

Micorrizas vesículo-arbusculares: Aplicación a las nuevas biotecnologías

Juan A. Ocampo
Departamento de Microbiología, Estación Experimental
del Zaidín, Granada

Introducción

Las micorrizas vesículo-arbusculares (VA) son simbiosis mutualísticas entre ciertos hongos de la familia *Endogonaceae* (Ficomycetos) y las raíces de la mayoría de las plantas. Estas simbiosis favorecen el crecimiento de las plantas a través de un incremento en la captación de fósforo a partir del suelo. Lógicamente, el hongo también se beneficia de la planta mediante elementos provenientes de la fotosíntesis.

La existencia de micorrizas VA se descubrió en 1885 pero hasta 1960 la mayoría de los trabajos realizados se limitaban a la descripción de esta simbiosis, siendo a partir de esta época cuando el estudio de estas asociaciones hongo-raíz experimenta un gran auge en todo el mundo, reconociéndose su papel primordial en el crecimiento de las plantas así como su incor-

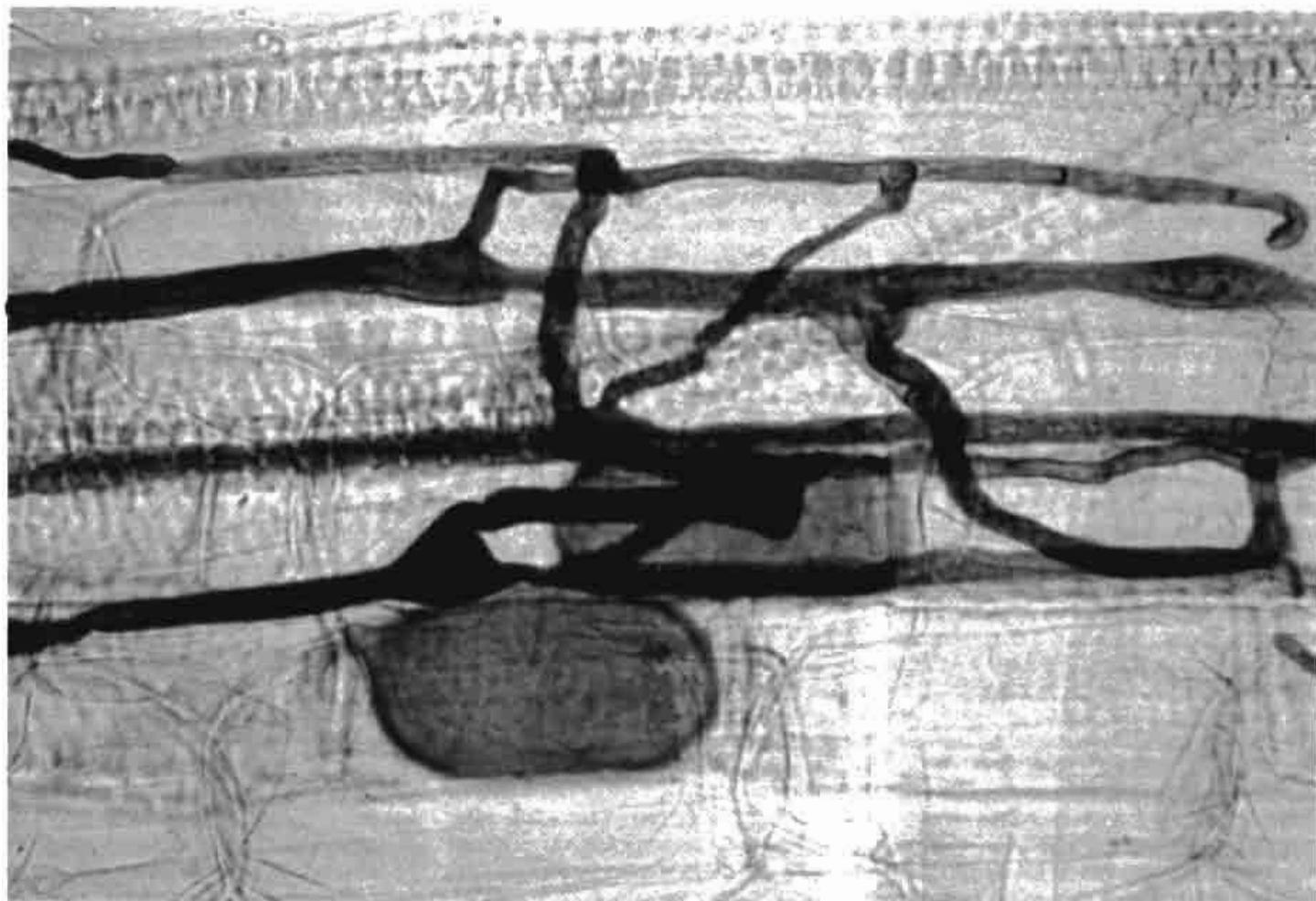
poración a las nuevas biotecnologías.

