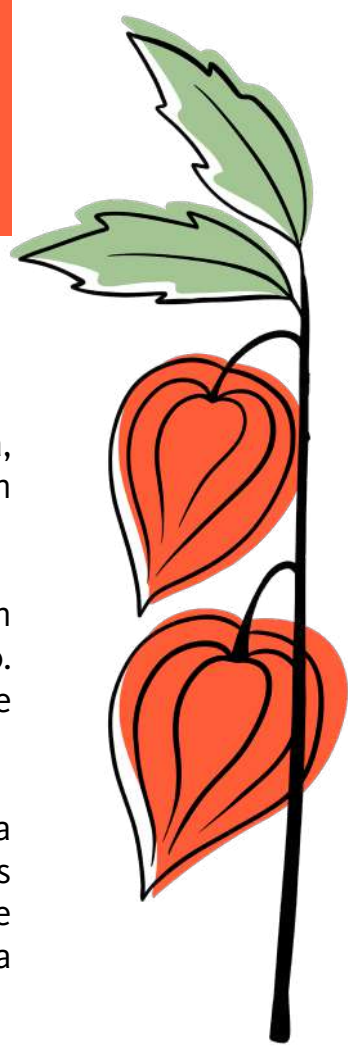
## ¿Qué son los HFMA?

Los HFMA son hongos microscópicos bastante complejos que, al asociarse con una planta, forman las micorrizas. Este nombre hace referencia a la relación fundamental entre un hongo (*mycos*) y la raíz de una planta (*rhizos*).

Cuando la planta permite la entrada del hongo al interior de sus raíces para establecer una relación simbiótica, se forma una estructura al interior de las células corticales conocida como arbusculo. Este arbusculo es el sitio donde la planta y los microorganismos llevan a cabo el intercambio de nutrientes y azúcares, principalmente.

El ciclo de vida de los HFMA comienza con una espora multinucleada que germina y forma una gran red de micelio o hifas que alcanzan grandes extensiones. Cuando una de estas estructuras encuentra la raíz de una planta, se desencadena una serie compleja de señales bioquímicas entre los dos organismos y se establece la simbiosis (Ramírez & Rodríguez, 2010). Este proceso inicia con la colonización de la raíz y culmina con la producción de nuevas esporas en el suelo.

En la **Figura 1** se presenta un esquema ilustrativo del proceso de colonización de la raíz de la planta por parte de los HFMA. Este proceso se inicia con el contacto entre el hongo y la raíz, con la formación de un apresorio que sirve como punto de entrada a la planta y permite al HFMA ingresar hasta las células corticales. Posteriormente, se forma el arbusculo, el cual facilita el inicio del intercambio bidireccional de nutrientes. De esta manera, el hongo completa su ciclo biológico y genera nuevas esporas. Además, el hongo desarrolla estructuras llamadas vesículas, donde se almacenan nutrientes disponibles para la planta, especialmente en momentos de estrés.



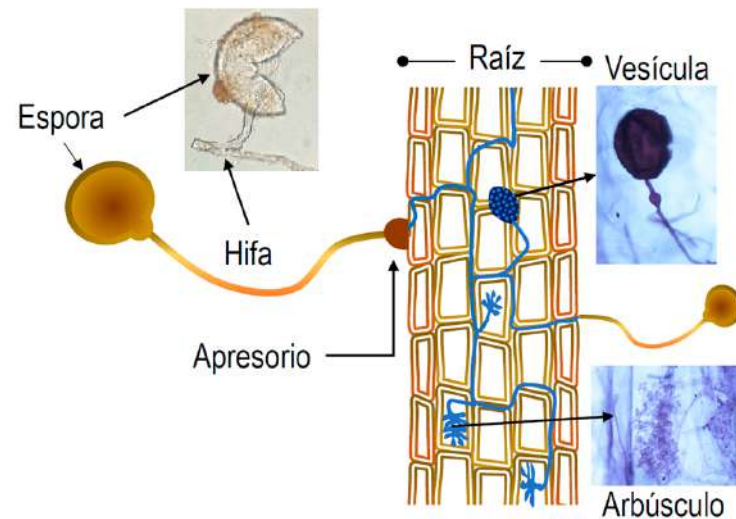
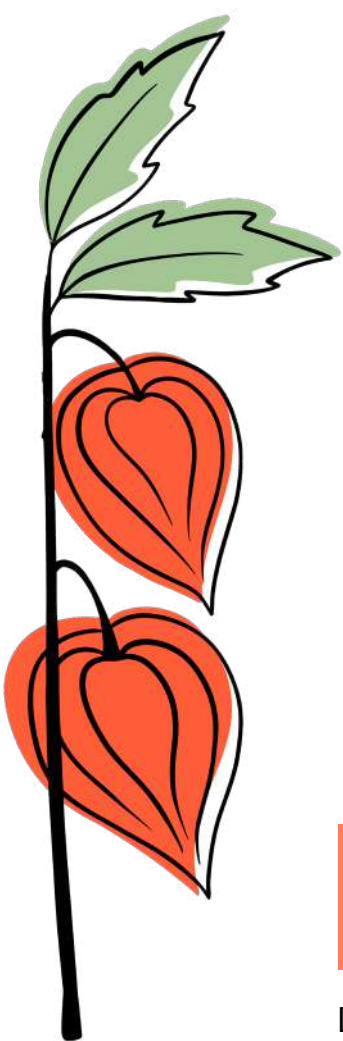


Figura 1. Establecimiento de la simbiosis entre los HFMA y la raíz de una planta.  
Fuente: Elaboración propia  
Fotos e Ilustración: Diana Paola Serralde Ordóñez

De esta manera, los HFMA se asocian con aproximadamente el 70 % de las especies vegetales. Esta colaboración ha existido durante más de 400 millones de años y facilita su adaptación a diversos ecosistemas; por lo cual, se considera que estos microorganismos son un eslabón crucial en la evolución de las plantas terrestres. Esto se refleja en su amplia distribución geográfica, así como en su complejidad y diversidad (Remy et al., 1994).

### ¿Cuáles son los beneficios de la simbiosis HFMA y la planta?

La diversidad de microorganismos presentes en una fracción de suelo desempeña funciones cruciales en la transformación de componentes orgánicos e inorgánicos. Simultáneamente, participan en procesos que permiten convertirlos en formas asimilables por las plantas. Los HFMA juegan un papel clave en la nutrición de las plantas, el ciclaje de nutrientes en el ecosistema y la protección de las plantas contra estreses bióticos y abióticos.

Aunque los estudios sobre los HFMA han surgido recientemente, han revelado el gran potencial de estos microorganismos benéficos en la agricultura. En particular, los HFMA pueden ser empleados como biofertilizantes, pues optimizan la nutrición vegetal de los cultivos. Además, actúan como biocontroladores, ya que reducen la incidencia y severidad de plagas y enfermedades,

y como biorremediadores, mejorando la calidad de algunos productos agrícolas mediante la inmovilización de elementos contaminantes a través de la acumulación de metales en las hifas y esporas, así como la producción de glomalina, una sustancia adherente producida por el hongo que atrapa elementos y minerales contaminantes (Figura 2).

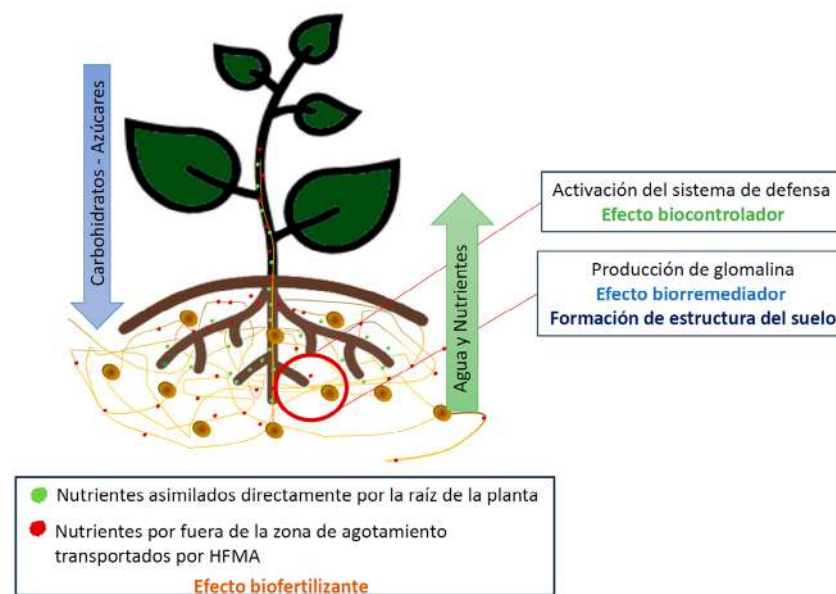


Figura 2. Potenciales efectos de la relación simbiótica entre los HFMA y la planta.

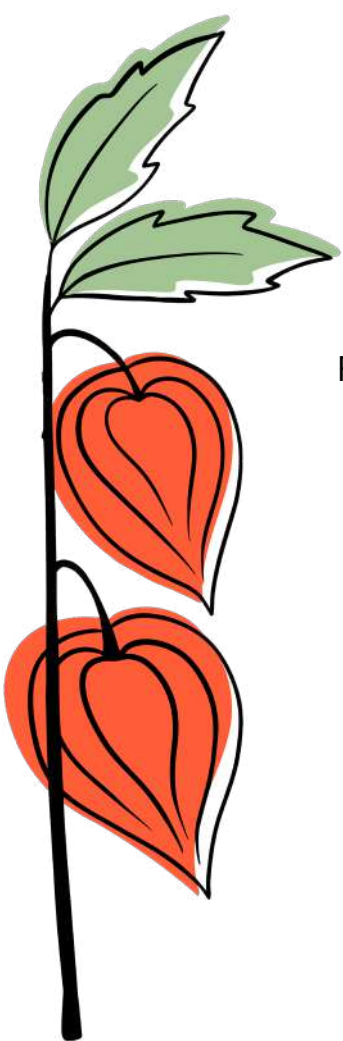
Fuente: Elaboración propia

Ilustración: Diana Paola Serralde Ordóñez

Algunas imágenes se tomaron de: <https://www.freepng.es/>

De ahí la importancia de los HFMA en el manejo integrado de cultivos agrícolas y forestales a nivel de vivero, durante el enraizamiento de las plántulas hasta las etapas de trasplante. Su uso también es fundamental en cultivos establecidos en campo, pues son una alternativa biológica valiosa para abordar desafíos en procesos como la micropropagación, la aclimatación y el establecimiento definitivo, así como en todo el ciclo de crecimiento, desarrollo y producción del cultivo.

Además, el uso de estos microorganismos en la agricultura moderna es un paso significativo hacia la sostenibilidad y competitividad de los sistemas productivos. La inoculación con HFMA puede reducir, dependiendo del cultivo, hasta en un 50 % la necesidad de fertilizantes de síntesis química.



