

# CRECIMIENTO Y MICORRIZACIÓN ARBUSCULAR NATIVA DE TRIGO EN SIEMBRA DIRECTA BAJO DISTINTAS FORMAS DE COLOCACIÓN DE FÓSFORO

FERNANDA COVACEVICH<sup>1</sup>; HERNÁN SAINZ ROZAS<sup>1</sup>; PABLO BARBIERI<sup>1,2</sup> & HERNÁN ECHEVERRÍA<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Unidad Integrada INTA-FCA Balcarce, <sup>2</sup> Tesista doctorado Facultad de Ciencias Agrarias -UNMDP; C.C. 276, (7620) Balcarce, Argentina. Tel. 02266-439100. E-mail: covac@mdp.edu.ar

Recibido: 20/12/07

Aceptado: 11/08/08

## RESUMEN

En cultivos de trigo (*Triticum aestivum* L) bajo siembra directa (SD), el rendimiento del cultivo fertilizado con fósforo (P) en forma anticipada en superficie no difiere significativamente del rendimiento del cultivo fertilizado en la línea de siembra. Se desconoce las causas que podrían explicar este comportamiento. Si bien son contradictorios los reportes del efecto de la labranza sobre la colonización de las raíces por hongos micorrícicos arbusculares (HMA), es aceptado que bajo SD la micorrización nativa es siempre elevada. El establecimiento de la simbiosis bajo SD podría contribuir al crecimiento del cultivo. Sin embargo se desconoce el efecto de la localización del fertilizante sobre la colonización por HMA en el cultivo de trigo bajo SD. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la dosis y localización de P sobre el crecimiento y la colonización espontánea por HMA en el cultivo de trigo bajo SD. En un lote bajo SD con 13,9 mg kg<sup>-1</sup> de P-Bray se compararon los siguientes tratamientos: 0 (NP0), 25 (NP25) y 50 P kg ha<sup>-1</sup> (NP50), colocado debajo y adyacente a la línea de siembra (inc) y al voleo (vol) tres meses antes de la siembra; además se adicionó un control absoluto (N0P0) y un tratamiento con 150 kg de P ha<sup>-1</sup> al voleo anticipado (NP150 vol). Excepto el tratamiento N0P0, todos los demás se condujeron sin deficiencias de N. En macollaje y espigazón se determinó el crecimiento y la concentración de P en la parte aérea, el porcentaje de colonización micorrícica arbuscular (MA), el contenido de arbusculos (A) en raíces y el P-Bray a dos profundidades (0-10 y 10-20 cm) del suelo. La fertilización con P incrementó la concentración de P en el suelo (0-10 cm) y en la planta. La aplicación de 25 y 50 kg P ha<sup>-1</sup> disminuyó el porcentaje de MA y A, para ambos momentos y profundidades de muestreo, principalmente para las aplicaciones localizadas. La micorrización espontánea se asoció negativamente con el contenido de P en el suelo y en la planta. Se determinó una elevada relación ( $r^2= 0,85$ ) entre la colonización MA y el contenido de P-Bray (0-20 cm) en el suelo, siendo la tasa de disminución de la colonización MA mayor en el rango de 6 a 13 mg kg<sup>-1</sup> de P-Bray. A niveles similares de P-Bray, la aplicación de P al voleo disminuyó en menor medida la colonización por HMA comparado con la aplicación en la línea de siembra. Este comportamiento contribuiría a explicar la falta de diferencias en rendimiento entre las dos formas de colocación de P en suelos bajo SD con niveles bajos de P.

**Palabras clave.** Localización de fósforo, colonización micorrízica, siembra directa, *Triticum aestivum*.

## PHOSPHORUS PLACEMENT EFFECT ON GROWTH AND INDIGENOUS MYCORRHIZAL COLONIZATION OF WHEAT UNDER NO-TILLAGE

### ABSTRACT

Wheat (*Triticum aestivum* L.) yields of crops under no-tillage (NT) that have had broadcast phosphorus (P) applications do not differ from NT wheat crops that have had near-the-seed banded P applications. Although it is believed that an adequate colonization of roots by arbuscular mycorrhiza (AM) under NT could contribute to a better crop growth, the effect of P placement on the AM colonization of a wheat crop under NT is unknown. The objective of the study was to evaluate the influence of P fertilizer placement (banded or broadcast) on growth and the AM indigenous colonization of wheat under NT. The experiment was carried out in a soil with 13.9 mg kg<sup>-1</sup> Bray-P and the treatments were: 0 (NP0), 25 (NP25) and 50 kg P ha<sup>-1</sup> (NP50), banded (inc) at planting or broadcast (vol) three months before planting. In addition, two treatments were included: one without fertilizer application (N0P0) and another with 150 kg of P ha<sup>-1</sup> broadcast (NP150 vol). Aerial plant P concentration and biomass production, percentage of AM in roots, arbuscules content (A) and soil Bray-P availability was evaluated in tillering and stem elongation at two soil depths (0-10 and 10-20 cm). Phosphorus fertilization increased the soil P content (0-10 cm) and the plant P content. At the two soil depths, fertilization with 25 and 50 kg P ha<sup>-1</sup> depressed AM and A as compared to the unfertilized treatments, mainly when the P was banded. Mycorrhizal colonization was negatively associated with the soil and plant P contents. We found a high ( $r^2= 0.85$ ,  $P<0.05$ ) relationship among AM and the soil P content (0-20 cm). The rate of AM colonization was slower in the 6-13 mg kg<sup>-1</sup> soil P-Bray range. In situations with similar soil P contents, treatments with P inc produced a smaller AM colonization compared to the broadcast P treatments. This could explain the lack of grain yield response between different P placements in soils under NT with low P contents.

