



Estación Experimental Agropecuaria
Marcos Juárez

Las micorrizas en trigo y su relación con la absorción de fósforo del suelo

V. Faggioli¹, G. Freytes² y C. Galarza¹

¹INTA EEA Marcos Juárez

²Estudiante de agronomía UNVM

faggioli@mjuarez.inta.gov.ar

Introducción

Las raíces de todas las plantas están en íntimo contacto con el suelo. Los componentes vivos y no vivos del suelo afectan el desarrollo y funciones de las plantas. Numerosos microorganismos habitan el suelo que se adhiere a las raíces. Este ambiente se denomina rizósfera y es donde ocurren las interacciones de las plantas con el suelo. Algunos de los microorganismos de la rizósfera son perjudiciales porque afectan negativamente a las plantas causando enfermedades. Otros microorganismos son benéficos porque favorecen en algún sentido el crecimiento y desarrollo de las plantas. Por ejemplo, las bacterias promotoras del crecimiento vegetal, bacterias que fijan nitrógeno del aire y pueden aprovechar las plantas como *Bradyrhizobium*. Dentro de los beneficios de ciertos microorganismos a los cultivos es la capacidad de incrementar la absorción de nutrientes poco disponibles del suelo, como el fósforo (Peterson *et al.* 2004). Este último es el efecto más difundido que se atribuye a las micorrizas y se ampliará brevemente en el siguiente informe.

¿Qué son las micorrizas?

La palabra micorriza significa hongos (“mico”) de las raíces (“rizas”). Este término fue utilizado por primera vez en 1800 para nombrar a los hongos que hacían simbiosis con las raíces de las plantas superiores. Se sabe que las infecciones micorrizicas son tan antiguas como la historia de las plantas sobre la Tierra. Esto significa que las micorrizas permanecen desde hace más de 370 millones de años. Hay diversos tipos de micorrizas, en este trabajo haremos referencia a las que hacen simbiosis con las raíces de los cultivos.

Aunque no se vean a simple vista las micorrizas se encuentran en las raíces de casi todas las plantas que existen. Para verlas es necesario utilizar un microscopio o una lupa. De esa forma hemos observado que gran parte de las raíces de soja, maíz y trigo de ensayos de la EEA Marcos Juárez poseen micorrizas. En las fotos que siguen (Figura 1) se presentan algunos ejemplos de formación de micorrizas dentro de las células de raíces. La Figura 1B es una ampliación de los círculos de la Figura 1A. En ellos ocurre el intercambio de nutrientes entre los hongos y la planta.

Las micorrizas ocurren en la mayoría de las plantas. Este tipo de simbiosis no es tan específica como la de *Rhizobios* (fijadores de nitrógeno) y las leguminosas. Una misma planta puede tener varias clases de micorrizas capaces de infectar sus raíces y formar simbiosis. La dependencia de las micorrizas está relacionada a la forma de las raíces de la planta. En este