Resumiendo, las bondades de la simbiosis son:

- Mayor producción de biomasa foliar y radicular: las plantas micorrizadas no solo tienen una mejor condición nutricional, sino que también desarrollan raíces más abundantes, lo que favorece su adaptación y crecimiento en diversos ecosistemas. Además, su parte aérea experimenta un mejor desarrollo (Figura 3a).
- Adaptación a diversos ecosistemas: las hifas de los hongos se convierten en una extensión de la raíz que facilita a la planta la absorción de nutrientes más allá de su zona de agotamiento. Esto permite que la planta alcance lugares a los que la raíz por sí sola no podría acceder y optimiza así la fertilización convencional y disminuye la necesidad de aplicar fuentes de síntesis química (Rillig, 2004a) (Figura 3b).
- Tolerancia a estrés abiótico: los HFMA almacenan nutrientes en sus vesículas y los regulan de acuerdo con las condiciones edafoclimáticas, factor que contribuye a la supervivencia de las plantas en situaciones de estrés por excesos o deficiencias de agua y nutrientes. Adicionalmente, estas vesículas almacenan algunos elementos contaminantes, como metales pesados, lo cual evita su traslocación a otros órganos de la planta.
- Tolerancia a estrés abiótico: la nutrición vegetal es uno de los factores condicionantes para la susceptibilidad y tolerancia por el ataque de plagas y enfermedades. La simbiosis con HFMA produce una activación del sistema de defensa de las plantas, lo que permite que las plantas micorrizadas respondan de mejor manera al ataque de patógenos y mitiguen su efecto.
- Formación de suelo: los HFMA participan en la formación de la estructura del suelo en la constitución de agregados estables, en los que el micelio externo de los hfma tiene una notable participación (Miller & Jastrow, 2000), así como a través de la producción de una glicoproteína llamada glomalina, la cual, por sus características químicas, favorece la agregación de las partículas de suelo (Rillig, 2004b).

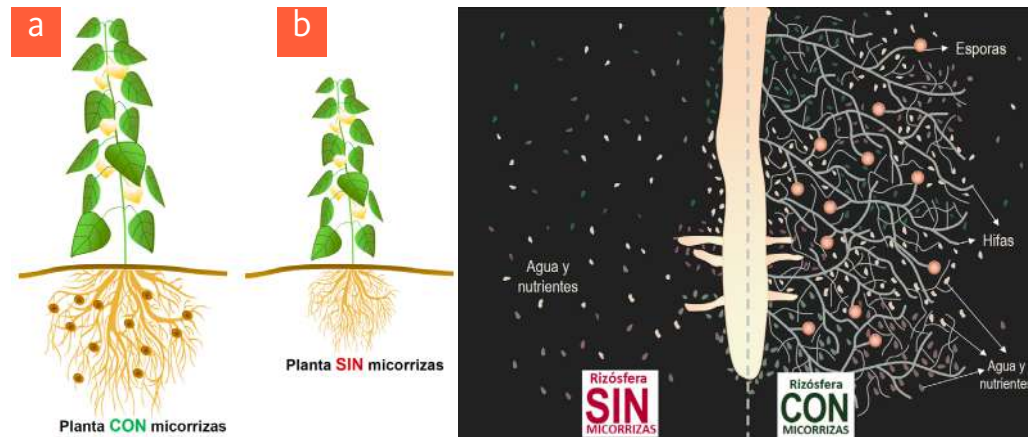


Figura 3. Efecto de la simbiosis planta-HFMA. a. Mayor producción de biomasa foliar y radicular; b. Rizosfera con y sin HFMA.

Fuente: Elaboración propia

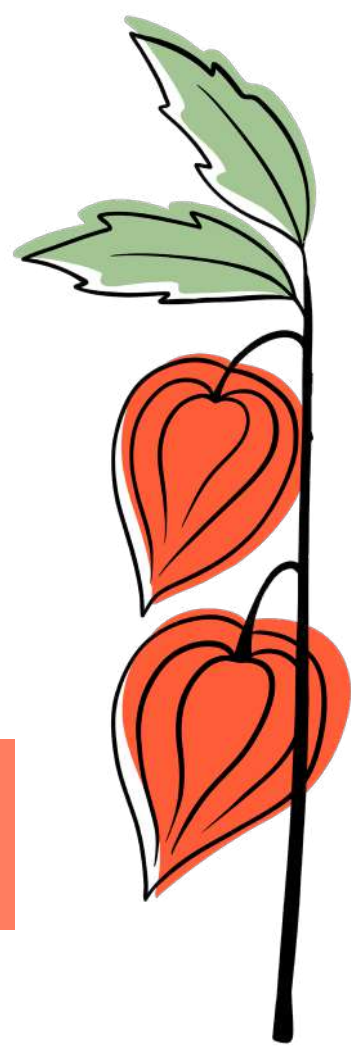
Ilustración: Diana Paola Serralde Ordoñez. b. Adaptado de <https://lifeofplant.blogspot.com/2011/03/mycorrhizae.html>

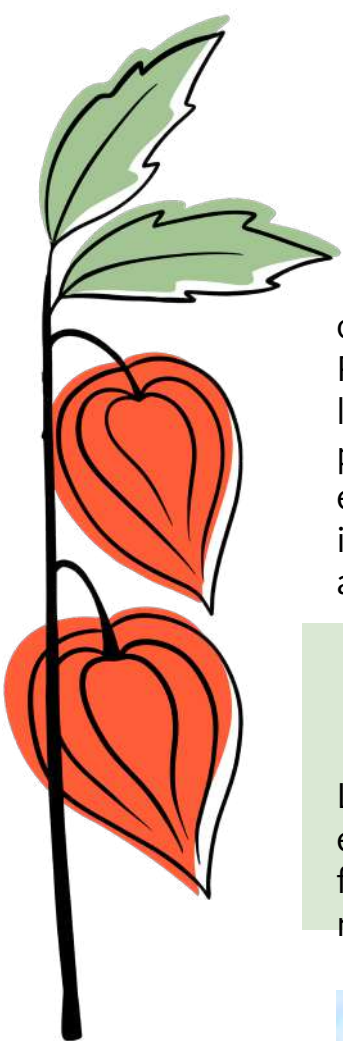
### ¿Dónde se encuentran los HFMA?

Ya que están de forma libre en el suelo y se adaptan a diversos ambientes con condiciones extremas, como desiertos y glaciares, así como en todos los pisos térmicos y tipos de suelos, su diversidad es alta. Sin embargo, en condiciones naturales, su abundancia es baja, especialmente en ambientes y suelos que han experimentado transformaciones debido a actividades antrópicas, como las llevadas a cabo en la preparación de terrenos para actividades agrícolas, donde las poblaciones nativas de HFMA son escasas.

Dadas estas condiciones de baja abundancia, para aprovechar los beneficios que estos microorganismos ofrecen en sistemas agrícolas, es necesario realizar aplicaciones de inóculos producidos comercialmente o, como en este caso, generados a pequeña escala.

En el ámbito comercial, en el mercado nacional e internacional, existen varias formulaciones de biofertilizantes con HFMA. Existen inóculos líquidos, encapsulados y en soporte sólido (esta última formulación es la más común en el mercado). Todos los biofertilizantes tipo HFMA contienen propágulos infectivos del hongo, como esporas, raíces colonizadas y micelio. Sin embargo, la calidad de estos inóculos depende de dos factores esenciales: el número de esporas por unidad de medida, ya sea en mililitros en el caso de la presentación líquida o esporas por gramo en presentaciones





con soporte sólido, y el porcentaje de colonización de las raíces presente en el inoculante. Para conocer el contenido de esporas de un inóculo o una muestra de suelo, es necesario llevar a cabo procesos de extracción y cuantificación de esporas, así como tinción diferencial para determinar el porcentaje de colonización. AGROSAVIA ofrece servicios de análisis para estos procesos a través de su red de laboratorios y personal calificado. Además, cuenta con investigadores expertos en el área para brindar asesoramiento sobre estrategias de multiplicación a pequeña escala, como las que se presentan en este manual.

### Para tener en cuenta

Los HFMA se encuentran de forma libre en el suelo y están ampliamente distribuidos en los ecosistemas terrestres. La mayoría de las plantas se asocian con estos microorganismos de forma natural. Sin embargo, para optimizar su eficiencia en sistemas de producción agrícola, es necesario realizar inoculaciones que potencien sus beneficios.