**Key words.** Phosphorus placement, mycorrhizal colonization, no tillage, *Triticum aestivum*.

## INTRODUCCIÓN

La fertilización fosfatada en el cultivo de trigo es una práctica generalizada en los suelos del sudeste (SE) de la provincia de Buenos Aires (Argentina) debido a la baja disponibilidad de fósforo (P) asimilable nativo en el suelo (Echeverría & García, 1998). Varios factores pueden afectar la respuesta a la forma de aplicación de P en trigo tales como su disponibilidad inicial en el suelo, la dosis de P, la fecha de siembra, el tipo de labranza y la riqueza microbiana del suelo (Stewart, 2000).

En suelos del SE bonaerense bajo siembra directa (SD) y con 8-9 mg kg<sup>-1</sup> de P disponible (P-Bray), la aplicación de P debajo y al costado de la línea de siembra, no incrementó el rendimiento ni la acumulación de P en planta respecto de la aplicación al voleo en forma anticipada (Sainz Rozas *et al.*, 2004). Por el contrario, bajo labranza convencional (LC) se determinó que la aplicación en línea resultó ser más eficiente que la aplicación al voleo, principalmente para niveles de P-Bray que variaron de 5 a 11 mg kg<sup>-1</sup> de P-Bray (Covacevich *et al.*, 2005). Se desconocen las causas que podrían explicar este diferente comportamiento. Bajo SD se incrementa el contenido de materia orgánica (MO) y de P en las capas más superficiales del suelo respecto a la LC, estratificación que es evidente al poco tiempo de implementada la SD (Calviño *et al.*, 2002). Así mismo, dicha estratificación generalmente es acompañada por una distribución diferencial de los microorganismos del suelo a lo largo del perfil (Fierer *et al.*, 2003).

Los hongos micorrícicos arbusculares (HMA) pertenecientes al Orden Glomerales, forman asociaciones simbióticas con las raíces de la mayoría de las plantas de interés agrícola (Schüssler *et al.*, 2001). Dicha simbiosis promueve una mayor eficiencia en la absorción radical de nutrientes, en particular los de baja movilidad como P, incrementando de esta manera la nutrición y crecimiento de los cultivos (Smith & Read, 1997; Jeffries *et al.*, 2003; Quilambo, 2003; Rillig & Mummey, 2006).

A pesar de la importancia de la producción agrícola en la Región Pampeana, aún es escasa la información en nuestros agroecosistemas sobre los HMA, en particular de como las prácticas agrícolas afectan el desarrollo de la micorrización. Se ha informado que factores como la fertilización fosfatada, así como el tipo de labranza, por su efecto sobre la temperatura del suelo, la estratificación de materia orgánica (MO) y del P afectan la micorrización (Grant *et al.*, 2004; Covacevich *et al.*, 2006; Covacevich *et al.*, 2007).

En la provincia de Buenos Aires, se ha determinado para cultivos de trigo bajo diferentes sistemas la presencia de HMA nativos en pertenecientes a los géneros

*Acaulospora*, *Archaeospora*, *Entrophospora*, *Gigaspora*, *Glomus* y *Scutellospora* (Menéndez *et al.*, 2001; Schalamuk *et al.*, 2006; Covacevich *et al.*, 2007). Algunos trabajos han evaluado los efectos de los sistemas de cultivo sobre la composición de HMA en sistemas naturales y cultivados de la zona de La Plata, provincia de Buenos Aires (Menéndez *et al.*, 2001; Schalamuk *et al.*, 2006). Si bien ha sido reportado que la labranza altera la población de HMA, la composición de especies y la colonización micorrícica (Kurle & Pflieger, 1996; Wardle, 1995; Hendrix *et al.*, 1990). Schalamuk *et al.* (2006, 2007) han determinado para cultivos de trigo fertilizados con nitrógeno (N) sin P, que la ausencia de labranza no promovió una mayor riqueza específica o equidad en la distribución de las especies de HMA. Mc Gonigle *et al.* (1990), también demostraron que la disturbancia del suelo no afectó la micorrización en maíz ni alfalfa en condiciones de macetas ni de campo, respectivamente.