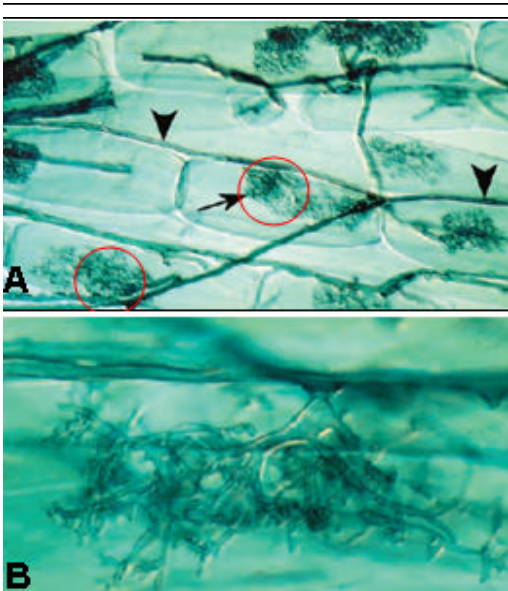
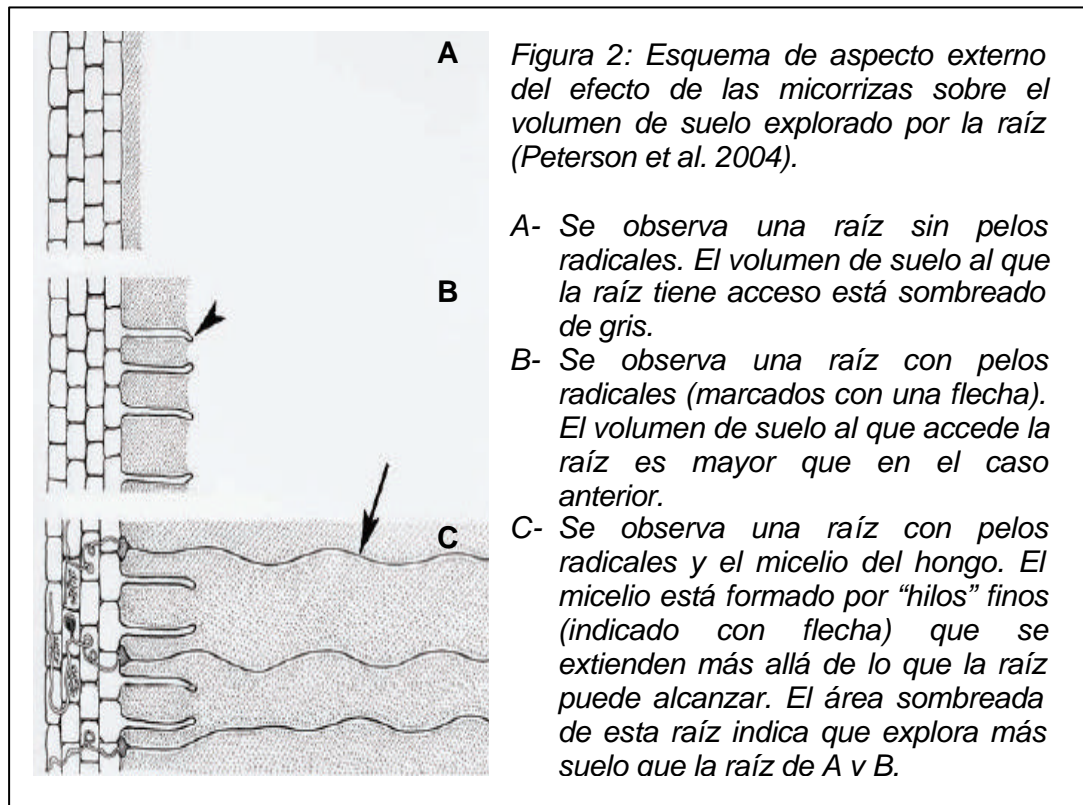


Figura 1: Estructuras de micorrizas en raíces
(Extraído de Peterson et al. 2004)

sentido, las plantas con raíces más finas y numerosos pelos radicales son menos dependientes de las micorrizas que aquellas con sistema radical notablemente más grueso. En la Figura 2 se esquematiza y explica la importancia del sistema radical y las micorrizas en la absorción de nutrientes del suelo.



Relación entre las micorrizas y la absorción de fósforo del suelo

El papel de los hongos micorrícicos en la absorción de fósforo del suelo puede resumirse de la siguiente manera: las plantas con micorrizas absorben y acumulan más fósforo que las plantas sin micorrizas especialmente si crecen en suelos de baja disponibilidad del nutriente. Puesto que el fósforo es un nutriente de baja movilidad en el suelo la raíz debe llegar a él para absorberlo. En raíces con micorrizas el incremento en la absorción de fósforo del suelo se debe a la mayor eficiencia en acceder a este nutriente y luego tomarlo. Esto se produce por un aumento en la superficie y el volumen de suelo que exploran las raíces logrado gracias a dos razones: a) raíces más sanas (se explicará más adelante) y b) las hifas del hongo actúan como una extensión de la raíz de la planta. La longitud absorbente de la raíz crece y por consiguiente la exploración de suelo también aumenta (Figura 2C).