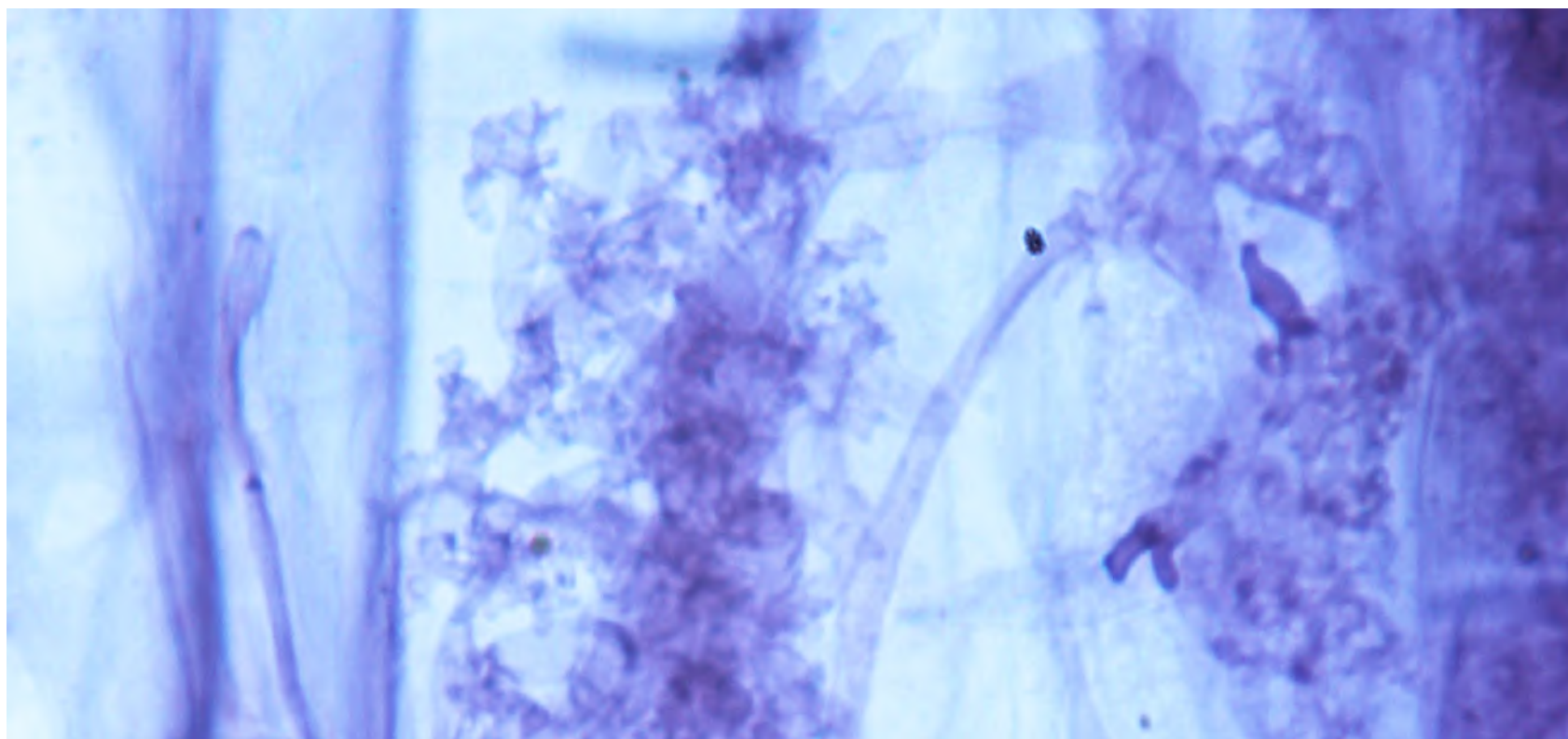


Foto: Andrea María Peñaranda Rolón

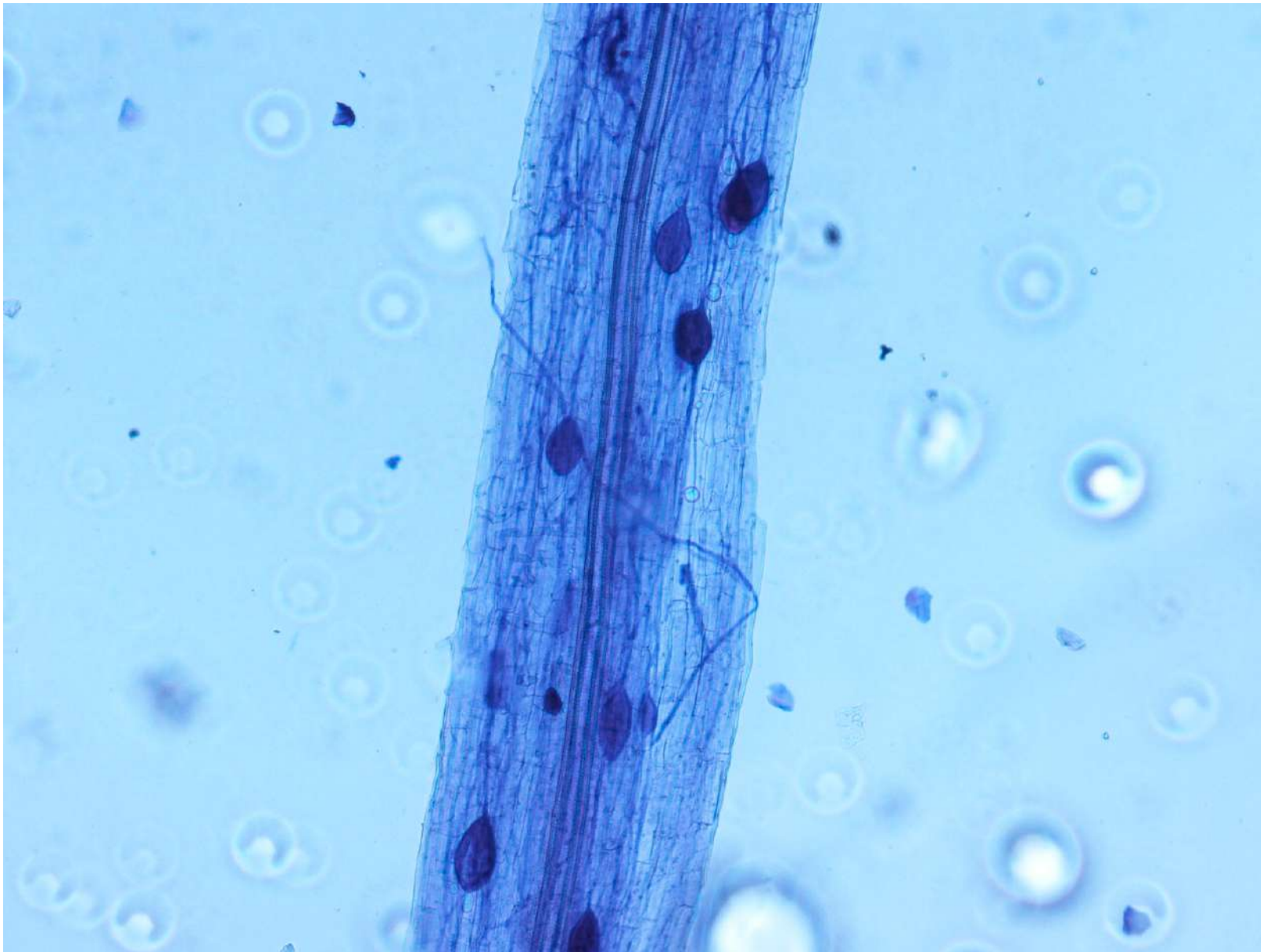
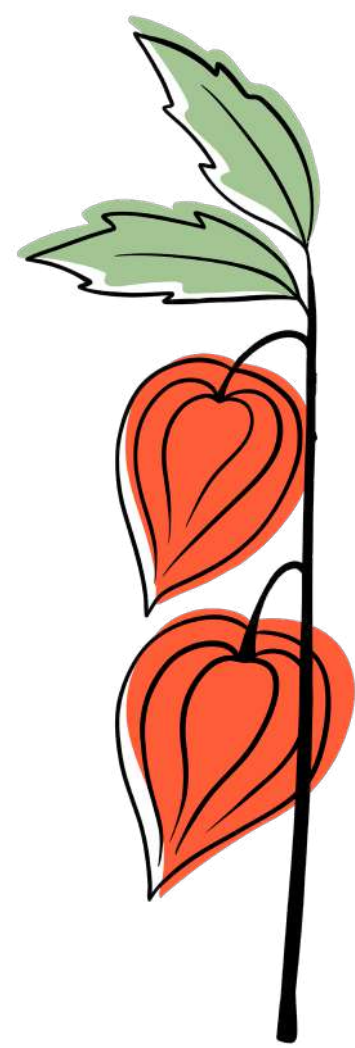


Foto: Andrea M. Peñaranda Rolón



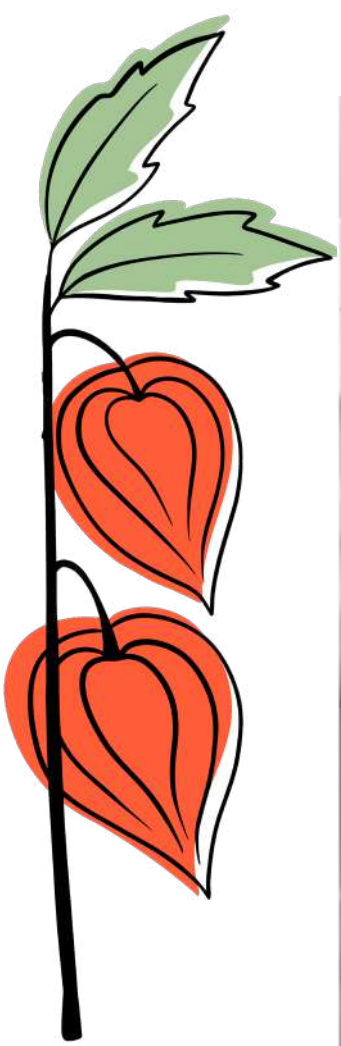


Foto: Gabriel D. Roveda R.

# Inoculación con HFMA

La inoculación con HFMA se puede llevar a cabo en cualquier etapa del ciclo productivo; no obstante, es recomendable, aunque no indispensable para el establecimiento de la simbiosis, realizarla en las primeras etapas de desarrollo de un cultivo. Lo único que varía en cada caso es la cantidad de inóculo requerida para asegurar una simbiosis efectiva.

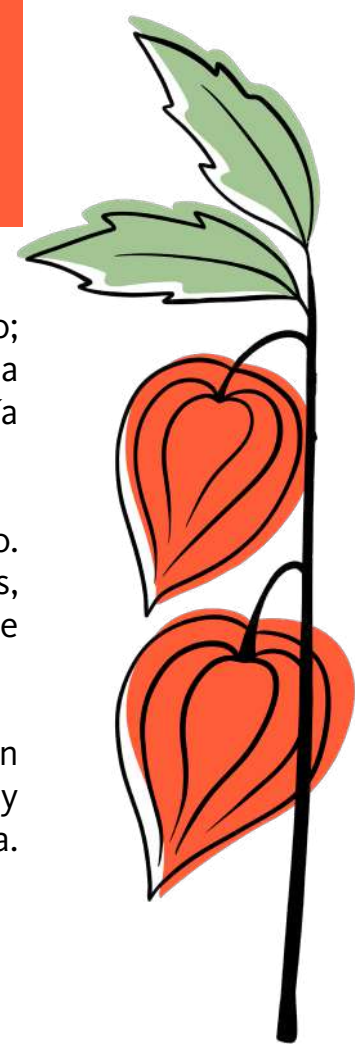
La forma de aplicación también depende de las particularidades de cada sistema productivo. Puede realizarse al voleo para cultivos que no pasan por el proceso de plantulaje y son densos, mediante aplicación directa en campo en los surcos productivos o durante el proceso de germinación de semillas para la producción de plántulas

En todos los casos, solo se necesita una aplicación para obtener las ventajas de la biofertilización con estos microorganismos, lo que la convierte en una alternativa económicamente viable y ambientalmente sostenible que permite la sustitución parcial de fertilizantes de síntesis química.

## ¿Por qué inocular con HFMA plantas de uchuva?

La uchuva es un fruto exótico de la familia de las solanáceas. Es una excelente fuente de vitaminas A y C, hierro y fósforo, por lo que se considera un frutal con altos valores nutricionales. Además, se le atribuyen propiedades medicinales que la convierten en un frutal con alta demanda en el mercado nacional e internacional. Colombia se destaca como uno de los principales productores en el mundo, por lo que cultivar de manera competitiva y sostenible es una de las prioridades del sector agrícola y productivo.

A lo largo de los años, el cultivo de la uchuva ha enfrentado significativos desafíos para satisfacer las demandas internacionales. Uno de ellos es el aumento de su productividad, el segundo es la adaptación a diversas condiciones edafoclimáticas y el tercero, posiblemente el más limitante en el país, es el manejo fitosanitario del cultivo, específicamente en relación con el control de la enfermedad de marchitamiento vascular generada por *Fusarium oxysporum* f sp. *physali*. Esta enfermedad no solo ha ocasionado grandes pérdidas para los productores, sino que también es el principal agente causal de la trashumancia del cultivo y puede generar procesos de degradación ambiental.





Durante los últimos años, la producción de uchuva en Colombia ha experimentado curvas de producción altamente dispersas. Con el objetivo de mantener una producción sostenible y competitiva, AGROSAVIA ha dedicado más de diez años a realizar significativos esfuerzos para abordar estas limitaciones desde diversas perspectivas. Uno de los grandes avances en investigación en esta materia está relacionado con la respuesta en términos de productividad y mitigación del marchitamiento vascular mediante el uso de HFMA de forma individual o en consorcio con Bacterias Promotoras de Crecimiento Vascular.

El proceso de investigación en torno a esta temática en el cultivo de la uchuva inició con un diagnóstico de la fertilidad de suelos asociados al cultivo en una de las zonas de mayor producción de uchuva. En este diagnóstico, se identificó un desbalance nutricional y deficiencias marcadas que afectaban la productividad del cultivo en la zona de estudio (Roveda et al., 2012). Un análisis detallado poblaciones nativas de HFMA asociadas al cultivo de la uchuva bajo diferentes condiciones edafoclimáticas, permitió establecer la amplia diversidad de estos microorganismos en suelos asociados al cultivo de la uchuva, así como la simbiosis efectiva entre HFMA y las plantas de uchuva (Ramírez Gómez, 2014).