Las causas de este retraso en la investigación de las micorrizas VA se debe principalmente a que, por una parte, la asociación hongo-raíz es simbiótica en la cual la raíz no muestra ningún síntoma de daño aunque esté muy infectada (pudiendo alcanzar hasta un 80% de la misma) y, por otra parte, a que el hongo VA no ha podido ser cultivado en ausencia de la raíz, ni aislado en medios de cultivo de laboratorio, utilizando las técnicas clásicas de microbiología.

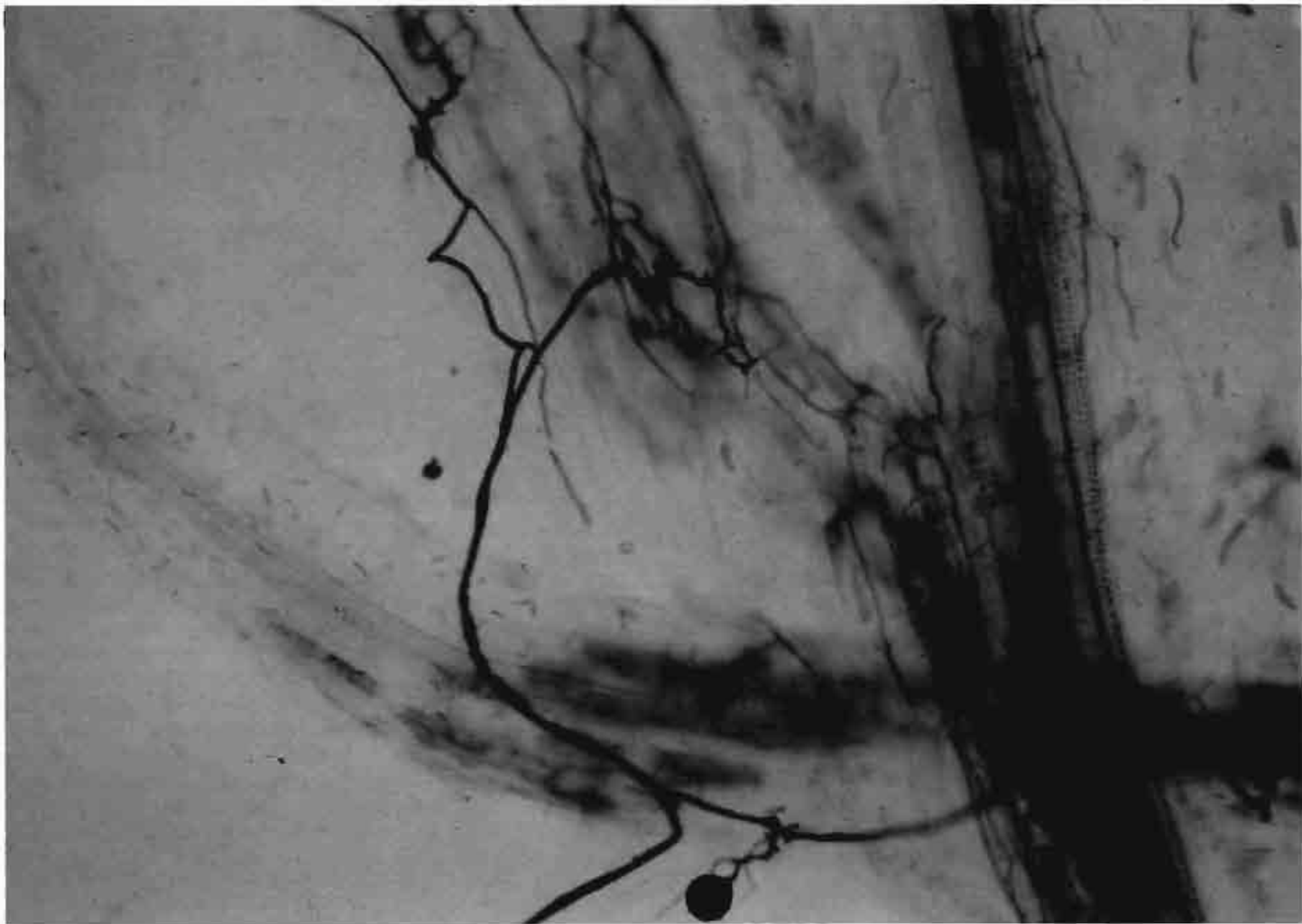
Morfología

Los hongos formadores de micorrizas VA se caracterizan porque sus hifas penetran en la raíz de forma intra e intercelularmente. Las hifas pueden provenir de otra raíz infectada o de grandes esporas. Las esporas pueden ser mayores de 500 nm. de diámetro.

Las hifas fúngicas a la vez que se desarrollan en el interior de la raíz, se desarrollan en la parte externa de la misma, pudiendo alcanzar una distancia de 8 cm. y un volumen de 1 m. de hifas fúngicas por cada cm. de raíz. Por lo que el hongo es parcialmente interno, este hecho es de gran importancia para la captación de nutrientes, como se verá posteriormente. Una vez dentro de la raíz, el hongo se desarrolla en la corteza de la misma dando lugar a ramificaciones dicotómicas llamadas arbuscúlos en el interior de las células radicuales. La función de los arbuscúlos es el intercambio de nutrientes con las células radicuales. Cuando la infección se encuentra en un estadio más avanzado se forman unos glóbulos más o menos esféricos llamados vesículas, a las cuales se les atribuye, preferentemente, la función de almacenamiento de sustancias de reserva.



