

FORMAS DE COLOCACIÓN DE FÓSFORO SOBRE EL CRECIMIENTO Y LA MICORRIZACIÓN ESPONTÁNEA DEL CULTIVO DE TRIGO

FERNANDA COVACEVICH¹; HERNÁN RENÉ SAINZ ROZAS^{2,3}; PABLO ALBERTO BARBIERI^{1,2,3}
y HERNÁN EDUARDO ECHEVERRÍA²

¹Tesista doctorado Facultad de Ciencias Agrarias-UNMDP; ²Unidad Integrada FCA UNMDP-INTA EEA Balcarce, ³CONICET. C.C. 276, (7620) Balcarce, Argentina. Tel. 02266-439100. E-mail: covac@mdp.edu.ar

Recibido: 11/11/04

Aceptado: 17/06/05

RESUMEN

El objetivo de este trabajo ha sido evaluar el efecto de la localización de fósforo (P) aplicado a la siembra (en línea incorporado vs al voleo sobre la superficie) sobre el crecimiento y la micorrización arbuscular (MA) espontánea en el cultivo de trigo (*Triticum aestivum* L). Los experimentos se realizaron durante las estaciones de crecimiento 2001 y 2002 en cuatro establecimientos agrícolas de Balcarce y Lobería (Argentina) con diferente disponibilidad inicial de P-Bray. Los tratamientos fueron: N: nitrógeno aplicado al voleo; N al voleo y P incorporado en la línea de siembra; N y P aplicados al voleo; Control sin aplicación de fertilizantes. Cuando la disponibilidad inicial de P en el suelo fue baja (menor de 11 mg kg⁻¹), la incorporación de P fue más eficiente que la aplicación de P al voleo para incrementar el rendimiento en grano de los cultivos. Cuando la disponibilidad inicial de P fue mayor a 11 mg kg⁻¹, se obtuvieron menores diferencias en el rendimiento en grano por la localización de P. La fertilización fosfatada afectó negativamente la colonización micorrízica cuando el contenido de P en el suelo alcanzó 15,9 mg kg⁻¹. A concentraciones de P en el suelo mayores de 15,9 mg kg⁻¹, la colonización micorrízica permaneció estable al menor nivel determinado (6,85%). Si bien la aplicación de P al voleo deprimió la micorrización, la mayor depresión se registró cuando el P fue incorporado en la línea de siembra. Las menores diferencias en el rendimiento en grano obtenidas entre los tratamientos de localización de P, particularmente a contenidos de P en el suelo mayor a 11 mg kg⁻¹, podrían ser consecuencia de una mayor micorrización cuando el fertilizante fue aplicado al voleo. De esta manera, la estrategia de fertilización debería ser la aplicación del fertilizante fosfatado al voleo a dosis que permitan incrementar la disponibilidad de P (entre 11 y 15 mg kg⁻¹) para obtener altos rendimientos en el cultivo de trigo sin deprimir extremadamente la colonización micorrízica nativa. De esta manera, podría lograrse mayor simplicidad en el momento de la fertilización obteniendo adecuados rendimientos sin afectar negativamente la sostenibilidad de los agroecosistemas.

Palabras clave: localización de fósforo, colonización micorrízica, *Triticum aestivum*.

THE INFLUENCE OF PHOSPHORUS PLACEMENT ON GROWTH AND INDIGENOUS ROOT MYCORRHIZAL COLONIZATION OF WHEAT CROP

ABSTRACT

The aim of the study was to evaluate the influence of phosphorus (P) fertilizer placement (in-furrow incorporated or broadcast) on growth and root mycorrhizal colonization of wheat (*Triticum aestivum* L). Experiments were set up during the 2001 and 2002 growing seasons at four productive sites of Balcarce and Lobería with different initial availability of Bray-P. Treatments were: N: nitrogen broadcast; N broadcast and P incorporated in furrow at seedling; N and P broadcast; Control without fertilizer application. In situations with low soil P availability (lower than 11 mg kg⁻¹), the P incorporated was more efficient than the P broadcast treatment at increasing grain yield. In situations with P contents higher than 11 mg kg⁻¹, differences in grain yield were lower between the treatments of P placement. Phosphorus fertilization negatively affected mycorrhizal colonization until 15.9 mg kg⁻¹. At P concentrations higher than 15.9 mg kg⁻¹ mycorrhizal colonization remained stable at the lowest level (6.85 %). The P broadcast depressed mycorrhizal colonization; however mycorrhizal depression was lower than when P was incorporated. The lowest difference in grain yield between the P placement treatments, particularly at soil P contents higher than 11 mg kg⁻¹, could be consequence of a higher mycorrhizal colonization when P was broadcast. The fertilization strategy could be broadcast the fertilizer at rates which permit to increase the soil P at levels (between 11 and 15 mg kg⁻¹) in order to attain high yields of wheat crop without extremely depress mycorrhizal colonization. In this way, this could permit simplicity at the time of fertilization and to attain adequate grain yield taking into account the agroecosystems sustainability.

Key words: phosphorus placement, mycorrhizal colonization, *Triticum aestivum*.