Efecto del manejo y propiedades del suelo sobre las micorrizas

Cada cultivo tiene diferente grado de dependencia a las micorrizas. Por ejemplo, el maíz y el sorgo tienen alta dependencia micorrícica mientras que el trigo, la avena y la cebada poseen baja dependencia. Consecuentemente, el orden de la rotación de cultivos tiene un efecto significativo sobre la nutrición vegetal de fósforo y otros nutrientes debido a que la población de micorrizas decrece en el suelo cuando se cultivan especies de baja dependencia a las micorrizas (Coyne 1999). Otro factor muy importante sobre las poblaciones de micorrizas en el suelo es la duración del período de barbecho. Una buena estrategia es cultivar luego de barbechos prolongados especies de alta dependencia a las micorrizas para incrementar la población de hongos en el suelo. Los movimientos del suelo ocasionados por las labranzas rompen el entramado de micelio del hongo con lo cual destruyen el efecto benéfico sobre la

estructura del suelo y la principal forma de sobrevivencia del hongo en ausencia de plantas. Altas dosis de fertilizantes ocasionan una menor micorrización de las raíces. Dosis medias, en cambio, no afectan significativamente a las micorrizas. Los funguicidas aplicados en la semilla son extremadamente tóxicos para las micorrizas, principalmente aquellos de amplio espectro de control. Los herbicidas e insecticidas utilizados normalmente tienen un bajo impacto sobre las micorrizas (Coyne 1999). Por último, puesto que estos hongos necesitan oxígeno para vivir, las poblaciones de micorrizas son muy bajas en suelos de drenaje pobre y anegables. También se ha observado que en suelos salinos y/o sódicos el porcentaje de micorrización es muy bajo (Abbot y Robson , 1991).

Los beneficios más importantes de las micorrizas para las plantas son:

- Mejoran el estado general de la planta al optimizar la absorción de nutrientes del suelo.
- Permiten un uso más eficiente del fósforo y zinc aplicado con los fertilizantes.
- Estimulan la nodulación y fijación de nitrógeno en las leguminosas al incrementar el flujo de fósforo hacia la raíz.
- Incrementan la tolerancia de la planta a enfermedades al mejorar la nutrición de la planta y competir con los microorganismos patógenos por espacio en la raíz.
- Inmovilizan algunos metales pesados como el zinc, cadmio y manganeso.
- Optimizan el uso del agua y la tolerancia a la sequía.
- Mejoran la estructura del suelo ayudando a mantener unidos a los agregados de suelo gracias al micelio y secreciones de glomalinas.

En Argentina desde hace varios años se está estudiando el impacto que tienen las micorrizas en los sistemas de producción agropecuaria en suelos con baja disponibilidad de fósforo. Por ejemplo, Covacevich et al. (2005) estudiaron el efecto de la localización de fertilizante fosforado aplicado a la siembra sobre la micorrización espontánea en el cultivo de trigo. Ellos trabajaron en suelos de Balcarce y Lobería con contenidos de fósforo Bray predominantemente bajos. Observaron que cuando el contenido de fósforo del suelo superaba 11 ppm la micorrización era afectada negativamente. El mayor descenso se observó cuando el fósforo era aplicado en la línea en comparación con aplicaciones al voleo. Al comparar diferentes tipos de fertilizantes observaron que el superfosfato simple afectaba con mayor severidad la micorrización que la roca fosfórica (Covacevich et al., 2006). El efecto de los sistemas de labranza sobre la micorrización de trigo fue estudiado por Schalamuk et al. (2003; 2006). Observaron que la remoción de suelo afectó la diversidad de esporas de hongos micorrícicos en el suelo y la consiguiente micorrización. Gran parte de las investigaciones sobre el establecimiento de simbiosis entre micorrizas y cultivos se ha estudiado en suelos de baja disponibilidad de fósforo. Las micorrizas son habitantes del suelo ampliamente difundidos que capaces de infectar las raíces de los cultivos agrícolas más difundidos de nuestro país. Sin embargo, no se conoce el impacto sobre la nutrición de los cultivos que tiene la micorrización en suelos de elevada disponibilidad de fósforo como los suelos productivos de Marcos Juárez. En la EEA Marcos Juárez se está estudiando el tema en cultivos de maíz, soja y trigo. En el presente informe se dan a conocer resultados preliminares y acotados a las circunstancias en que fueron obtenidos. El objetivo de este informe fue determinar y comparar el porcentaje de micorrización de raíces de trigo y analizar su relación con la absorción de fósforo del suelo en un ensayo de la EEA INTA Marcos Juárez.