Vesículas.



Hifa externa, esporas y punto de entrada del hongo en la raíz.

Dinámica de la infección

El proceso y desarrollo de la infección de los hongos productores de micorrizas VA en la planta sigue un modelo de tres fases: *fase de latencia*, *fase logarítmica de desarrollo* y *fase de estabilización*.

Fase de latencia. Está caracterizada por el tiempo requerido para la germinación de esporas, crecimiento del tubo germinal y penetración del hongo dentro del hospedante. Esta fase tiene una duración aproximada de 15 a 30 días después de realizarse la inoculación, variando según el tipo de planta hospedante.

Fase logarítmica. Esta fase se puede asociar con la formación de un micelio extenso en el suelo, producido por las sucesivas germinaciones de las esporas existentes en él, puesto de manifiesto por la cantidad de hifas que permanecen adheridas a las raíces durante su cosecha, desde las cuales se producen estructuras de penetración que inician la infección. Así como, también se puede asociar con los puntos jóvenes de entrada establecidos durante la fase de latencia que se van extendiendo de célula a célula mediante el desarrollo de la hifa, formando gran número de arbusculos. Después de 4-8 semanas de crecimiento se forman nuevas esporas en la vecindad de las raíces causando, por tanto, la colonización rápida que caracteriza a esta fase.