INTRODUCCIÓN

Los suelos del sudeste (SE) de la Provincia de Buenos Aires presentan bajos niveles de fósforo (P) disponible nativo, por esta razón, la mayoría de los cultivos manifiestan respuesta a la fertilización

(Echeverría & Garcia 1998). La colocación de P en la línea de siembra generalmente incrementa la eficiencia de uso del nutriente respecto de la aplicación al voleo. Sin embargo, la aplicación en líneas de elevadas dosis de P puede ocasionar problemas de fitotoxicidad por la imposi-

bilidad de separar la semilla de los fertilizantes o problemas operativos por el mayor tiempo requerido para el reabastecimiento de las tolvas de las sembradoras.

Varios factores pueden afectar la respuesta a la forma de aplicación de P en trigo tales como la disponibilidad inicial de P en el suelo, la dosis de fertilizante, la fecha de siembra, el tipo de labranza, la riqueza microbiana del suelo, entre otros (Stewart, 2000). Sainz Rozas *et al.* (2004) han reportado que en suelos bajo siembra directa (SD), 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, aún en un suelo con bajo contenido de P-Bray. Por el contrario, ensayos realizados bajo labranza convencional (LC) en la región, determinaron que la aplicación de P en la línea de siembra a bajas dosis incrementó el rendimiento del cultivo de trigo respecto de la aplicación al voleo, principalmente a bajos niveles de P disponible (Berardo *et al.*, 1999), lo que coincide con lo reportado por Barber & Kovar (1985).

Ciertos mecanismos especializados entre plantas y hongos micorrízicos arbusculares (MA) del suelo podrían permitir que las raíces del trigo capten P del suelo de manera efectiva y de esta forma se incrementaría la eficiencia en la adquisición de P por la planta (Jeffries *et al.*, 2003). Sin embargo, en general la fertilización fosfatada afecta negativamente la formación de micorrizas (Pfleger & Linderman, 1996). En el sudeste bonaerense, se ha monitoreado la colonización MA espontánea en el cultivo de trigo (Covacevich *et al.*, 1995) y se ha evidenciado que la aplicación de dosis crecientes de P en línea incrementa el contenido de P en el suelo y el crecimiento del trigo, aunque afecta negativamente la micorrización.

Es indiscutible que los hongos MA podrían jugar un rol trascendente en el suelo favoreciendo el crecimiento de los cultivos. Sin embargo, la mayor captación de P y el crecimiento vegetal, se manifiestan en general en condiciones de baja disponibilidad del nutriente en el suelo (Abbot & Robson, 1991). Los suelos del SE bonaerense poseen un elevado contenido de materia orgánica y una activa biomasa microbiana (Echeverría *et al.*, 1992, 93) y en estas condiciones, se ha determinado que la micorrización nativa contribuye al crecimiento del trigo, en particular en condiciones de bajo contenido de P-Bray en el suelo (Covacevich *et al.*, 2001). Dado que la fertilización fosfatada es la práctica comúnmente utilizada para incrementar la producción del cultivo de trigo, el primer paso tendiente a evaluar la importancia de las asociaciones micorrízicas en un suelo radica en caracterizar la dinámica de la micorrización nativa asociada al manejo de fertilización.

Las características químicas y físicas de los suelos pueden afectar la respuesta a la fertilización fosfatada,

lo que puede incidir en diferencias de crecimiento y de colonización micorrízica de los cultivos. Por esta razón resulta necesario evaluar la mejor estrategia de fertilización que permita incrementar el rendimiento del trigo sin afectar negativamente las poblaciones micorrízicas nativas. Se plantea como objetivo evaluar el crecimiento y la micorrización MA espontánea en trigo ante formas de aplicación de P (en línea incorporado vs al voleo sobre la superficie).

MATERIALES Y MÉTODOS

Los experimentos se realizaron durante las estaciones de crecimiento 2001 y 2002 en los partidos de Balcarce y Lobería, en lotes de productores manejados con LC por más de tres años. Las evaluaciones durante la estación 2001 se realizaron en los establecimientos Las Amalias y La Tapera de la localidad de Balcarce. Durante la campaña 2002 en el establecimiento La Diana (Lote 5 y Lote 6), de la localidad de Lobería. Las características de los sitios, así como algunas de las pautas de manejo implementadas son detalladas en la Tabla 1.

El diseño experimental fue en bloques completamente aleatorizados con tres repeticiones, en el cual se evaluaron los siguientes tratamientos: N, N y P incorporado en la línea de siembra (NP inc), N y P al voleo (NP vol) y Control absoluto sin aplicación de fertilizantes.