MATERIALES Y MÉTODOS

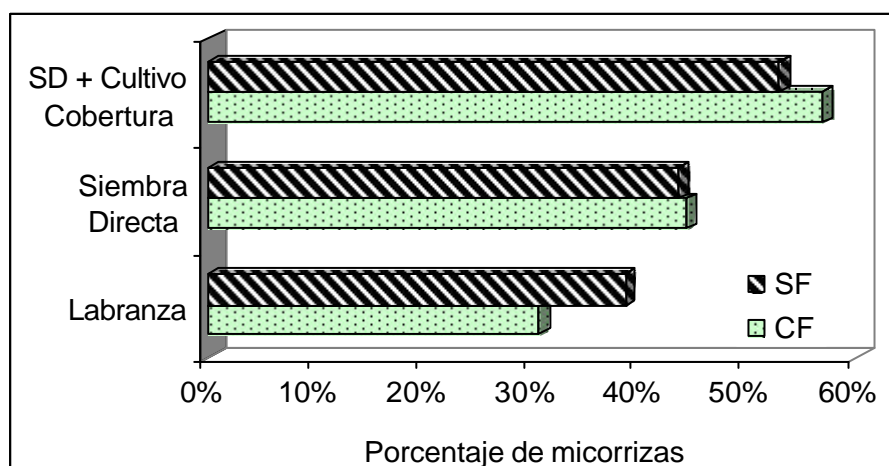
Este trabajo de investigación se realizó en el cultivo trigo de un ensayo iniciado en 1993 en la EEA INTA Marcos Juárez. El suelo es un Argiudol típico, serie Marcos Juárez. El diseño del experimento es de parcelas subdivididas con tres repeticiones. La secuencia de cultivos es trigo/soja – soja – maíz. El factor principal es el sistema de cultivo: Labranza reducida con rastra de discos (Lr), siembra directa (Sd) y siembra directa con avena como cultivo de cobertura invernal (Cc). Cada tratamiento se subdivide según la fertilización: no fertilizado desde el inicio del experimento y fertilizado según el requerimiento de cada cultivo. A la siembra, el trigo se fertilizó con 80.5 kgN ha⁻¹, 15.1 kgP ha⁻¹ y 10.5 kgS ha⁻¹ la aplicación fue al voleo bajo las formas de urea, MAP y yeso, respectivamente. El contenido de fósforo Bray del suelo al macollaje del cultivo fue de 85 ppm en las parcelas fertilizadas mientras que en las no fertilizadas fue de 30 ppm.

En macollaje se extrajeron muestras del sistema radical de trigo. Se determinó su peso seco y la concentración de fósforo. Los tejidos vegetales se molieron a 0.05 mm de tamaño de partícula para su calcinación (500°C por 36 hs) y posterior colorimetría para la determinación del contenido de fósforo (Murphy y Riley 1962). Se determinó el porcentaje de micorrización radical a través del método de intercepción en cuadrícula (Newman 1966). Las raíces se tiñeron con azul de tripán y se estimó su longitud total y la longitud infectada por estructuras fúngicas.