Fase de estabilización. A partir de 30-60 días, según el tipo de planta, se produce una limitación y estabilización del porcentaje de raíces micorrizadas las cuales alcanzan normalmente un grado de infección del 40-80%. Esta estabilización puede deberse a los cambios fisiológicos que se producen en la raíz del hospedante.

Este modelo se da tanto en plantas cultivadas en invernadero como en el campo, aunque en este último la intensidad de infección es menor y el desarrollo de las tres fases más variado, como era de esperar ya que las condiciones son más variables y con incidencia de más factores.

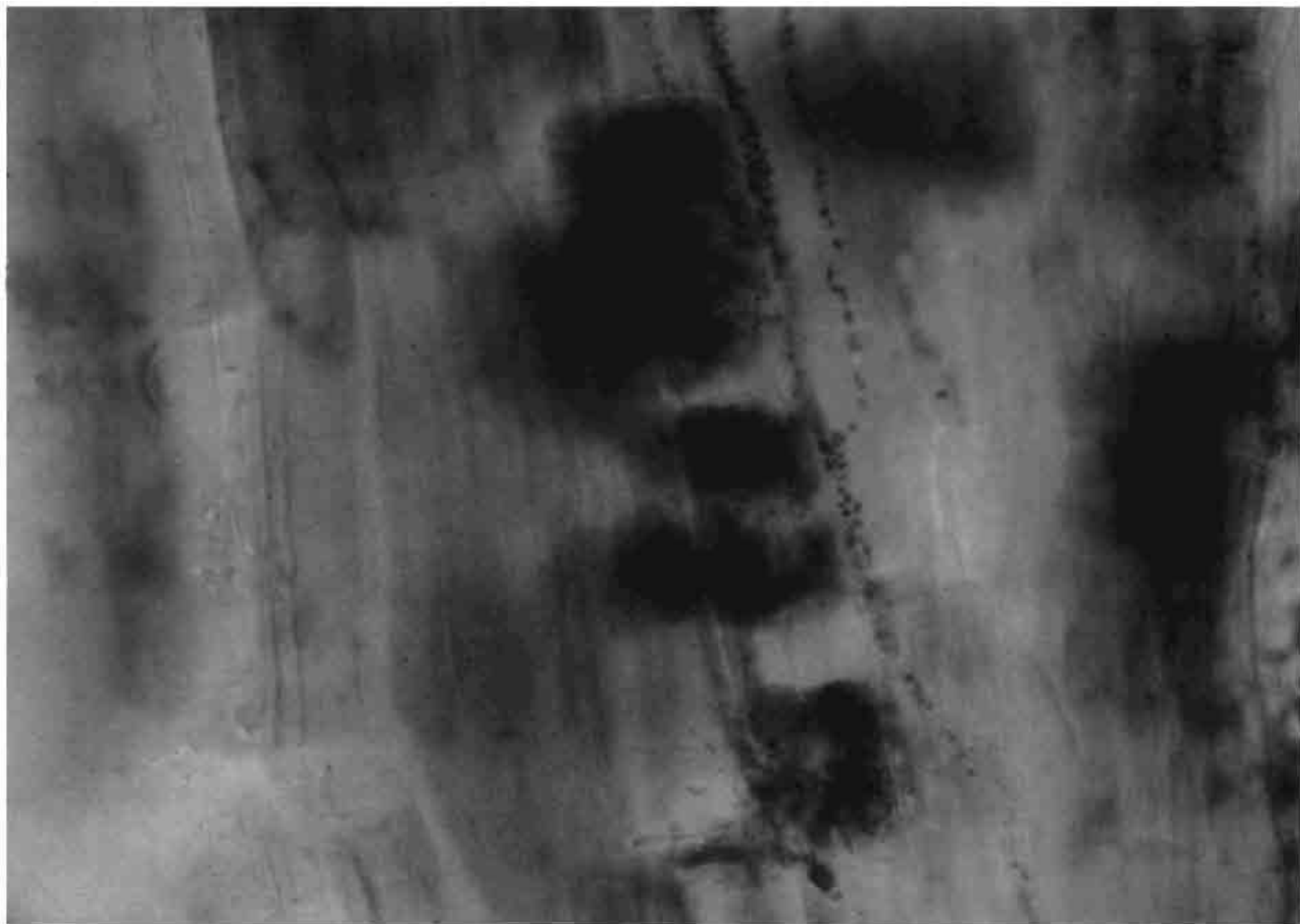
Efecto sobre el crecimiento de las plantas