A través de varios proyectos de investigación desarrollados por AGROSAVIA, se ha evaluado la eficiencia de los HFMA como biofertilizantes en el cultivo de uchuva. Los resultados han permitido establecer que las simbiosis entre plantas de uchuva y HFMA, específicamente de la mezcla de *Rhizoglyphus irregularis* y *Acaulospora mellea*, pueden sustituir parcialmente la fertilización de síntesis química (hasta un 50 % menos). Estos resultados se reflejan en una producción competitiva, evidenciada por una mayor cantidad de frutos tipo exportación, así como ventajas económicas y ambientales debido a la reducción de costos y aplicación de enmiendas químicas.

Adicionalmente, dado el potencial de estos microorganismos como biocontroladores, se ha evaluado su capacidad para mitigar el impacto generado por el hongo fitopatógeno *Fusarium oxysporum*. En este sentido, se han encontrado importantes ventajas en la mitigación del efecto del hongo, tanto en términos de la incidencia como de la severidad de la enfermedad en vivero y en campo.

Todos estos resultados obtenidos han sido validados en parcelas productivas, donde se han evidenciado los efectos positivos que esta simbiosis confiere al cultivo. Por este motivo, se recomienda que este tipo de alternativas sean implementadas por los productores de uchuva en el territorio nacional. A continuación, presentamos una descripción del proceso de producción a pequeña escala de un inóculo de HFMA.



Foto: Diana Paola Serralde Ordóñez



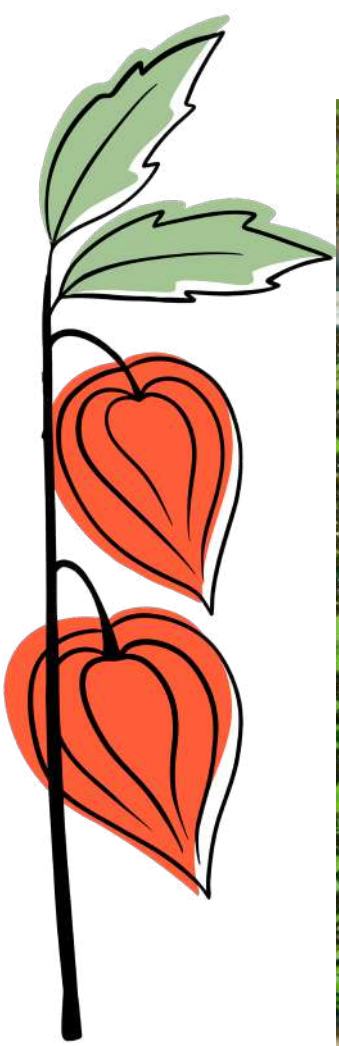


Foto: María Margarita Ramírez Gómez



# Multiplicación de HFMA a pequeña escala

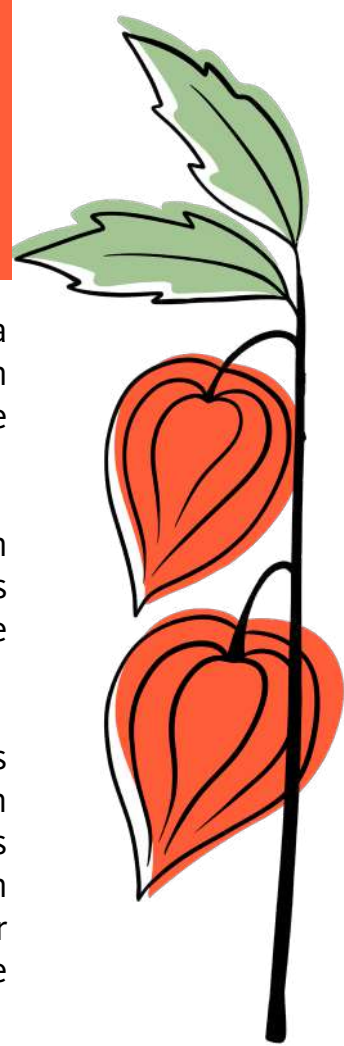
Los HFMA, al ser simbioses obligados, requieren de la presencia de una planta que les permita completar su ciclo y generar más esporas. Dada esta condición, para la multiplicación de un inóculo de HFMA es necesario desarrollar un proceso escalonado en el que, paso a paso, se aumente el volumen de sustrato y la concentración de esporas.

Para iniciar este proceso, es necesario contar con un inóculo base que incluya información básica, como el número de esporas viables, el porcentaje de colonización de raíces, los géneros de HFMA que lo conforman y, en caso de ser un inóculo de una sola especie, la planta en la que fue multiplicado, así como la fecha de producción y expiración del lote.

Si bien los HFMA son diversos y no se reporta una especificidad de géneros y especies con las que se asocian, sí hay géneros cosmopolitas como los glomoides y aculosporoides que presentan una mayor afinidad a asociarse con especies de interés agrícola y por lo tanto el conocer los géneros presentes en un inóculo puede revertir importancia en el momento de la inoculación en determinado cultivo. Una de las especies de HFMA más abundante en la naturaleza y por lo tanto más adaptada a diversas condiciones es *Rhizophagus irregularis*, el cual es la base de muchos de los biofertilizantes que se producen a nivel mundial.

Si bien los HFMA son diversos y no se reportan géneros y especies específicas con las que se asocian, sí hay géneros cosmopolitas como los glomoides y aculosporoides que son más afines a la asociación con especies de interés agrícola. Por lo tanto, conocer los géneros presentes en un inóculo puede ser importante en el momento de la inoculación en un determinado cultivo. Una de las especies de HFMA más abundantes en la naturaleza y, por lo tanto, más adaptada a diversas condiciones es *Rhizophagus irregularis*, la cual constituye la base de muchos de los biofertilizantes producidos en el mundo.

La selección del sustrato sobre el que se va a desarrollar el proceso de escalamiento debe hacerse de acuerdo con la disponibilidad de materiales en la localidad. Se recomienda tener siempre una base de suelo y mezclar en una proporción de 1:1 (v/v) con un sustrato que favorezca la porosidad, como arena cuarcítica o perlita. Es importante que este sustrato pase por una etapa de desinfección o esterilización con el fin de eliminar cualquier agente patógeno que pueda estar presente. Para el primer paso, se sugiere utilizar turba como sustrato para favorecer el desarrollo de la plántula.





Una vez que se conoce el punto de partida para la multiplicación de propágulos infectivos de HFMA, se inicia el proceso con la inoculación de lo que se conoce como plantas trampa. Estas plantas deben ser diferentes a aquellas que serán biofertilizadas con el inóculo producido para evitar contaminación con posibles plagas, enfermedades o malezas en el cultivo que se inoculará. Por ejemplo, si el inóculo producido se va a utilizar para la inoculación de plantas de uchuva, la planta trampa no debe pertenecer a la familia de las solanáceas. Dado el amplio espectro de plantas trampa que se puede utilizar gracias a la capacidad de estos microorganismos para asociarse con muchas especies vegetales, se recomienda buscar especies de ciclo corto. Salvo por las crucíferas, muchas especies vegetales pueden considerarse plantas trampa en este proceso.

Una vez seleccionada la planta o plantas trampas que acompañarán el proceso de escalamiento y el sustrato que se empleará, se puede iniciar la multiplicación, que consta de cinco pasos básicos. En cada uno de ellos, se debe reinocular y trasplantar o sembrar de nuevo y, de ser posible, llevar a cabo un control de calidad que se explicará en detalle en el quinto paso. En resumen, este control de calidad permite conocer el número de esporas por gramo de sustrato y el porcentaje de colonización de las raíces de las plantas trampa.

La inoculación debe basarse en la concentración de esporas del inóculo base. Asimismo, para llevar a cabo de manera adecuada la multiplicación, se recomienda aplicar diferentes dosis de esporas dependiendo del paso del escalamiento. Por ejemplo, si el inóculo base tiene un contenido de 100 esporas por gramo, la aplicación en el primer paso será de 1,5 gramos de inóculo por planta trampa para lograr una aplicación de 150 esporas por planta. A medida que avanza el proceso de escalamiento y el volumen del sustrato, el número de esporas también se amplía, como se detalla en cada uno de los pasos explicados más adelante.

Es importante aclarar que las cantidades recomendadas para el proceso de multiplicación de HFMA difieren del proceso de biofertilización de un sistema productivo, en el cual se requiere una única aplicación y en el que la dosis depende del estado fenológico del cultivo.



## Paso 1. Inoculación en bandejas de germinación

Teniendo en cuenta el contenido de esporas del inóculo base, se inicia con una aplicación en bandejas de aproximadamente 150 esporas por alveolo. La semilla puede estar pregerminada o no. En el caso de semillas pregerminadas, se debe posicionar el inóculo de tal forma que la radícula emergente esté en contacto con el biofertilizante. Para la siembra directa, se debe llenar el cono en una tercera parte, aplicar el inóculo, tapar con sustrato y, finalmente, sembrar y cubrir superficialmente la semilla. En este primer paso, como se mencionó previamente, se sugiere emplear turba como sustrato, ya que proporciona el soporte necesario para el desarrollo de la planta trampa. Sin embargo, su contenido de nutrientes es relativamente bajo, lo cual favorece el establecimiento de la simbiosis. Comúnmente, las bandejas de germinación tienen un orificio en cada alveolo, el cual debe ser tapado con papel permeable que permita el paso del agua sin que el inóculo se lave (Figura 4).



Figura 4. Primer paso en el proceso de escalamiento de HFMA.

Fuente: Elaboración propia

Ilustración: Diana Paola Serralde Ordóñez

Fotos: Wilmar Alexander Wilches Ortiz, Emerson Duván Rojas Zambrano. Algunas imágenes se tomaron de <https://www.freepng.es/>

En este punto, de acuerdo con las posibilidades, se recomienda tomar una muestra de raíz y realizar un análisis de laboratorio para calcular el porcentaje de colonización (explicado en e



## Paso 2. Trasplante e inoculación en materas/bolsas

El segundo paso, después de que las plántulas salen de la bandeja de germinación, es el trasplante a un mayor volumen de sustrato. En este paso, se emplea una mezcla en igual proporción de suelo más arena de río, arena cuarcítica, perlita o cualquier sustrato que permita la aireación de la mezcla. Aunque el proceso de inoculación es similar al del paso 1, puede dividirse en dos manteniendo el mismo procedimiento pero aumentando escalonadamente el volumen del contenedor. Por ejemplo, se puede pasar de materas de 2 kilos a 5 kilos. En cada matera o bolsa, se abre un orificio en el que se dispersa el inóculo (250 esporas) procurando abarcar todo el espacio donde se sembrará la plántula obtenida del paso 1 (Figura 5).

Dependiendo de la especie vegetal utilizada como planta trampa y, en caso de que esta haya completado su ciclo, se descarta y se realiza la cosecha del inóculo producido hasta este paso. En caso de que las plantas se puedan mantener, se dejan para realizar un trasplante adicional en el paso 3. En este punto, si se realiza la cosecha del inóculo, se recomienda realizar un control de calidad, especialmente la cuantificación del número de esporas viables por gramo (explicado en el paso 5). Si se requiere aumentar el número de esporas por gramo de sustrato, las plantas en esta etapa, al igual que en cada uno de los pasos para el escalamiento, deben someterse a un período de estrés hídrico durante un mes.



Figura 5. Segundo paso: trasplante e inoculación en materas.