Los efectos de los tratamientos sobre cada una de las variables determinadas fueron evaluados estadísticamente a través de ANOVA factorial. Las medias significativamente diferentes entre sí se compararon por test LSD ($p < 0.05$). Para analizar el porcentaje de micorrización cumpliendo los supuestos del ANOVA, se calculó la raíz cuadrada del arco seno de los valores porcentuales (Jansa et al. 2008) aunque gráficamente se representen los porcentajes. La relación entre variables se estimó a través del análisis de correlación de Pearson ($p < 0.05$).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se observaron diferencias en la micorrización según el sistema de labranza y la fertilización. Con cultivo de cobertura las raíces de trigo mostraron un mayor nivel de micorrización que las raíces de los tratamientos de siembra directa y labranza, independiente de la fertilización (Figura 3). Estos resultados coinciden con numerosas investigaciones en las que se observó que la inclusión de cultivos de cobertura invernales en la rotación mantiene elevados niveles de inóculo en el suelo con lo cual la micorrización en los cultivos siguientes es mayor (Thompson 1987; 1991; Kabbir y Koide, 2000). Se destaca que en ausencia de fertilización el porcentaje de micorrización en sistema con labranza es mayor que su par con fertilización. Sin embargo, los niveles de micorrización son notablemente inferiores a la rotación con cultivo de cobertura invernal (Figura 3). En coincidencia con los resultados de otros investigadores, la roturación del suelo afectó negativamente el potencial micorrícico del suelo (Schalamuk et al. 2003, 2006).



La concentración de fósforo en la raíz de trigo se mantuvo dentro de un estrecho rango de valores: 2.06 gP/kg MS y en el trigo con fertilización la concentración de fósforo fue de 1.99 gP/kg MS. Estos valores no difieren estadísticamente entre sí ($p > 0.05$). La Figura 4 demuestra la relación existente entre el grado de micorrización de las raíces y la absorción de fósforo del suelo. Se observa que en el sistema de labranza con remoción del suelo la concentración de fósforo de las raíces está relacionada positivamente con el porcentaje de micorrización de las raíces ($r = 0.99$). Esto permite suponer que después de más de 10 años de producción de cultivos sin fertilización, las raíces de trigo mantienen concentraciones de fósforo similares a aquellas plantas que recibieron fertilización gracias a la simbiosis establecida con las micorrizas (eje “y” en Figura 4). Cabe destacar que estos resultados se encuentran en etapas iniciales de investigación y por lo tanto son exploratorios y de carácter preliminar. No se han hallado antecedentes donde hayan observado este tipo de relaciones en suelos de elevada disponibilidad de fósforo Bray como en el que se realizó este trabajo. En los sistemas de siembra directa se observó que el porcentaje de micorrizas se correlacionó negativamente con la concentración de fósforo de la raíz (Figura 4). Este hecho puede ser atribuido a dos razones: la primera es que el valor de concentración de fósforo de una célula radical no puede crecer más allá de cierto límite a pesar de que las micorrizas faciliten su absorción. Esto se sustenta en que el nivel de micorrización en este sistema es superior al observado en suelos de menor disponibilidad de fósforo (Covacevich et al. 2006, Schalamuk et al. 2003; 2006). En segundo lugar, no todas las micorrizas contribuyen a la absorción de fósforo del suelo. Jansa et al. (2008) observaron que especies de micorrizas altamente infectivas no eran eficientes solubilizadoras de fósforo del suelo sino que cumplen otras funciones. Este tema será motivo de posteriores trabajos de investigación ya que estos resultados permiten suponer que el potencial micorrícico del suelo de este ensayo es elevado. Al incluir un cultivo de cobertura en la rotación aumenta el porcentaje de raíces micorrizadas a niveles tan elevados (más del 50%) que no se correlacionan con la concentración de fósforo de las células radicales del cultivo de trigo.