En cuanto a la fertilización fosfatada, se ha monitoreado la colonización micorrícica espontánea en el cultivo de trigo del sudeste bonaerense crecido bajo LC y se ha evidenciado que la aplicación de dosis crecientes de P en línea incrementó el contenido de P en el suelo y el crecimiento del trigo (Covacevich *et al.*, 2007). Si bien son escasos los reportes del efecto de la localización de P sobre el grado de micorrización en trigo, se ha determinado que la aplicación en línea afectó negativamente la micorrización en mayor medida que la aplicación de P al voleo en cultivos de trigo bajo LC (Covacevich *et al.*, 2005). En condiciones bajo SD se desconoce como afecta la forma de aplicación del fertilizante fosfatado sobre el grado de micorrización arbuscular espontánea del cultivo de trigo, y si esto podría evidenciar las diferentes respuestas de crecimiento en los distintos sistemas de cultivo. Resulta necesario evaluar la mejor estrategia de fertilización que permita incrementar el rendimiento del trigo en distintos sistemas de cultivo sin afectar negativamente las poblaciones micorrícicas nativas.

El objetivo del trabajo fue evaluar la colonización micorrícica espontánea en trigo en función de dosis y formas de aplicación de P (en línea incorporado *versus* al voleo) bajo SD, así como sus relaciones con el contenido de P del suelo en dos profundidades y con el contenido de P en la planta.

## MÉTODOS

El experimento se realizó en Necochea en la estación de crecimiento 2003 sobre un lote bajo SD por más de 5 años. El suelo fue un Hapludol típico con un horizonte superficial (0-20 cm) de textura franca con 5,7% de MO y 13,9 mg kg<sup>-1</sup> de P-Bray al

momento de la siembra. La variedad utilizada fue Klein Dragón sembrada el 12 de agosto con una densidad de 400 pl m<sup>-2</sup>. El diseño experimental fue en bloques completamente aleatorizados con tres repeticiones, los tratamientos resultaron de una combinación factorial de P (0, 25 y 50 kg ha<sup>-1</sup>) y método de colocación (incorporado en la línea de siembra -inc- y al voleo anticipado -vol-), además se adicionaron un control absoluto sin aplicación de fertilizantes (NOP0) y un tratamiento con 150 kg de P ha<sup>-1</sup> aplicado al voleo (NP150vol). El ensayo se condujo sin limitaciones de nitrógeno y azufre. La fuente de P utilizada fue superfosfato triple (0-46-0) y la aplicación al voleo se realizó con 3 meses de anticipación. El N se aplicó como urea (46-0-0) al voleo a la siembra del cultivo a efectos de elevar el contenido N mineral inicial (0-60 cm de profundidad) a 160 kg de N ha<sup>-1</sup>. Para la zona estos valores no limitan el crecimiento del cultivo (Calviño *et al.*, 2002). Se efectuó adecuado control de malezas y enfermedades. La aplicación de herbicidas se realizó con mochila en el mes de septiembre: Misil II (6,7 g ha<sup>-1</sup> de Metsulfuron metil más 0,1 L ha<sup>-1</sup> de Dicamba, más coadyuvante). La aplicación de funguicidas se efectuó en espigazón: Duett® (BASF) a razón de 1 L ha<sup>-1</sup> y 225 L H<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>.

Se realizaron muestreos en macollaje y espigazón (antes de la aplicación del funguicida), en cada muestreo se colectaron muestras de material vegetal, de raíces y de suelo. La biomasa aérea fue extraída de cada parcela colectando 4 m lineales en 4 sectores al azar. Las muestras de material vegetal fueron colocadas en estufa a 60 °C hasta su completo secado y se cuantificó la producción de peso seco aéreo (PSA) por gravimetría. Parte del material fue procesado para determinar el contenido de P en la parte aérea de acuerdo a la metodología de Walinga *et al.* (1995). Para la colecta de raíces se extrajeron cuatro cilindros (dos del surco y dos del entresurco) de suelo de 5 cm de diámetro por 20 cm de profundidad por parcela. Cada cilindro fue separado en dos subfracciones 0-10 y 10-20 cm de profundidad de suelo. Cada subfracción fue colocada en bolsas de polietileno, las muestras fueron homogeneizadas y analizadas separadamente de acuerdo a la profundidad de la cual fueron extraídas. Para cada profundidad, se separó el suelo de las raíces y estas últimas fueron lavadas con agua, y el material radical fue recolectado en su totalidad mediante tamices de 2 mm. Posteriormente, las raíces fueron teñidas con azul tripán (Phillips & Hayman, 1970) y se realizó la cuantificación microscópica (Trouvelot *et al.*, 1986) del porcentaje de colonización micorrícica arbuscular (MA) y del contenido de arbuscúlos (A). Para cada muestra, el suelo colectado de cada profundidad fue utilizado para la determinación del contenido de P disponible (Bray & Kurtz, 1945). En madurez fisiológica se determinó el rendimiento cosechando de cada parcela una superficie de 1 m<sup>2</sup>. Las muestras fueron secadas en estufa a 60 °C, posteriormente se separaron los granos del material vegetal y se cuantificó el peso seco de granos (PSG) expresándose el mismo al 14% de humedad y el PSA. Cada fracción fue procesada para cuantificar el contenido P por digestión y posterior cuantificación colorimétrica (Walinga *et al.*, 1995).