Fuente: Elaboración propia

Fotos: Diana Paola Serralde Ordóñez, Gabriel David Roveda Ramírez

Algunas imágenes se tomaron de: <https://www.freepng.es/>



### Paso 3. Construcción e inoculación en camas

Los módulos de multiplicación a pequeña escala consisten en la construcción de eras de 1,5 m de largo por 1 m de ancho y de 30 a 40 cm de alto, las cuales van cubiertas con plástico de calibre 6 en su base y paredes (Figura 6). La cantidad de camas depende de la cantidad de inóculo que se desee obtener. Aproximadamente, para una cama con estas dimensiones, se requieren 200 kg de mezcla de sustrato para obtener entre 4 y 5 bultos de 40 kg de inóculo. Al igual que en el paso anterior, el sustrato es una mezcla de suelo con arena cuarcítica (o sustrato que permita la aireación y aumente la porosidad de la mezcla) en relación 1:1 v/v. Lo importante es no sobredimensionar la cantidad de sustrato para evitar la dilución del producto final y que la concentración de esporas no sea óptima para la obtención de un inóculo de buena calidad.

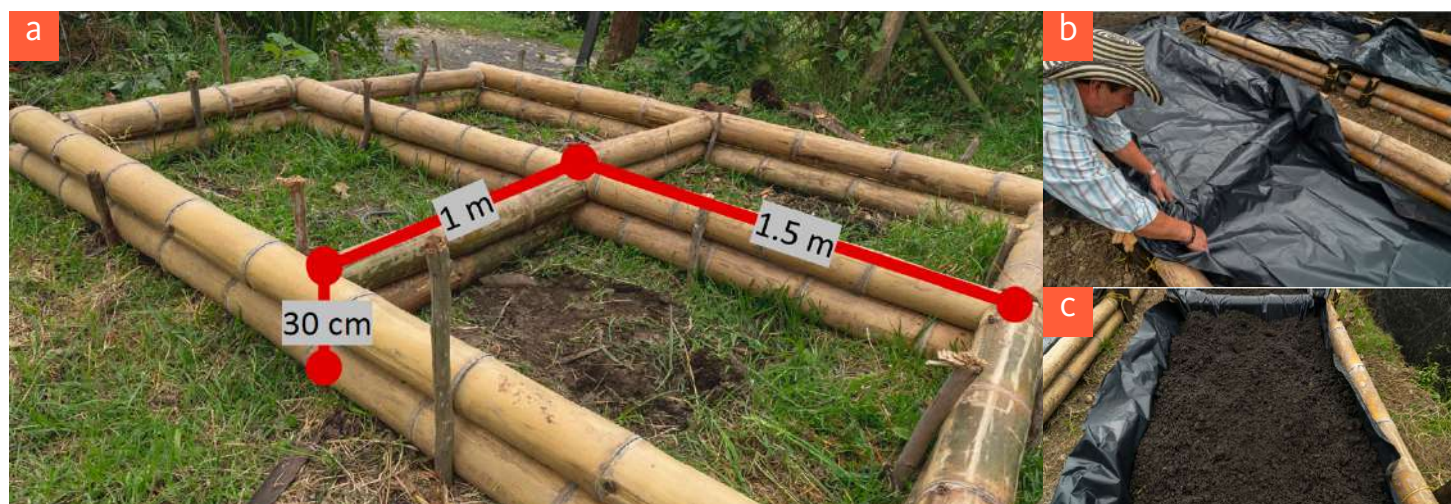


Figura 6. Tercer paso: construcción y establecimiento de camas de multiplicación a pequeña escala de HFMA. a. Construcción módulo de multiplicación a pequeña escala; b. Cubrimiento de paredes con plástico negro ; c. Relleno con sustrato  
Fotos: Gabriel D. Roveda

Antes de iniciar el proceso de multiplicación en camas, el sustrato debe ser desinfectado para evitar o disminuir la presencia de algún agente patógeno que pueda contener. Para esto, se debe emplear un desinfectante de suelo agrícola, como el dazomet (ingrediente activo) y cuyo uso se recomienda porque tiene una alta eficiencia en la prevención y control, principalmente de nemátodos, hongos y bacterias fitopatógenas, entre otros agentes causales de problemas sanitarios. La cantidad de producto aplicado depende del volumen de suelo y, de acuerdo con esto, se recomienda seguir las recomendaciones del fabricante. Este producto se debe solarizar



cubriendo con plástico negro el sustrato por un periodo de 20 a 30 días (Figura 7). Durante este periodo, el plástico negro va a producir un aumento de la temperatura al interior de la cama, lo que favorece el proceso de desinfección. Para el caso de una cama con las dimensiones explicadas, se recomienda una aplicación de 25 gramos de este ingrediente activo.



Figura 7. Desinfección y solarización del sustrato. a. Desinfección del sustrato ; b. Solarización  
Fotos: Gabriel D. Roveda

En este paso, la inoculación dependerá de la planta trampa, que puede provenir del paso anterior, en materia, en cuyo caso se trasplanta la planta tal como sale de la bolsa o materia. Para esto, se debe hacer un ahoyado inicial en el que se aplica el inóculo en una proporción de aproximadamente 250 a 300 esporas por planta. En caso de no conocer el número de esporas que contiene el inóculo, se recomienda hacer una aplicación de aproximadamente 10 kilogramos por cama ( $1 \text{ kg/m}^2$ ) procurando siempre que las raíces de la planta trampa o la semilla queden en contacto con el inóculo de la misma forma que se realizó en el paso 2. Las plantas se mantendrán con riego de acuerdo con las necesidades del cultivo.

Dado que este proceso no tiene como objetivo la producción agrícola, no se recomienda la aplicación de fuentes externas de fertilizantes de síntesis química; sin embargo, se deben tomar las medidas necesarias que permitan el desarrollo adecuado de las plantas con el fin de extender su ciclo durante un periodo de 4 a 6 meses. En este caso, es importante lograr una densidad alta de siembra y asegurar que la producción de raíces sea abundante (Figura 8).

## Procedimiento

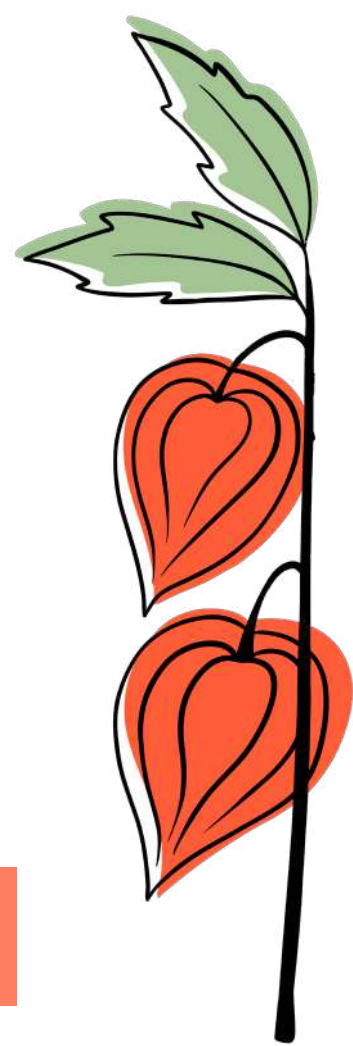


Figura 8. Inoculación en camas de multiplicación a pequeña escala.  
Fuente: Elaboración propia  
Fotos: Gabriel D. Roveda

### Paso 4. Recolección del inóculo

Una vez las plantas trampa del paso tres han completado el período de desarrollo, se someten a un periodo de 20 a 30 días de estrés hídrico, es decir, se suspende el suministro de riego. Durante este periodo, es importante que el lugar donde se establezca el módulo o cama de multiplicación tenga un techo que impida la entrada de agua de lluvia para que el hongo, dadas las condiciones de estrés por sequía, se reproduzca y concentre la cantidad de esporas.

Después del periodo de estrés hídrico, se realiza la recolección, homogenización y almacenamiento del inóculo. Para ello, se retira todo el material vegetal y se dejan las raíces en el sustrato, las cuales se incorporan haciendo cortes finos de todo el sistema radicular de las plantas trampa. El sustrato se homogeniza utilizando una zaranda fina de aproximadamente 5 mm de diámetro, se toma una muestra para el control de calidad (paso 5) y se empaca en bolsas negras y costales. Es fundamental rotular la bolsa y el costal con la fecha de producción del inóculo, las plantas trampas utilizadas durante el proceso de escalamiento, los valores de número de esporas por gramo y el porcentaje de colonización, así como los géneros o especies predominantes, para lo cual se requiere un análisis especializado, explicado en el siguiente paso (Figura 9).



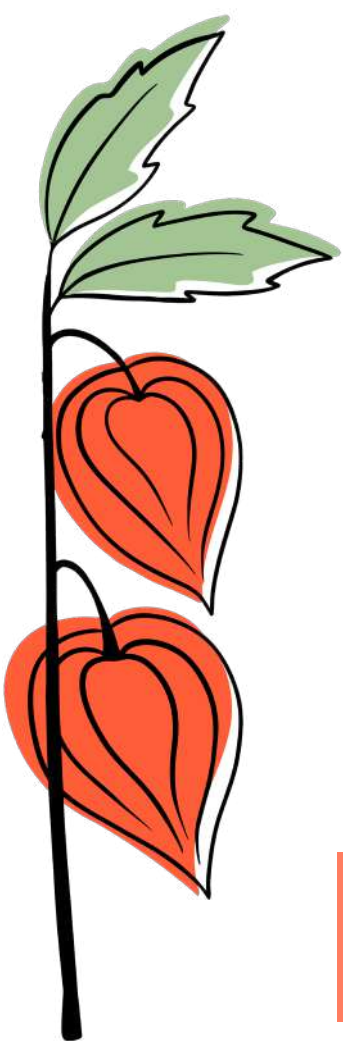


Figura 9. Recolección del inóculo  
 Fuente: Elaboración propia  
 Fotos: Gabriel D. Roveda  
 Ilustración: Diana Paola Serralde Ordóñez

### Paso 5. Control de calidad

Un inóculo de HFMA se somete a tres análisis que determinan su calidad. El primero, y posiblemente el más crucial al momento de su utilización como inóculo, es la cuantificación de esporas. El segundo corresponde al porcentaje de raíz micorrizada, y el tercero implica identificar el o los géneros o especies con mayor abundancia.

Estos tres análisis deben ser realizados por personal especializado en condiciones de laboratorio, por lo que se recomienda revisar la lista de laboratorios certificados por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) para este tipo de análisis<sup>1</sup>. Para el propósito de este manual, se recomienda el servicio de la red de laboratorios de AGROSAVIA, los cuales, a través del laboratorio de microbiología agrícola, cuentan con las capacidades técnicas y científicas necesarias para llevar a cabo la cuantificación de esporas y determinar el porcentaje de raíces micorrizadas en una muestra<sup>2</sup>. Además, el laboratorio está certificado por el ICA para realizar estas pruebas.

<sup>1</sup> <https://www.ica.gov.co/getdoc/3b1ef26c-605c-4a12-abb4-4911b4abd954/laboratorio-control-de-calidad-bioinsumos.aspx#>

En la **Figura 10**, se presenta de forma descriptiva el proceso al que se somete una muestra para el aislamiento y cuantificación del número de esporas viables en una muestra de suelo o inóculo. Este procedimiento se basa en la técnica desarrollada por Gerderman & Nicholson (1963) y consiste principalmente en un filtrado y decantación de la muestra a través de tres tamices con diferentes aperturas (450-205 y 38  $\mu\text{m}$ ). El contenido del tamiz de menor apertura se centrifuga con 15 ml de una solución de sacarosa, donde las esporas se adhieren y se forma una interfase que se retira y lava para realizar la cuantificación del número de esporas viables por gramo de suelo. Se utiliza un estereoscopio para la cuantificación de esporas y, para la identificación, las esporas presentes se separan según su morfología similar y se montan para microscopía. Se identifican a nivel de género o especie según sus características.