Las plantas micorrizadas crecen más y mejor que las no micorrizadas, debido a que las micorrizas intervienen en la absorción de elementos inorgánicos, sobre todo fósforo, a partir del suelo.

Los nutrientes se pueden encontrar en el suelo en fase sólida, absorbida y en solución. A medida que pasa el tiempo se producen cambios entre estas tres fases. Una vez en solución, los iones nutritivos se encuentran en el estado adecuado para que lo tomen las raíces, pero sólo en el caso de que éstas estén próximas a los nutrientes. Además, los nutrientes se mueven hacia la superficie de la raíz mediante los procesos de flujo de masas y difusión.

El fosfato y los micronutrientes están de forma relativamente insoluble en el suelo y a menudo se encuentran ligados a los coloides del mismo. En este caso se denomina que tales nutrientes están inmóviles. La raíz ocupa un volumen determinado de suelo y rápidamente agota los iones fosfato que se encuentran en la zona de 1 a 2 mm. alrededor de la misma. La acumulación posterior de fosfato está, por tanto limitada por la velocidad del movimiento de iones hacia la superficie de la raíz. Las hifas externas del hongo de la micorriza crecen más allá de la "zona de agotamiento" absorbiendo fosfato y otros iones inmóviles y translocándolos hacia la raíz con mayor velocidad que a la que se mueven los iones por procesos de flujo de masas y difusión en el suelo. De esta manera las micorrizas VA superan este factor limitante en la captación de fosfato. Lógicamente, las micorrizas contribuyen al mejor crecimiento de las plantas en aquellas situaciones en las que la presencia de iones fosfato en estado soluble sea baja y represente un factor limitante para el crecimiento de las mismas.

También se ha descrito que las micorrizas VA intervienen en la captación de otros nutrientes si bien los resultados apuntan a que sea como consecuencia de una mejor nutrición fosforada de la planta. No obstante, en experimentos recientes se ha demostrado que sí intervienen de forma directa en la captación de Zn y Cu. Por otro



Arbúsculos.

lado, el papel de las micorrizas en la captación de agua, o bien en el incremento de la resistencia de las plantas a la sequía, es un tema que se debate actualmente. Sin embargo, investigaciones recientes sugieren un efecto adicional de las micorrizas, en condiciones de estrés hídrico, al mero aporte de fosfato.

Las micorrizas VA también pueden favorecer el crecimiento de las plantas mediante: 1. Producción de fitohormonas, ya que se han detectado niveles superiores de gibberelinas y citoquininas, así como, un adelanto en la floración en plantas micorrizadas. 2. Mejora en la estructura del suelo a través de la formación y estabilización de agregados por las hifas del hongo. 3. Acción protectora sobre la planta frente al ataque de elementos fitotóxicos, como pesticidas y patógenos, punto que está adquiriendo especial importancia durante estos últimos años.