Los resultados fueron analizados mediante ANOVA, las medias de tratamientos fueron separadas por el test de Duncan (P<0,05). Las relaciones entre el contenido de P en el suelo y en la planta, y el grado de micorrización fueron realizadas utilizando los programas Proc CORR (SAS, 1998). Se generó una curva que evidencia la tasa de disminución de la colonización por HMA con los contenidos de P-Bray en el suelo utilizando el paquete estadístico Table Curve (Jandel TBL curve, 1992).

## RESULTADOS

Las precipitaciones registradas durante la estación de crecimiento no limitaron el rendimiento del cultivo. El mayor rendimiento en grano se obtuvo para la aplicación de 150 kg P ha<sup>-1</sup> al voleo (6.537 kg ha<sup>-1</sup>) y no se determinaron respuestas diferenciales en el rendimiento en función de la forma de colocación del P (NP0= 5.171; NP25 inc = 6.151 kg ha<sup>-1</sup>, NP25 vol = 6.427 kg ha<sup>-1</sup>, NP50 inc = 6.952 kg ha<sup>-1</sup>, NP50 vol = 6.620 kg ha<sup>-1</sup>, NOP0= 4.907 kg ha<sup>-1</sup>) (Fernández Palma, comunicación personal), resultados que coinciden con lo reportado por Sainz Rozas *et al.* (2004).

La mayor disponibilidad de P en el suelo se registró en los 10 primeros centímetros del perfil, mientras la colonización micorrícica (MA y A), si bien no son comparables, no varió entre las fracciones 0-10 y 10-20 cm de profundidad (Tabla 1). En los dos momentos de muestreo, la fertilización con P incrementó la concentración de P en el suelo en los 10 primeros cm del perfil y en la planta (tanto en material vegetal como en grano), y los mayores contenidos se determinaron con la aplicación anticipada de 150 kg P ha<sup>-1</sup> al voleo (Tablas 1 y 2). La fertilización con 50 kg P ha<sup>-1</sup> en la línea de siembra ocasionó mayores contenidos de P en la planta en relación a las aplicaciones al voleo, sin embargo esto ocurrió solo en macollaje (Tabla 2). Para el P-Bray (0-10 cm), si bien las diferencias no fueron significativas, la aplicación de P en la línea de siembra ocasionó mayores contenidos de P en el suelo que las aplicaciones al voleo. En general no se determinaron diferencias en el contenido de P en el suelo entre dosis de P y formas de aplicación en la fracción 10-20 cm, dado que solo se determinó diferencia entre la dosis de 150 kg P ha<sup>-1</sup> al voleo y el testigo en el muestreo realizado al macollaje (Tabla 1).

Los tratamientos sin aplicación de P mostraron los mayores porcentajes de colonización micorrícica (Tabla 1). En general, la aplicación de 25 y 50 kg P ha<sup>-1</sup> en la línea de siembra disminuyeron la MA y A, para ambos momentos y profundidades de muestreo. Sin embargo, el incremento en la dosis de P no produjo disminuciones tan marcadas en la MA y el A respecto del tratamiento NP0 cuando el P fue aplicado al voleo. Más aún, en los primeros 10 cm de profundidad, la aplicación de 150 kg P ha<sup>-1</sup> al voleo mostró valores de MA y A mayores que las dosis de 25 y 50 kg P ha<sup>-1</sup> en la línea de siembra, para el muestreo realizado al macollaje. La aplicación de N no deprimió la micorrización en ninguno de los momentos evaluados (Tabla 1).

Tanto el P en el suelo (0-10 cm) como en la planta se asociaron negativamente con la micorrización espontánea (0-10 cm) del cultivo (MA/P-Bray macollaje r = -0,37, espigazón r = -0,58; MA/P planta macollaje r = -0,69,

Tabla 1. Contenido de fósforo en el suelo (P-Bray), porcentaje de colonización micorrícica (MA) y porcentaje de arbusculos (A) en el cultivo de trigo bajo siembra directa en dos momentos de muestreo.

*Tratamientos:* N: nitrógeno; P: fósforo; 0, 25, 50, 150: aplicaciones de 0, 25, 50, 150 kg P ha<sup>-1</sup>; inc: incorporado; vol: voleo.

Table 1. Soil P content (P-Bray), mycorrhizal colonization (MA) and arbuscules content (A) of wheat under no-tillage.

*Treatments:* N: nitrogen; P: phosphorus; 0, 25, 50, 150: fertilization with 0, 25, 50, 150 kg P ha<sup>-1</sup>; inc: banded; vol: broadcast.