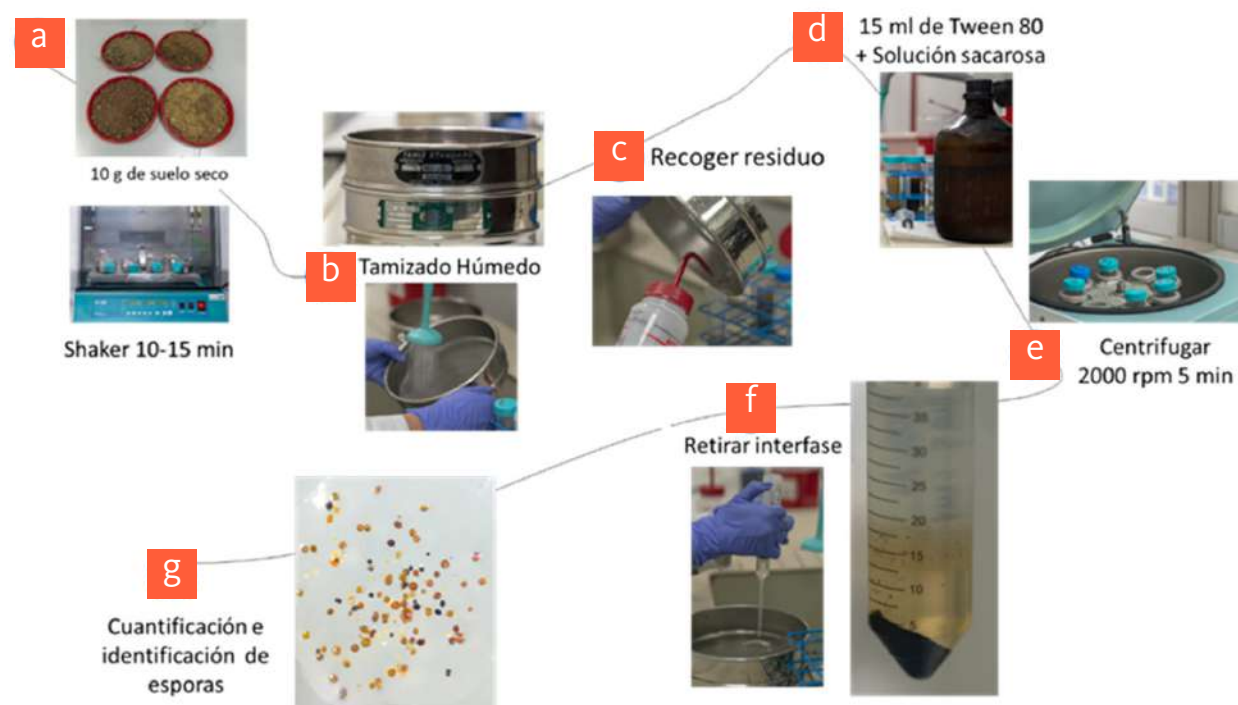


Figura 10. Proceso para la cuantificación de esporas.  
Fotos: Gabriel D. Roveda

<sup>2</sup> Para mayor información consultar la página web de la red de laboratorios de AGROSAVIA:  
<https://www.agrosavia.co/productos-y-servicios/oferta-tecnologica/servicios-de-laboratorio/microbiologia-agricola>



En la **Figura 11**, se presenta de forma descriptiva el proceso para la determinación del porcentaje de colonización de raíces micorrizadas. Este protocolo está basado en el propuesto por Philips & Hayman (1973), el cual consiste en pasar la muestra de raíz lavada (**figura 11, # 1**) por una serie consecutiva de reactivos químicos (**Figura 11, # 2 a 4**), en los cuales se van destruyendo las estructuras propias de la raíz y quedan las estructuras del hongo (hifas, arbusculos, vesículas, esporas) expuestas para ser teñidas con azul de tripan (**Figura 10, # 5**) e identificables para la cuantificación del porcentaje de raíz micorrizada. Esto se realiza a través de microscopía con un montaje de 12 fragmentos de raíz de aproximadamente 2 cm, los cuales son observados campo a campo en 40X, y se cuantifican los campos positivos, es decir, aquellos que tienen presencia de alguna de las estructuras del hongo. Este valor es considerado como el porcentaje de colonización de raíz por parte de los HFMA (**Figura 11, # 6**).

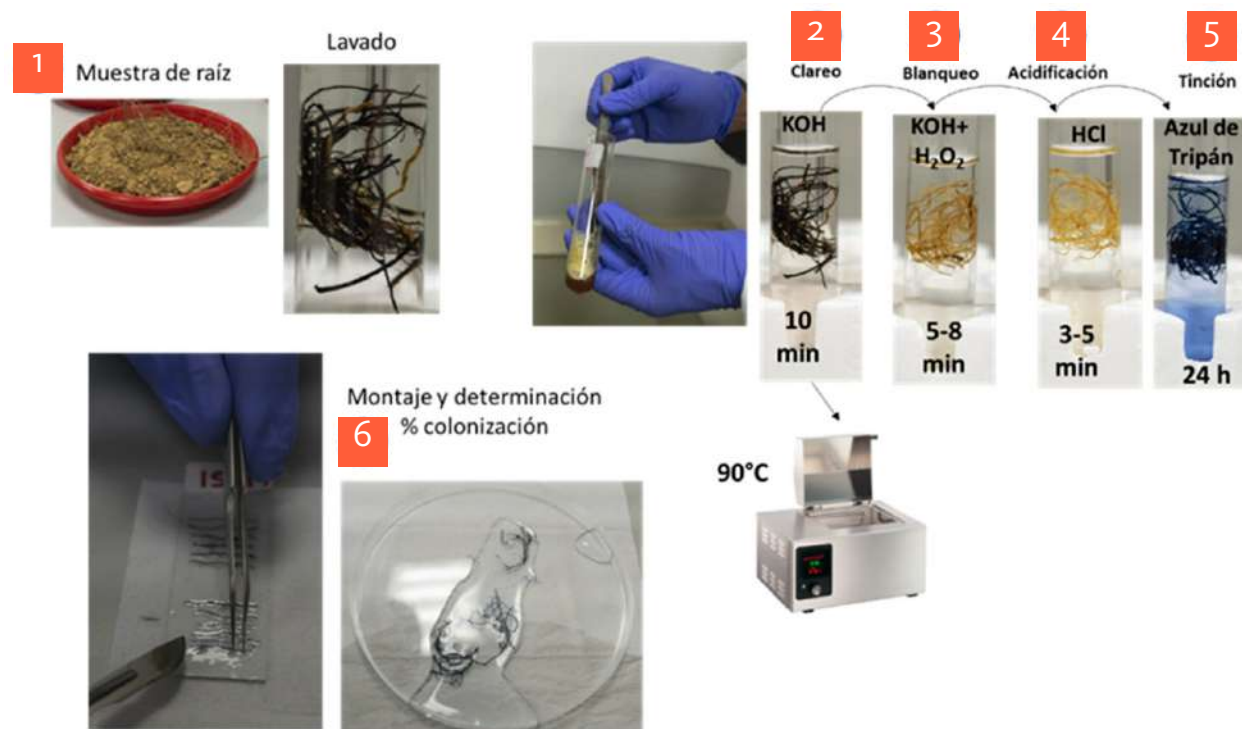


Figura 11. Proceso para determinar el porcentaje de colonización de una raíz micorrizada. 1: Selección de muestra y lavado 2-4: Proceso de clareo, blanqueo, acidificación y tinción diferencial; 6: Montaje y observación al microscopio para determinación del porcentaje de colonización de raíz

Fuente: Elaboración propia  
Fotos: Gabriel D. Roveda

### Para tener en cuenta

El proceso de multiplicación a pequeña escala de un inóculo de HFMA es un proceso escalonado que puede ser desarrollado de forma sencilla. Sin embargo, es indispensable seguir las recomendaciones aquí planteadas, contar con el acompañamiento de personal especializado e implementar un control de calidad riguroso que garantice la eficiencia del producto generado.