Aplicaciones prácticas de las micorrizas VA

Una vez establecida la importancia de las micorrizas VA en la nutrición de las plantas, es lógico que la atención de los investigadores se centrara en el estudio de las posibilidades de manipular la simbiosis con vistas a la explotación de su potencial en la práctica agrícola. En ensayos de campo se ha observado el efecto beneficioso de las micorrizas VA sobre el creci-

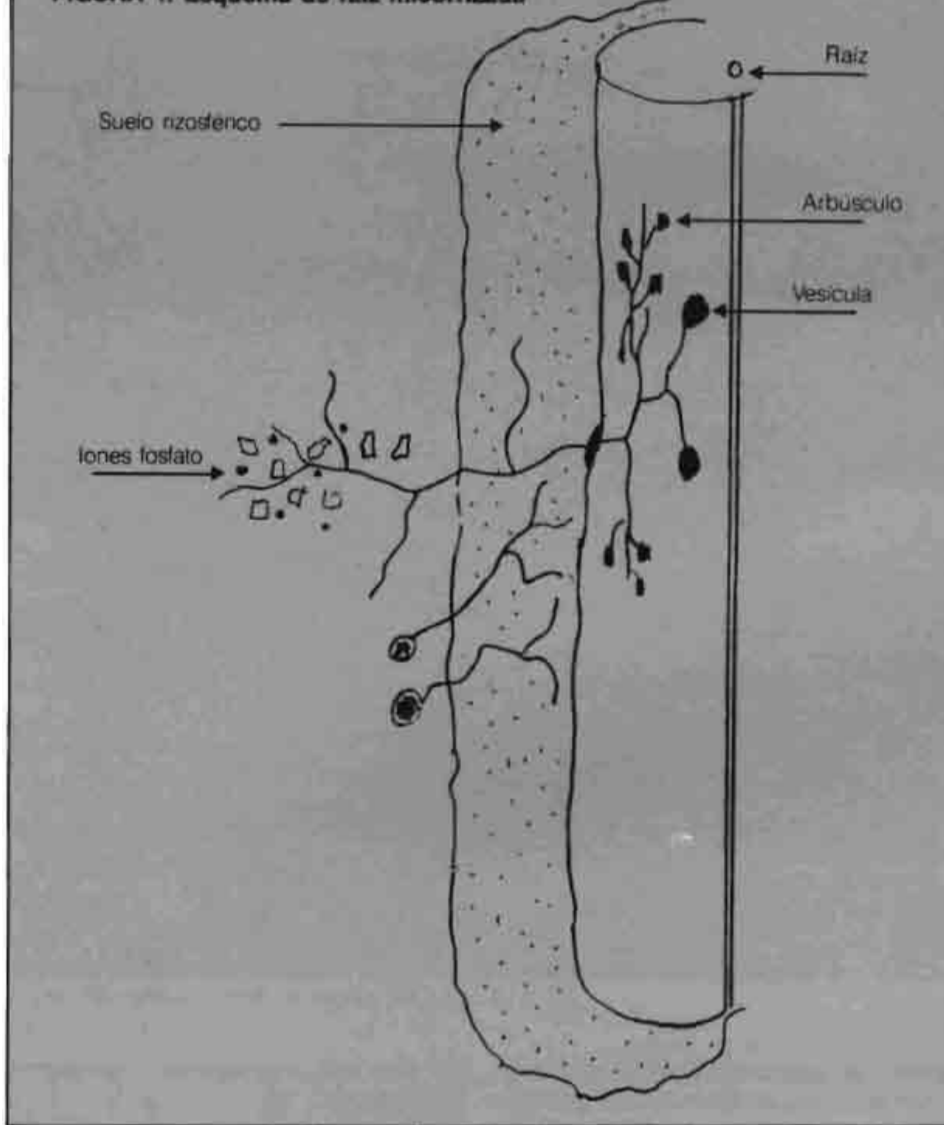
miento de las plantas cuando se hacen inoculaciones con cepas del hongo seleccionadas previamente en el laboratorio. Sin embargo, las dificultades de llevarlo a la práctica con cierta posibilidad de éxito son considerables, ya que las plantas pueden desarrollar infecciones mezcladas en las que haya un predominio del endofito autóctono, es decir los hongos VA que se encuentran de forma natural en un suelo determinado, sobre el introducido. Hay que tener en cuenta que los endofitos autóctonos son generalmente poco efectivos. Es necesario, por tanto, que el hongo a inocular tenga una gran capacidad competitiva, pero además que posea una gran eficacia en la absorción de nutrientes. Se sabe que cualquier especie de endofito VA puede virtualmente infectar a cualquier planta, pero su efectividad varía según su preferencia por unos suelos o plantas determinadas, su capacidad directa para estimular el crecimiento de las plantas, su nivel de infección y su tolerancia a la aplicación de productos químicos tales como fertilizantes y pesticidas. A pesar de que los hongos formadores de micorrizas VA en suelos no esterilizados tienen que estudiarse más en profundidad, actualmente hay un nivel de conocimientos suficiente como para poder establecer los criterios de selección y empleo de los mismos. Sin embargo, la descripción de las técnicas utilizadas para la inoculación de hongos VA haría muy extenso este artículo.