Profundidad (cm)	Tratamiento	Macollaje			Espigazón		
		P-Bray mg kg <sup>-1</sup>	MA %	A %	P-Bray mg kg <sup>-1</sup>	MA %	A
0-10	NP0	12,67 c	19,03 a	7,37 a	13,03 b	46,35 a	18,55 a
	NP25 inc	19,14 bc	1,70 c	0,77 b	17,56 b	22,97 ab	4,70 b
	NP50 inc	38,01 b	0,70 c	0,27 b	30,98 ab	16,97 b	4,27 b
	NP25 vol	21,20 bc	9,27 ab	3,63 ab	36,39 ab	26,20 ab	7,90 ab
	NP50 vol	27,27 bc	14,15 ab	7,40 a	18,92 b	25,33 ab	8,67 ab
	NP150 vol	61,23 a	3,80 b	1,97 ab	44,85 a	8,30 b	3,63 b
	N0P0	14,69 c	18,25 a	7,10 a	18,62 b	43,47 a	16,77 a
10-20	NP0	3,51 b	20,20 ab	5,85 ab	4,57 a	31,07 ab	13,83 a
	NP25 inc	4,72 b	3,87 c	1,67 b	4,13 a	21,80 ab	9,03 a
	NP50 inc	5,19 b	2,10 c	0,85 b	5,05 a	19,15 bc	10,00 a
	NP25 vol	4,97 b	7,50 c	3,90 ab	12,51 a	24,67 ab	8,03 a
	NP50 vol	5,19 b	12,40 bc	5,40 ab	5,89 a	23,00 ab	7,20 a
	NP150 vol	8,03 a	3,53 c	1,60 b	9,20 a	6,60 c	1,80 a
	N0P0	3,65 b	25,60 a	8,90 a	7,37 a	34,10 a	11,10 a
0-10	Promedio	27,75 A	8,86 A	3,74 A	25,76 A	26,12 A	8,75 A
10-20	Promedio	5,04 B	9,86 A	3,73 A	6,96 B	23,97 A	9,01 A

Para cada momento de muestreo y para cada profundidad valores en columnas con letras minúscula distintas muestran diferencias significativas entre tratamiento de fertilización. Para cada momento de muestreo valores en columnas con letras mayúscula distintas muestran diferencias significativas entre profundidades. Test de Duncan ( $P < 0,05$ ).

Different small letters in the same column show significant differences among fertilization treatments for each sampling moment and soil depth. At each sampling moment, capital letters in the same column show significant differences among soil depths ( $P < 0,05$ ) according to Duncan's test.

espigazón  $r = -0,41$ ,  $P < 0,050$ ). Para evidenciar el efecto de la colocación y dosificación de P sobre la relación entre la colonización micorrícica y el contenido de P en el suelo, los resultados fueron combinados y expresados como promedios para los dos muestreos y profundidades evaluados. Como resultado de ello, se determinó una elevada relación ( $r^2 = 0,85$ ) entre la MA y el contenido de P-Bray (0-20 cm) en el suelo (Fig. 1). La tasa de disminución de la MA fue mayor en el rango de valores de 6 a 13 mg kg<sup>-1</sup> de P-Bray, disminuyendo por encima de este último valor. En general, a niveles similares de P-Bray, los valores de MA para la colocación de P al voleo se ubicaron por encima de la línea de tendencia, lo que indicaría nuevamente que la colocación de P al voleo disminuyó en menor medida la colonización MA que las aplicaciones en la línea de siembra.

## DISCUSIÓN

Varias investigaciones han demostrado que la colonización de raíces por hongos micorrícicos incrementa la absorción de P por las plantas dado que estos incrementan la superficie de absorción de las raíces (Pfleger & Linderman, 1996; Quilambo, 2003; Karandashov & Bucher, 2005; Rillig & Mummey, 2006; Javot *et al.*, 2007). Este efecto es de particular importancia en estados tempranos del crecimiento de los cultivos y en condiciones de baja disponibilidad de P en el suelo (Miller, 2000; Quilambo, 2003). Por otra parte, ha sido citado que el manejo de los cultivos tales como la labranza, fertilización pueden afectar la micorrización (Pfleger & Linderman, 1996). En cuanto a la labranza si bien algunos reportan efectos negativos del laboreo argumentando que este actúa

Tabla 2. Concentración de fósforo (P) en la materia seca aérea (MSA) y en el grano de trigo bajo siembra directa

*Tratamientos:* N: nitrógeno; P: fósforo; 0, 25, 50, 150: aplicaciones de 0, 25, 50, 150 kg P ha<sup>-1</sup>; inc: incorporado; vol: voleo.

Table 2. Phosphorus (P) concentration of shoot dry matter (MSA) and wheat grain under no tillage

*Treatments:* N: nitrogen; P: phosphorus; 0, 25, 50, 150: fertilization with 0, 25, 50, 150 kg P ha<sup>-1</sup>; inc: incorporated; vol: broadcast.