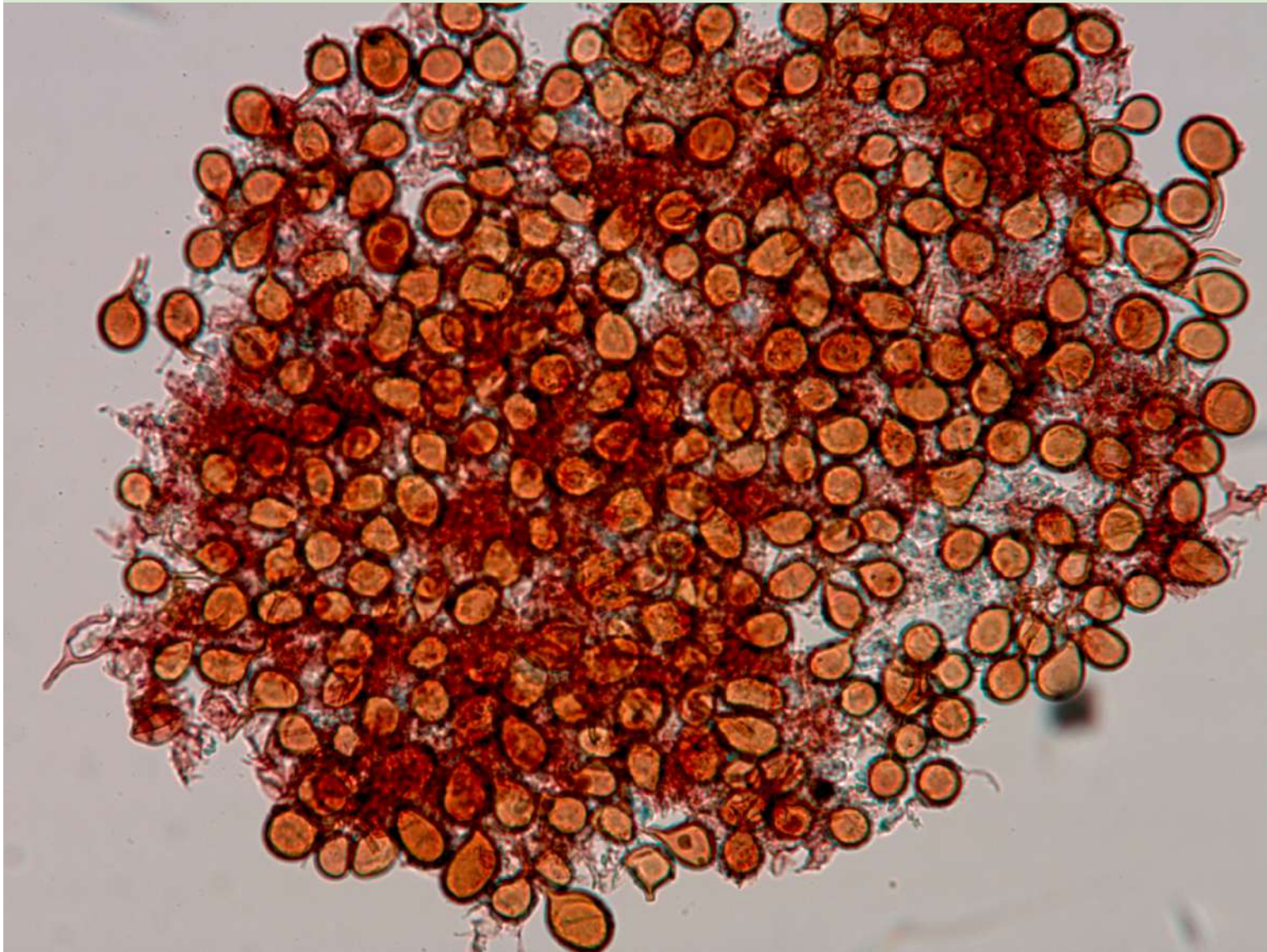


Foto: Wilmar Alexander Wilches Ortíz



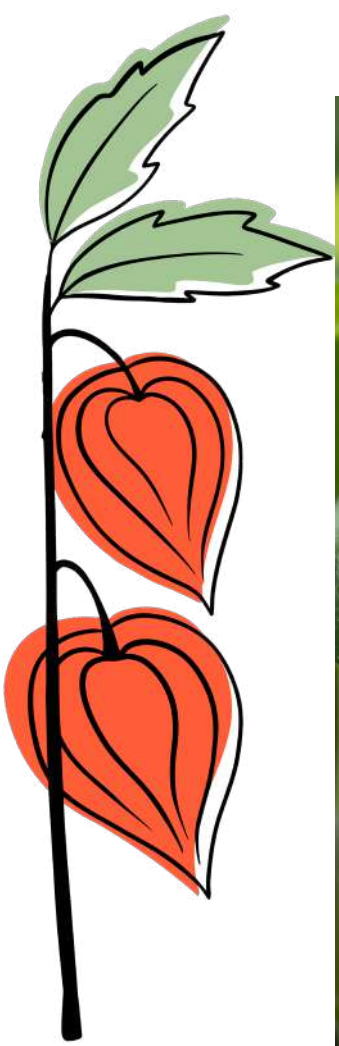


Foto: Gabriel D. Roveda R.

# Producción de plántulas de uchuva micorrizadas

**A** continuación, se presentan los pasos necesarios que se deben tener en cuenta para la producción de plántulas de uchuva inoculadas con HFMA. Como se mencionó previamente, lo ideal es tener plantas micorrizadas desde las primeras etapas de desarrollo del cultivo, sin embargo, la inoculación se puede realizar en cualquier etapa fenológica.

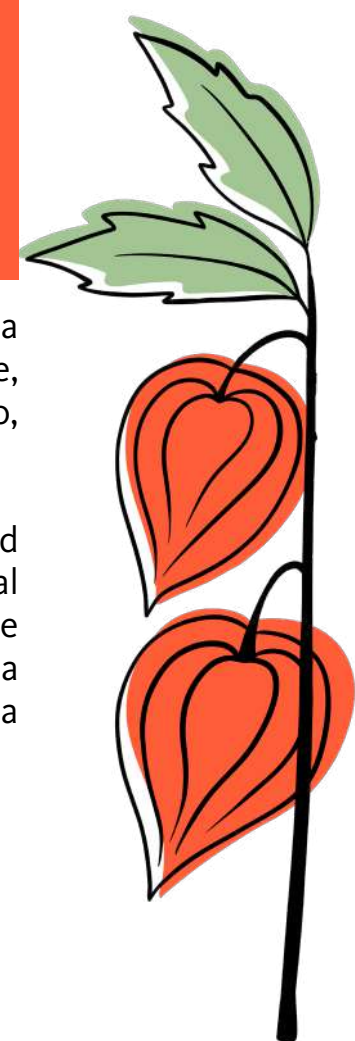
Independientemente del origen de la semilla de uchuva, es importante tener en cuenta su calidad y procedencia. En todos los casos, es necesario realizar un proceso de desinfección, para lo cual se inicia con la inmersión de la semilla en una solución de hipoclorito al 10 % durante un lapso de 5 minutos. Posteriormente, se hace un lavado con abundante agua, el cual se repite de la misma forma tres veces consecutivas. Es necesario el uso de un colador o tamiz para evitar la pérdida de material, y se debe cambiar el agua en cada ciclo de lavado (Figura 13).

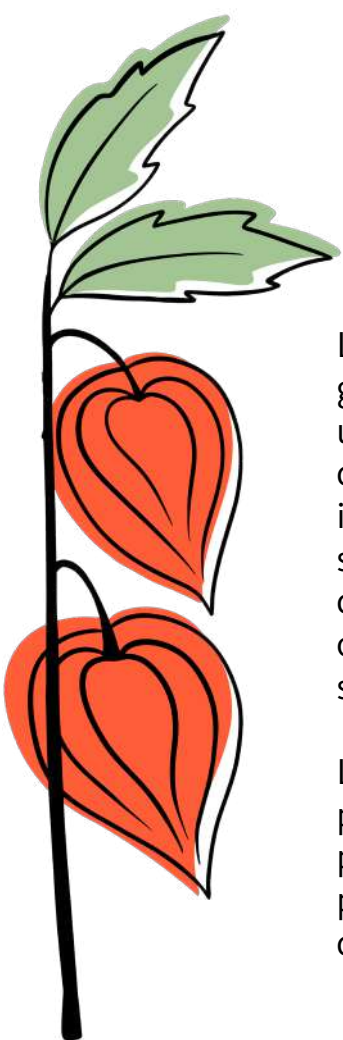


Figura 12. Proceso de desinfección de semillas de uchuva (*Physalis peruviana* L.). a. Semilla de uchuva; b. Desinfección con hipoclorito 10 %; c. Lavado por triplicado.  
Fotos: Gabriel D. Roveda

Una vez la semilla esté desinfectada, se recomienda llevar a cabo un proceso de pregerminación utilizando turba en contenedores. Se distribuyen las semillas en los contenedores, se tapan con papel plástico y, preferiblemente, se conservan en un lugar con temperaturas entre 20 y 24 °C. Gracias a la cobertura plástica, este proceso genera un microclima propicio para la germinación. Una vez que el material tenga dos hojas verdaderas, se trasplanta a bandejas de germinación.

Este proceso puede omitirse, y las semillas pueden sembrarse directamente en bandejas de germinación. Sin embargo, se considera un paso preliminar para evitar el raleo en bandejas, lo cual podría afectar el desarrollo de las raíces de las plántulas recién germinadas, ya que son altamente sensibles.





La inoculación con HFMA se lleva a cabo en el momento de la siembra o trasplante a bandejas germinadoras, proceso para el cual se recomienda el uso de bandejas de 72 alveolos. Para lograr un efecto biofertilizante con los HFMA, es necesario aplicar 70 esporas por plántula. Como se describió en la **Figura 4**, es fundamental que la radícula de la planta entre en contacto con el inóculo de HFMA. En caso de no realizar la pregerminación, se llena el alvéolo a un tercio de su capacidad con el sustrato seleccionado, que puede ser turba o suelo. Se aplica la cantidad de inóculo necesaria para alcanzar la dosis recomendada de esporas, se cubre superficialmente con el sustrato y se pone la semilla. Dado que la semilla de uchuva es pequeña, se debe cubrir superficialmente con una capa delgada de suelo.

Las plántulas se mantienen con riego constante hasta que estén lo suficientemente desarrolladas para su trasplante a campo. Se considera que las plantas deben tener una altura máxima de 12 cm para que se adapten adecuadamente en el campo. Durante esta etapa, es posible que las plantas presenten algún síntoma de deficiencia nutricional, por lo que se pueden aplicar pequeñas dosis de nutrientes para favorecer su desarrollo sin afectar el establecimiento de la simbiosis (**Figura 13**).



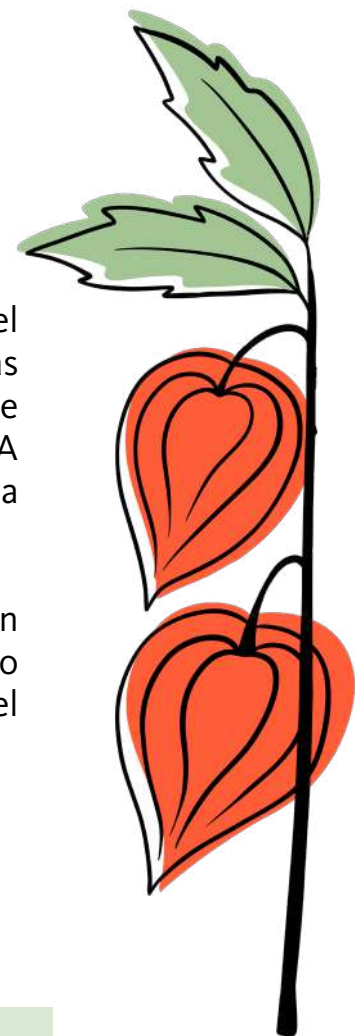
Figura 13. Inoculación y producción de plantas de uchuva micorrizadas. a. Pregerminación; b. Inoculación y siembra; c. Desarrollo de la plántula; d. trasplante a campo

Fuente: Elaboración propia

Fotos: Gabriel D. Roveda R.; Diana P. Serralde O., Emerson D. Rojas Z.

Los efectos de esta única inoculación con HFMA se reflejarán en el desarrollo agronómico del cultivo, en la productividad de las plantas y en la reducción de la aplicación de fuentes químicas de fertilizantes en el campo, la cual puede reducirse hasta en un 50 %, pues la simbiosis permite una optimización efectiva de la fertilización. Además, estudios realizados por AGROSAVIA sugieren un incremento en la calidad de los frutos destinados a la exportación, lo que sin duda se traduce en ventajas competitivas para los productores de uchuva.

Por otra parte, estos microorganismos han mostrado eficiencia en el control y mitigación del impacto generado por el hongo fitopatógeno *Fusarium oxysporum*, el cual ha causado grandes pérdidas para los uchuveros del país, ha afectado su economía y ha repercutido en el desplazamiento del cultivo.



### Para tener en cuenta

- La producción de plántulas de uchuva micorrizadas es una alternativa económica y ambientalmente viable que permite la sustitución parcial de fertilizantes de síntesis química. Además, trae beneficios a la producción, pues contribuye a una mayor formación de frutos con estándares internacionales y ayuda a mitigar el marchitamiento vascular causado por *Fusarium oxysporum*.
- Solo se requiere una aplicación de HFMA para obtener los beneficios de la biofertilización con estos microorganismos.
- Es fundamental que el inóculo utilizado en el proceso de plantación de uchuva cumpla con un control de calidad que garantice su contenido. Ya sea un inóculo producido a pequeña escala o un producto comercial, es necesario contar con una base técnica confiable sobre su alcance.