Por otro lado, hay que tener en cuenta aquellas prácticas agrícolas en las que se utilizan suelos previamente esterilizados, en donde la inoculación de hongos VA adquiere gran importancia. Tal es el caso de cultivos llevados a cabo en viveros e invernaderos.

Producción de plantas leñosas en viveros

Durante estos últimos años se ha incrementado de manera notable el uso de fumigantes volátiles para la esterilización de suelos dedicados a la producción de plántulas de árboles frutales o de bosque, así como leñosas ornamentales. Tal es el caso de los viveros de cítricos cuyos suelos se fumigan, entre otros productos, con bromuro de metilo. Sin embargo, las plantas que se cultivaban en estos suelos tenían un desarrollo muy pobre y un índice de mortandad muy elevado. Después de investigar las causas durante muchos años, sin encontrar ninguna solución, se observó que el efecto del fumigante era idéntico al que se producía cuando se eliminaba la población de micorrizas de ese suelo por otros medios tales como la esterilización por calor. La reintroducción de hongos VA en los suelos fumigados o esterilizados por calor permitía un crecimiento normal de los cítricos. Y además se ha demostrado que los hongos VA mezclados con las semillas son suficientes para que

FIGURA 1. Esquema de raíz micorrizada



las plántulas crezcan ya micorrizadas en los suelos donde se había aplicado previamente el fumigante. Por tanto, las ventajas de la fumigación (eliminación o control de enfermedades, plagas o malas hierbas) se hacen patentes cuando las micorrizas se reintroducen en esos suelos.

Estos hechos se han confirmado de forma exhaustiva con otras plantas leñosas ornamentales las cuales, después de someter los suelos a una fumigación, sólo crecen sanas aquellas que están micorrizadas. Hay que tener en cuenta que este tipo de planta se propaga mediante estaquillas, enraizándolas antes de transplantarlas al suelo definitivo. Es durante la fase de enraizamiento donde ocurre la micorrización. Si el medio donde se enraizan se esteriliza o se prepara a base de productos artificiales que no contengan propagulos de los hongos micorrizicos, cuando se vayan a trasplantar, las estaquillas enraizadas no tendrán micorrizas formadas. Si esas estaquillas se plantan en suelos no fumigados, la infección micorriza ocurre de forma rápida y las plantas crecerán mejor o peor según el tipo de hongo VA autóctono. Pero si, como es usual, las estaquillas se plantan en suelos fumigados, la infección VA no tendrá lugar y las plantas tendrán un desarrollo raquítico o morirán.