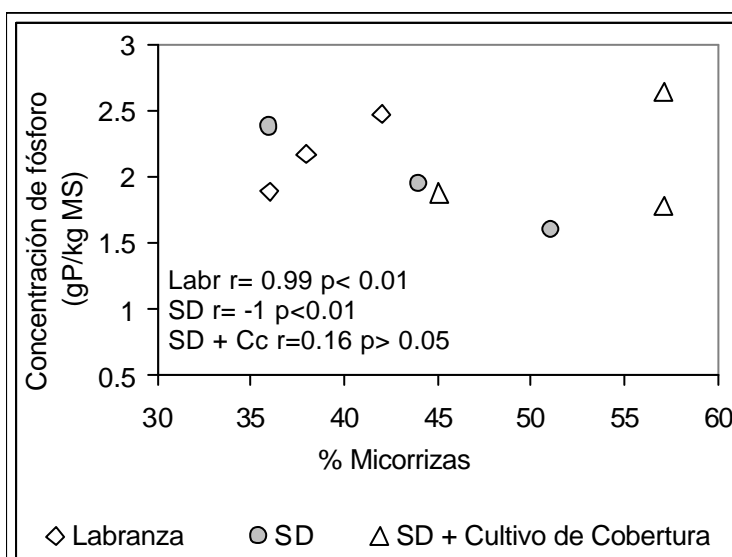


Figura 5: Relación entre la concentración de fósforo de raíces de trigo y el porcentaje de micorrización de plantas que no recibieron fertilización. r es el coeficiente de correlación de Pearson y p es el p -value es significativo si $p < 0.05$.

CONSIDERACIONES FINALES Y FUTURAS LINEAS DE INVESTIGACIÓN

En esta experiencia preliminar se observó que los sistemas de labranza afectan el potencial de micorrización del suelo. Cuando en la misma rotación los períodos de barbecho invernales fueron sustituidos por cultivos de cobertura, la micorrización del trigo fue superior. Queda por profundizar la relación entre la micorrización y la absorción de fósforo del suelo. Los resultados que se mostraron anteriormente son netamente preliminares y aún restan más investigaciones para verificarse. En este sentido, continuará investigándose: a) la relación entre las micorrizas y la absorción de fósforo del suelo del cultivo, b) identificación de especies de micorrizas del suelo de Marcos Juárez y c) las funciones que desempeñan las micorrizas en los cultivos fertilizados con fósforo.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece especialmente al Ing. Agr. Carlos Galarza que coordina el ensayo sobre el cual se realizó esta investigación. Este trabajo fue financiado por la Asociación Cooperadora de la EEA Marcos Juárez y el Proyecto Regional de Gestión Ambiental CORDO 04 que coordina el Ing. Hugo Marelli.

BIBLIOGRAFÍA

- Abbot L.K y A.D. Robson.** 1991. Factors influencing the occurrence of vesicular-arbuscular mycorrhizas. *Agriculture Ecosystems and Environment*. 35: 121-150
- Coyne M.** 1999. *Soil Microbiology: An exploratory approach*. Delmar Publishers. 462 pag.
- Jansa J., F.E. Smith y S.E. Smith.** 2008. Are there benefits of simultaneous root colonization by different arbuscular mycorrhizal fungi? *New Phytologist* 177: 779-789
- Kabir Z. y R.T. Koide.** 2000. The effect of dandelion or a cover crop on mycorrhiza inoculum potencial, soil aggregation and yield of maize. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 78: 167-174
- Murphy J. y J.P. Riley.** 1962. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta* 27: 31-36
- Newman, E.I.** 1966. A method of estimating the total length of root in a sample. *Journal of Applied Ecology*. 3:139
- Peterson R.L., H.B. Massicotte y L.H. Melville** . 2004. Arbuscular mycorrhizas. En: *Mycorrhizas: Anatomy and Cell Biology*. NRC-CNRC. Research Press. Ottawa. Canada. Chap.3: 57-79
- Schalamuk S, S. Velásquez, H. Chidichimo y M. Cabello.** 2003. Efecto de la siembra directa y labranza convencional sobre la colonización micorrízica y esporulación en trigo. *Boletín Micológico* 18: 15-19
- Schalamuk S, S. Velásquez, H. Chidichimo y M. Cabello.** 2006. Fungal spore diversity of arbuscular mycorrhizal fungi associated with spring wheat: effects of tillage. *Mycologia* 1: 22–28.
- Thompson, J.P.** 1987 Decline of vesicular-arbuscular mycorrhizal in long fallow disorder of field crops and its expression in phosphorus deficiency of sunflower. *Austr. J. Agric. Res.* 38: 847-867.
- Thompson, J.P.** 1991 Improving the mycorrhizal conditions of the soil through cultural practices and effects on growth and photphorus uptake by plants. 117-137 pp. En: Johansen, C.; Lee, K.K. & Sahrawat, K.L. (eds.) *Phosphorus*

nutrition of grain legumes in the semiarid tropics. International Crops Research
Institute for the Semi-Arid Tropics (ICRISAT) Patancheru, India.