Tratamiento	P MSA mg kg <sup>-1</sup>			P Grano
	Macollaje	Espigazón	Madurez	
NP0	1,934 cd	2,658 ab	253 b	3,264 b
NP25 inc	3,522 b	2,291 bc	400 b	3,777 a
NP50 inc	4,174 ab	2,518 bc	412 b	3,701 a
NP25 vol	2,617 c	2,589 ab	422 b	3,576 ab
NP50 vol	3,544 b	2,693 ab	391 b	3,597 ab
NP150 vol	4,480 a	3,117 a	656 a	3,877 a
N0P0	1,697 d	1,957 c	227 b	3,633 ab

Para cada momento de muestreo valores en columnas con letras distintas muestran diferencias significativas entre tratamientos de fertilización de acuerdo al test de Duncan ( $P < 0,05$ )

At each sampling moment, different letters in the same column show significant differences among fertilization treatments ( $P < 0.05$ ) according to Duncan's test.

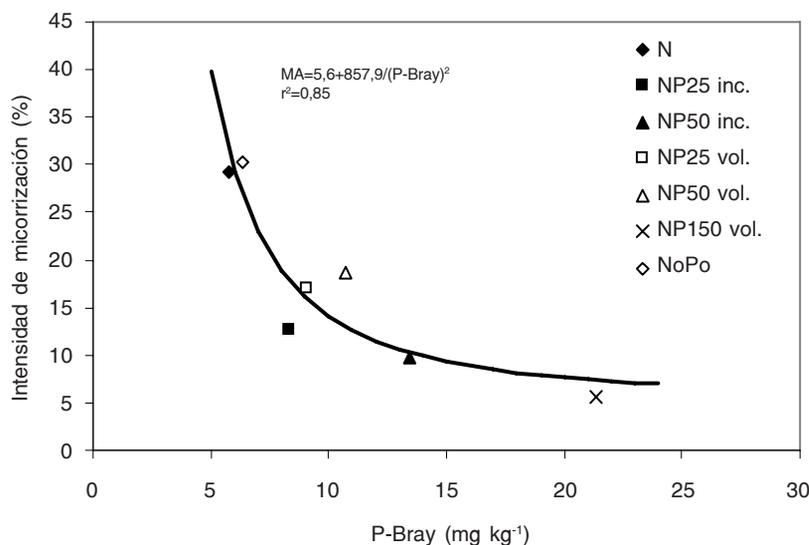


Figura 1. Colonización micorrícica arbuscular (MA) en raíces (0-20 cm) de trigo en función de la disponibilidad de fósforo (P-Bray; 0-20 cm).

*Tratamientos:* N: nitrógeno; P: fósforo; 0, 25, 50, 150: aplicaciones de 0, 25, 50, 150 kg P ha<sup>-1</sup>; inc: incorporado; vol: voleo.

Figure 1. Arbuscular mycorrhizal (MA) colonization of wheat roots (0-20 cm) as a function of the soil phosphorus (P-Bray 0-20 cm) availability.

*Treatments:* N: nitrogen; P: phosphorus; 0, 25, 50, 150: fertilization with 0, 25, 50, 150 kg P ha<sup>-1</sup>; inc: incorporated; vol: broadcast.

directamente en la disrupción de la red de hifas de los HMA (Pfleger & Linderman, 1996; Kurle & Pfleger, 1996; Wardle, 1995; Hendrix *et al.*, 1990), los resultados son contradictorios (McGonigle *et al.*, 1990; Schalamuk *et al.*, 2006, 2007). Los resultados de este trabajo no permiten concluir sobre efectos de la labranza sobre la micorrización. Sin embargo, dado que los grados de micorrización obtenidos en este trabajo fueron mayores en este ensayo que los reportados para condiciones de LC para niveles similares de aplicación de P (Covacevich *et al.*, 2005), podría inferirse una mayor micorrización en sistemas de cultivos de trigo bajo SD. En tal sentido, experimentos destinados a evaluar el efecto de la labranza sobre la micorrización, son necesarios para verificar dicha hipótesis.

Si bien en este trabajo no ha sido objetivo analizar el efecto de la aplicación de N sobre el grado de micorrización, la ausencia de diferencias significativas en el grado de micorrización y la presencia de arbusculos entre los tratamientos con y sin N (ambos sin P), permitirían afirmar que la aplicación de N no deprimió la micorrización nativa en trigo bajo SD. Resultados similares han sido mencionados para cultivos de trigo bajo LC en la zona de Balcarce, Provincia de Buenos Aires (Covacevich *et al.*, 1995). Schalamuk *et al.* (2006) tampoco encontraron diferencias en la composición de especies por la aplicación de 90 kg N ha<sup>-1</sup> para cultivos de trigo de larga duración en la zona de La Plata, provincia de Buenos Aires tanto bajo SD como en LC.