Producción de plantas ornamentales en invernadero

Este sistema representa un cultivo verdaderamente intensivo, en el que las plantas se cultivan con niveles óptimos de fertilidad, luz, temperatura y agua. Las plantas crecen en contenedores en los que el soporte casi siempre se esteriliza mediante vapor fluyente eliminando, de ese modo, la presencia de malas hierbas, insectos del suelo, organismos productores de enfermedades y, por tanto, hongos VA. El uso de contenedores para la producción de plantas ornamentales se ha extendido en las últimas décadas debido a que permiten una rápida producción de plantas, son de fácil manejo ya que los soportes son ligeros, se puede llevar a cabo una mayor precisión en el control de agua y fertilizantes, y a la poca necesidad de espacio. Sin embargo, hay varios inconvenientes en el uso del sistema de contenedores, entre los que se pueden mencionar la exposición de las raíces a temperaturas extremas y el poco margen de error en la aplicación de fertilizantes debido a la gran cantidad de masa radical. Las plantas se suelen cultivar en soportes ligeros tales como turba, arena, etc., solos o mezclados con suelo. A estos medios se incorporan micronutrientes y superfosfatos.

Se producen plantas sin micorrizas pero a base del empleo de grandes dosis de fertilizantes y agua. La aplicación de agua se hace necesaria, entre otras cosas, con objeto de evitar la acumulación de sales como consecuencia de la fertilización excesiva. Las plantas que crecen en estas condiciones presentan un aspecto óptimo pero tienden a marchitarse con facilidad



La asociación hongo-raíz es simbiótica, y ésta no muestra ningún síntoma de daño aunque esté muy afectada.



El uso de los hongos VA puede aliviar algunos de los problemas que presenta el cultivo de ornamentales en invernaderos.

cuando la fertilización a la que han estado sometidas disminuye o se hace discontinua. Hecho que sucede cuando se trasladan fuera del invernadero. Por otro lado, presentan rápidamente deficiencias de nutrientes y se vuelven cloróticas cuando se trasplantan a suelos menos fértiles o con condiciones ambientales más adversas.

Por tanto hay que considerar dos aspectos en los que las micorrizas VA pueden afectar de forma positiva a este tipo de cultivo: 1. efecto en la producción dentro del invernadero y 2. efecto en la calidad de las plantas después de trasplantarlas. Los hongos VA favorecen el crecimiento y salud de las plantas, reducen el coste de fertilizante y las plantas soportan mejor su trasplante a los lugares definitivos. No obstante, la respuesta al crecimiento de las plantas herbáceas a la micorrización depende de la especie de planta y del período de cultivo. De hecho, en algunos experimentos en los que se ha comparado la fertilización normal con la introducción

de micorrizas VA, se observó que aunque la aplicación de micorrizas favorece el crecimiento de las plantas en el invernadero, no superaron a las plantas que habían recibido una fertilización normal. Por otro lado, hay que tener en cuenta que las plantas se cultivan a menudo bajo condiciones de intensa exclusión de patógenos siendo muy costosa la esterilización del suelo. Por lo que para la introducción de inóculos no estériles es necesario que se encuentren libres de organismos patógenos, insectos, nematodos, etc. Por tanto hay que tener la precaución de usar un inóculo de calidad, y emplear las técnicas de inoculación adecuadas para un determinado tipo de planta.

La investigación sobre la producción de plantas ornamentales en invernadero indica que el uso de los hongos VA puede aliviar algunos de los problemas causados por las técnicas habituales de este tipo de cultivo, la carestía de los fertilizantes y la labor requerida para su aplicación.

BIBLIOGRAFIA

- JEFFRIES, P. (1987). Use of Mycorrhizae in agriculture. *CRC Critical Reviews in Biotechnology*, 5, 319-357.
- HARLEY, J.L. y SMITH, S.E. (1983). *Mycorrhizal symbiosis*. Academic Press, London-New York.
- HAYMAN, D.S. (1984). Methods for evaluating and manipulating vesicular-arbuscular mycorrhiza. *Microbiological Method for Environmental Biotechnology*. Academic Press. New York.
- OCAMPO, J.A. (1980). Micorrizas VA. II. Efecto sobre el crecimiento de las plantas. *Anales de Edafología y Agrobiología*, 39, 1049-1069.
- POWELL, C.L.L. y BAGYARAJ, D.J. (1984). *VA mycorrhizas*. CRC Press, Florida.