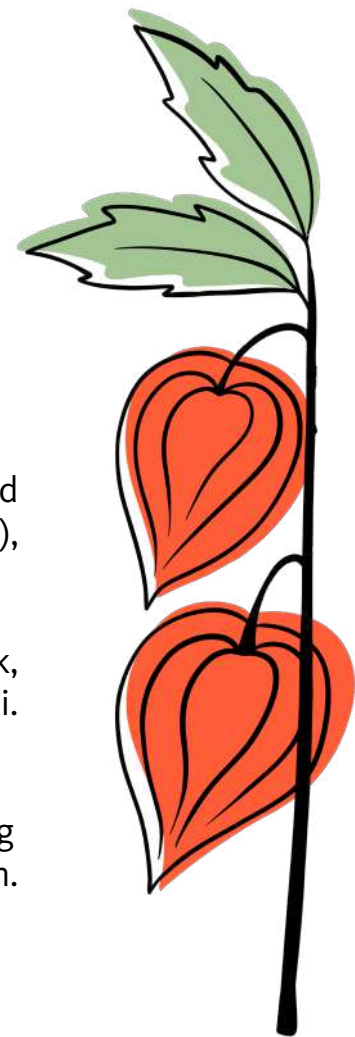




Foto: Gabriel D. Roveda R.

# Referencias

- Croll, D., & Sanders, I. R. (2009).** Recombination in *Glomus intraradices*, a supposed ancient asexual arbuscular mycorrhizal fungus. *BMC Evolutionary Biology*, 9, 13.  
<https://doi.org/10.1186/1471-2148-9-13>
- Gerdemann, J. W., & Nicolson, T. H. (1963).** Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological society*, 46(2), 235-244.
- Miller, R. M., & Jastrow, J. D. (2000).** Mycorrhizal Fungi Influence Soil Structure. En Y. Kapulnik, & D. D. Douds (Eds.), *Arbuscular Mycorrhizas: Physiology and Function*. Springer. [https://doi.org/10.1007/978-94-017-0776-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-94-017-0776-3_1)
- Phillips, J. M., & Hayman, D. S. (1970).** Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British mycological Society*, 55(1), 158-181.
- Ramírez Gómez, M., & Rodríguez Villate, A. (2010).** Señales de reconocimiento entre plantas y hongos formadores de micorrizas arbusculares: Artículo de revisión. *Revista Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuarias*, 11(1).
- Ramírez Gómez, M. M. (2014).** *Evaluación de la diversidad de Hongos Formadores de Micorrizas Arbusculares (HFMA) y su relación con el establecimiento de simbiosis con Physalis peruviana L.* [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá]. Repositorio UN. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/47260>
- Remy, W., Taylor, T. N., Hass, H., & Kerp, H. (1994).** Four hundred-million-year-old vesicular arbuscular mycorrhizae. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 91(25), 11841-11843.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.91.25.11841>
- Rillig, M. C. (2004a).** Arbuscular mycorrhizae and terrestrial ecosystem processes. *Ecology Letters*, 7, 740-754.  
<https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2004.00620.x>





**Rillig, M. C. (2004b).** Arbuscular mycorrhizae, glomalin, and soil aggregation. *Canadian Journal of Soil Science*, 84(4), 355-363.  
<https://doi.org/10.4141/S04-003>

**Roveda, G., Peñaranda, A., Ramírez, M., Baquero, I., & Galindo, R. (2012).** Diagnóstico de la fertilidad química de los suelos de los municipios de Granada y Silvanía para la producción de uchuva en Cundinamarca. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 13(2), 179-188.  
[https://doi.org/10.21930/rcta.vol13\\_num2\\_art:253](https://doi.org/10.21930/rcta.vol13_num2_art:253)

# Autoría

## **Diana Paola Serralde Ordóñez**

<https://orcid.org/0000-0001-6422-5071>

[deserralde@agrosavia.co](mailto:deserralde@agrosavia.co)

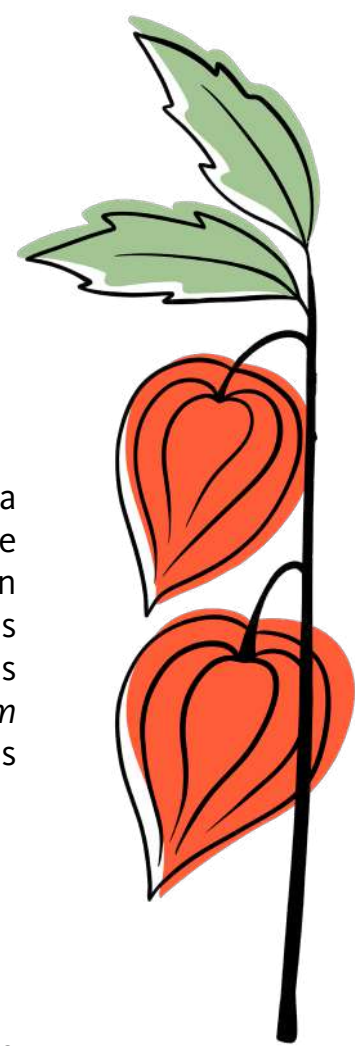
Profesional en Ecología de la Pontificia Universidad Javeriana y magíster en Ciencias-Geofísica de la Universidad Nacional de Colombia. Es investigadora máster senior de AGROSAVIA, y tiene experiencia en la relación planta-microorganismo-ambiente, especialmente en la simbiosis con hongos formadores de micorrizas arbusculares y su respuesta a nivel nutricional en diferentes cultivos de interés agrícola y forestal. Ha trabajado en la capacidad de estos microorganismos como potenciales biocontroladores de enfermedades fitosanitarias, como el ataque por *Fusarium oxysporum* en uchuva, y potencial biorremediador mediante la inmovilización de metales pesados como Cd en plantas de cacao y Cd y As en arroz.

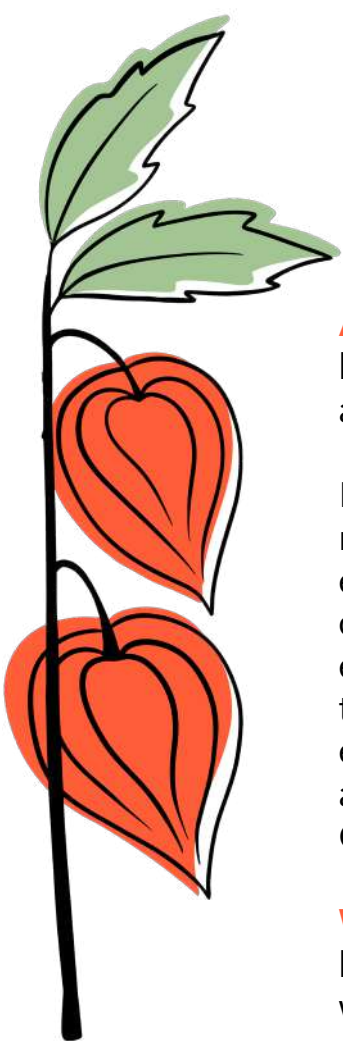
## **María Margarita Ramírez Gómez**

<https://orcid.org/0000-0002-7407-7321>

[mmramirez@agrosavia.co](mailto:mmramirez@agrosavia.co)

Ingeniera agrónoma de la Universidad Nacional de Colombia, MPhil en Microbiología de Suelos de la University of Wales, Reino Unido y doctora en Biotecnología de la Universidad Nacional de Colombia. Tiene una amplia experiencia en el estudio de la simbiosis con rizobios y hongos formadores de micorrizas arbusculares. Sus investigaciones parten del aislamiento, la identificación y la selección de las mejores interacciones planta-microorganismos en laboratorio, invernadero y campo. Ha liderado la formulación, el escalamiento, el registro y la venta de siete bioproductos basados en microorganismos benéficos. Ha participado en proyectos de investigación y en la conformación, coordinación y puesta en marcha de los programas nacionales de Manejo Integrado de Suelos y Aguas, de Manejo Integrado Recursos Biofísicos y en el Banco de Germoplasmas de Microorganismos con Interés en Biofertilización, así como en la escuela de pensamiento en agricultura tropical. Es creadora y líder del grupo de investigación Raíces del Futuro: manejo de Suelos y Aguas. En la actualidad, se desempeña como investigadora PhD senior del Centro de Investigación Tibaitatá de AGROSAVIA.





### **Andrea María Peñaranda Rolón**

<https://orcid.org/0000-0003-1231-646X>

[apenaranda@agrosavia.co](mailto:apenaranda@agrosavia.co)

Ingeniera de Producción Biotecnológica de la Universidad Francisco de Paula Santander y máster en Ciencias Ambientales de la Universidad Jorge Tadeo Lozano. Cuenta con una amplia experiencia en el estudio de hongos formadores de micorrizas y rizobios, y en su potencial como biofertilizante en invernadero, vivero y campo. Ha participado en la formulación y ejecución de varios proyectos de investigación en especies frutícolas, leguminosas, forestales y transitorias como la caña para producción de panela. Su experiencia profesional está enfocada en la evaluación de microorganismos con potencial biofertilizante y su impacto económico y ambiental en diversos cultivos. En la actualidad, se desempeña como investigadora máster del Centro de Investigación Tibaitatá de AGROSAVIA.

### **Wilmar Alexander Wilches Ortiz**

<https://orcid.org/0000-0002-2905-3347>

[wwilches@agrosavia.co](mailto:wwilches@agrosavia.co)

Ingeniero agrónomo de la Universidad de Cundinamarca y magíster en Cambio Climático Universidad Iberoamericana Internacional de Puerto Rico magíster en Seguridad Alimentaria de la Universidad Abierta y a Distancia de México, magíster en Biotecnología Alimentaria de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Tiene experiencia en diferentes campos de la agronomía, como la investigación y la transferencia de tecnología en el manejo integrado de plagas y enfermedades del cultivo de la papa y el tomate, los hongos formadores de micorrizas arbusculares en mora, uchuva, caña panelera, agraz, forestales, caucho, mango y cacao; asimismo, en el uso de sistemas de información geográfica en sistemas silvopastoriles, enfermedades de la palma de aceite y estudios del cultivo de tabaco, así como en la docencia académica en el área agrícola y en las ciencias básicas. Ha participado en proyectos de producción de hortalizas limpias en agricultura urbana y transferencia de nuevas tecnologías en cultivo de fresa.



### **Luciano Ramirez**

<https://orcid.org/0000-0003-0963-6737>

Es ingeniero agrónomo de la Universidad de Caldas y tiene experiencia en el manejo de cultivos de importancia económica como café, cacao, caña y plátano. Ha participado activamente en proyectos relacionados con el manejo integrado de suelos, incluyendo la aplicación de HFMA. Actualmente, desempeña el rol de profesional de apoyo a la investigación en el Centro de Investigación Tibaitatá de AGROSAVIA.

### **Emerson Duvan Rojas Zambrano**

<https://orcid.org/0000-0001-7605-3457>

[edrojas@agrosavia.co](mailto:edrojas@agrosavia.co)

Ingeniero agrónomo de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tiene experiencia en la administración y el manejo de almácigos, manejo integrado de suelos, planes de fertilización y manejo agronómico de diversos sistemas productivos a campo abierto y bajo cubierta, principalmente en cultivos de hortalizas y frutales. En la actualidad, se desempeña como profesional de apoyo a la investigación en AGROSAVIA y su aporte a la investigación se ha centrado en el área del manejo sanitario enfocado en el manejo integrado de enfermedades en sistemas de producción frutícola como pasifloras, uchuva y mango, orientados al diseño de modelos de prevención y alternativas de manejo de enfermedades limitantes. Cuenta con la experiencia en la formulación y el desarrollo de proyectos en actividades de planificación, muestreo en campo, montaje, seguimiento, evaluación, toma de datos e interpretación de resultados estadísticos de ensayos experimentales.





Foto: Diana Paola Serralde Ordoñez





ISBN: 978-958-740-700-6



Distribución gratuita  
Prohibida su venta