Se conoce que elevados contenidos de P en el suelo y/o en la planta resultado de la fertilización, disminuyen el potencial micorrícico del suelo y el desarrollo de la micorrización en las raíces (Baon *et al.*, 1992; Sylvia & Williams, 1992; Pfleger & Linderman, 1996; Covacevich *et al.*, 2006; Covacevich *et al.*, 2007). Grant *et al.* (2004) han determinado que la aplicación de P en línea deprimió la micorrización en cultivos de lino bajo SD en suelos de Canadá. Sin embargo, se desconocen reportes en la bibliografía sobre el efecto de la localización de P y la presencia de micorrizas nativas en el cultivo de trigo, particularmente en SD, por lo que los resultados de este trabajo constituirían aportes originales sobre la temática. Los resultados de este trabajo indican una clara depresión de la micorrización espontánea en las raíces de trigo bajo SD por las aplicaciones de P en la línea de siembra en comparación con aplicaciones al voleo. Por otra parte, si bien la mayor presencia de colonización por HMA se detectó en espigazón, las mayores diferencias de micorrización como resultado de la fertilización fosfatada se determinaron en macollaje. De esta manera, una elevada micorrización favorecida por la ausencia de labranza y aplicaciones de P al voleo, facilitaría la absorción de P por

las raíces de las plantas con su consecuente incremento de crecimiento. Esto podría explicar parcialmente la mayor producción de PSA por la aplicación de 150 kg P ha<sup>-1</sup> al voleo en estadíos tempranos del crecimiento del cultivo, así como la ausencia de diferencias de rendimiento y contenidos de P en planta entre formas de colocación de P en estadíos más avanzados del crecimiento. Esta situación podría indicar una elevada accesibilidad al P del suelo en condiciones de SD particularmente para aplicaciones al voleo.

Se ha mencionado que, contrariamente a lo determinado en este trabajo para SD, bajo LC la fertilización en la línea de siembra fue más eficiente que la aplicación al voleo para incrementar el rendimiento del trigo (Covacevich *et al.*, 2005). Resultados similares han sido reportados por Grant *et al.* (2004) en cultivos de lino fertilizados con P al voleo bajo SD en suelos con bajo contenido de P. Los resultados obtenidos en este trabajo permitirían especular que bajo SD, los HMA podrían haber funcionado como 'facilitadores' del P del suelo para la planta en las aplicaciones al voleo, el que probablemente se encontraría a mayor distancia del sistema radical en relación al P aplicado adyacente de la semilla.

Los resultados de este trabajo constituyen un aporte sobre el efecto de la forma de colocación de P bajo SD, lo que podría ser utilizado para definir estrategias de fertilización a efectos de combinar facilidades de manejo operativo en el momento de la siembra, con altos rendimientos y manteniendo la sostenibilidad de los agroecosistemas. Sin embargo, futuras experiencias deberían confirmar los resultados obtenidos, particularmente en lo relacionado a la respuesta diferencial del cultivo y efectos sobre la micorrización en situaciones de SD y LC.

## CONCLUSIÓN

La aplicación de P debajo y al costado de la línea de siembra de trigo bajo SD afectó negativamente la formación de micorrizas en mayor medida que la aplicación de P al voleo en superficie, ello explicaría la falta de respuesta en el rendimiento entre estas formas de colocación de P, aún con bajos niveles de P-Bray en el suelo.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado con recursos del PE AERN 5656 del INTA y del Proyecto AGR261/08 de la UNMP.

## BIBLIOGRAFÍA

- Baon, JB; SE Smith; AM Alston & RD Wheeler. 1992. Phosphorus efficiency of three cereals as related to indigenous mycorrhizal infection. *Aust. J. Agric. Res.* 43: 479-491.
- Blackwell Publishing Ltd.
- Bray, RH & LT Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil Sci.* 59: 360-361.
- Calviño, P; HE Echeverría & M Redolati. 2002. Estratificación de fósforo en el suelo y diagnóstico de la fertilización fosfatada en trigo en siembra directa. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur (INPOFOS)* 14: 1-4.
- Covacevich, F; H Sainz Rozas; P Barbieri & HE Echeverría. 2005. Formas de colocación de fósforo sobre el crecimiento y la micorrización espontánea del cultivo de trigo. *Ciencia del Suelo* 23(1): 39-45.
- Covacevich, F; HE Echeverría & LAN Aguirrezabal. 2007. Soil available phosphorus status determines indigenous mycorrhizal colonization of field and glasshouse-grown spring wheat from Argentina. *Applied Soil Ecology* 35: 1-9.
- Covacevich, F; HE Echeverría & YE Andreoli. 1995. Micorrización vesículo arbuscular espontánea en trigo en función de la disponibilidad de fósforo. *Ciencia del suelo* Vol. 13: 47-51.
- Covacevich, F; MA Marino & HE Echeverría. 2006. The phosphorus source determines the arbuscular mycorrhizal potential and the native mycorrhizal colonization of tall fescue and wheatgrass in a moderately acidic Argentinean soil. *Eur. J. Soil Biol.* 42(3): 127-138.
- Echeverría, HE & FO García. 1998. Guía para la fertilización fosfatada de trigo, maíz y soja. *Boletín Técnico 149*, EEA INTA Balcarce. 16 pp.
- Fierer, N; JP Schimel & PA Holden. 2003. Variations in microbial community composition through two soil depth profiles. *Soil Biol. Biochem.* 35: 167-176.
- Grant, CA; M Monreal; DD Derksen; RB Irvine; D McLaren; RM Mohr & JJ Schoenau. 2004. Cropping system impact on phosphorus management of flax. *Better Crops* 88(2): 18-20.
- Hendrix, PF; DA Crossley Jr; JM Blair & DC Coleman. 1990. Soil biota as components of sustainable agroecosystems. In: CA Edwards; R LAL; P Madden; RH Miller & G House (eds.), *Sustainable Agricultural Systems*, pp. 637-654. Soil and Water Conservation Society. USA.
- Jandel, TBLcurve. 1992. Table curve. Curve fitting software Jandel Scientific, Corte Madera, CA.
- Javot, H; N Pumplin & MJ Harrison. 2007. Phosphate in the arbuscular mycorrhizal symbiosis: transport properties and regulatory roles. *Plant, Cell and Environment* 30: 310-322.
- Jeffries, P; S Gianinazzi; S Perotto; K Turnau & JM Barea. 2003. The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. *Biol. Fertil. Soils* 37: 1-16.
- Karandashov V & MBucher. 2005. Symbiotic phosphate transport in arbuscular mycorrhizas. *TRENDS in Plant Science* 10(1): 22-29.
- Kurle, JE & FL Pflieger. 1996. The effects of cultural practices and pesticides on VAM fungi. In: FL Pflieger & RGLinderman (eds.), *Mycorrhiza and Plant Health*. The American Phytopathological Society (APS Press), St. Paul, MN, USA, pp. 101-131.
- McGonigle, TP; DG Evans & MH Millers. 1990. Effect of degree of soil disturbance on mycorrhizal colonization and phosphorus absorption by maize in growth chamber and field experiments. *New Phytol* 116: 629-636.
- Menéndez, AB; JM Scervino & AM Godeas. 2001. Arbuscular mycorrhizal populations associated with natural and cultivated vegetation on a site of Buenos Aires province, Argentina. *Biol Fertil Soils* 33: 373-381.
- Miller, MH. 2000. Arbuscular mycorrhizae and the phosphorus nutrition of maize: a review of Guelph studies. *Can. J. Plant Sci* 80: 47-52.
- Pflieger, FL & RGLinderman. 1996. Mycorrhizae and plant health. In: FL Pflieger & RG Linderman (eds) APS press 344 p.
- Phillips, JM & DS Hayman. 1970. Improves procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 55: 158-161.
- Quilambo, OA. 2003. Review: The vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *African J. Biotech.* 2(12): 539-546.
- Rillig, MC & DL Mummey. 2006. Tansley review: Mycorrhizas and soil structure. *New Phytol.* 171: 41-53
- Sainz Rozas, H; HE Echeverría; F Fernández Palma & P Barbieri. 2004. Métodos de colocación de fósforo en el cultivo de trigo bajo siembra directa. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Junio 2004, Entre Ríos. CD 9 pp.
- SAS Institute Inc., 1988. User's Guide: Statistics Release 6.03 Ed. SAS Inst., Inc., Cary, NC.
- Schalamuk, S; H Chidichimo & M Cabello. 2007. Variaciones en la composición de especies de Glomeromycota (Fungi) en un cultivo de trigo bajo distintos sistemas de Labranza. *Bol. Soc. Argent. Bot.* 42(1-2): 45-53.
- Schalamuk, S; S Velazquez; H Chidichimo & M Cabello. 2006. Fungal spore diversity of arbuscular mycorrhizal fungi associated with spring wheat: effects of tillage. *Mycologia* 98(1): 16-22.
- Schüssler, A; D Schwarzott & C Walker. 2001. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycol. Res.* 105: 1413-1421.
- Smith, SE & DJ Read. 1997. *Mycorrhizal symbiosis*. Academic Press, San Diego, California, USA. p. 605.
- Stewart, WM. 2000. Phosphorus Fertilization of Wheat... Let's Talk Placement. In: News & Views. A regional newsletter published by the Potash & Phosphate Institute (PPI) and the Potash & Phosphate Institute of Canada (PPIC). July, 2000. pp 2.
- Sylvia, DM & SE Williams. 1992. Vesicular-arbuscular mycorrhiza and environmental stress. In: GJ Bethlenfalvay & RJ Linderman (eds.), *Mycorrhiza in Sustainable Agriculture*. ASA Spec. Publ., 54 Madison, WI, USA, pp. 101-123.
- Trouvelot, A; JL Kough & V Gianinazzi-Pearson. 1986. In: 'Physiological and genetical aspects of mycorrhizae'. V Gianinazzi-Pearson & S Gianinazzi (eds.), INRA, Paris, 101-109.
- Walinga, L; JJ van der Lee; VJGHouba; W van Vark & INovozamsky. 1995. Digestion in tubes with H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-salicylic acid-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and selenium and determination of Ca, K, Mg, N, Na, P and Zn. In: L Walinga; JJ van der Lee; VJGHouba; W van Vark & I Novozamsky (eds.), *Plant Analysis Manual*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, p. 258.
- Wardle, DA. 1995. Impact of disturbance on detritus foodwebs in agro-ecosystems of contrasting tillage and weed management practices. *Adv. Ecol. Res.* 26: 105-185.