La dosis de N usada en todos los sitios a la siembra varió en función del N mineral inicial (0-60 cm de profundidad), elevando dicho contenido a 160 kg de N ha⁻¹, el primer año y a 150 kg de N ha⁻¹, el segundo. Para la zona estos valores no limitan el crecimiento del cultivo (Calviño *et al.*, 2002). El N se aplicó como urea (46-0-0) al voleo a la siembra del cultivo. En todos los casos el P se aplicó como fosfato diamónico en una dosis de 120 kg ha⁻¹ (24 kg P ha⁻¹). Las unidades experimentales fueron de 2 m de ancho por 8 m de longitud para el primer año y de 4 m de ancho por 10 m de longitud para el segundo. En todos los sitios las malezas y las enfermedades de hoja fueron adecuadamente controladas. La aplicación de herbicidas se realizó con mochila en el mes de septiembre: Misil a razón de 6,7 g/ha, Dicamba 0,1L/ha, coadyugante 0,2%, y 2,4D a razón de 300 cc/ha. La aplicación de funguicidas se efectuó en espigazón: Duett® (Basf) a razón de 1 tl fung/ha y 225 L H₂O/ha.

Durante el primer año se realizó un muestreo en octubre, cuando los cultivos se encontraban en el estadio de 1-2 nudos visibles. Para el segundo año el muestreo se efectuó en el estadio de pre-doble arruga. En cada muestreo se extrajeron de cada parcela muestras de biomasa aérea (4 m lineales en sectores al azar dentro de la parcela). Se cuantificó la producción de materia seca aérea (MSA) y el contenido de P en la MSA (Blanchar *et al.*, 1965). Asimismo se extrajeron cuatro cilindros de suelo de 5 cm de diámetro por 20 cm de profundidad por parcela. Se separó el suelo de las raíces y estas últimas fueron lavadas cuidadosamente con agua, y el material radical fue recolectado en su totalidad mediante tamices de 2 mm. Posteriormente, el material radical fue teñido con azul tripán en lactofenol (Phillips & Hayman, 1970) y se realizó la cuantificación microscópica de la intensidad de micorrización y del contenido de arbusculos (Trouvelot *et al.*, 1986). Además, se extrajeron muestras para la determinación del

Tabla 1. Características químicas de los suelos de los sitios experimentales y algunas variables de manejo del cultivo de trigo.
Table 1. Soil chemical characteristic of the experimental sites, and wheat crop management.

Sitios	M.O. (0-20)	C.E. (0-20)	P (0-20)	pH (0-20)	N-NO ₃ ⁻ (0-60)	Variedad	Fecha de siembra	Densidad
	—%—	Mmhos cm ⁻¹	mg kg ⁻¹		—kg ha ⁻¹ —			sem m ²
Las Amalias	4,9	0,33	32,6	5,8	46,3	Buck Arriero	01/08/01	260
La Tapera	6,9	0,44	5,3	5,5	59,3	Buck Arrayan	02/08/01	242
La Diana L5	6,1	0,26	10,8	6,1	38,0	Buck Sureño	09/08/02	440
La Diana L6	6,8	0,26	11,4	6,0	67,0	Buck Sureño	12/08/02	440

contenido de P disponible (Bray & Kurtz, 1945). En madurez fisiológica se determinó el rendimiento cosechando de cada parcela una superficie de 1 m², expresándose el mismo al 14% de humedad.

Los resultados fueron analizados mediante ANOVA, las medias de tratamientos fueron separadas por Diferencias Mínimas Significativas ($P < 0,07$). El nivel de significancia utilizado permitió separar las medias a los efectos de obtener diferencias entre tratamientos. Las relaciones entre el rendimiento del cultivo de trigo y la intensidad de micorrización con el P del suelo fueron realizadas utilizando el programa estadístico Table Curve (Jandel TBL curve, 1992).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante los años 2001 y 2002 en la zona de Balcarce se registraron precipitaciones mayores que las históricas (Tabla 2), las que superaron a la evapotranspiración, por lo que la disponibilidad de agua no habría limitado el crecimiento y rendimiento del cultivo. Las variables climáticas restantes se mantuvieron, próximas a las históricas.

La fertilización con P incrementó la concentración de P-Bray, aunque dicha variable, en general, no fue afectada por la forma de colocación (Tabla 3). En la mayoría de

Tabla 2. Precipitaciones mensuales acumuladas, evapotranspiración potencial (ETP), temperatura y humedad relativa media del aire y radiación incidente en Balcarce durante las campañas de trigo 2001, 2002, y condiciones climáticas históricas (período 1983-2000).
Table 2. Accumulated monthly rainfall, potential evapotranspiration (ETP), mean air temperature and relative humidity, and incident radiation at Balcarce during the wheat growing seasons 2001 and 2002, and historical climatic conditions (period 1983-2000).

	Año	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Precipitaciones (mm)	2001	66,1	25,9	118,4	103,4	156,4	197,7	122,5
	2002	17,6	44,7	100,3	90,2	275,8	168,7	38,5
	1983-2000	35,5	35,6	38,6	52,0	93,0	89,1	90,5
ETP (mm)	2001	16,7	21,5	33,6	48,8	62,6	108,6	135,4
	2002	14,8	24,8	35,1	14,5	26,0	46,6	138,7
	1983-2000	20,2	23,4	38,6	59,2	78,1	110,7	136,2
Temperatura Media (°C)	2001	8,9	7,0	10,8	10,6	14,6	15,5	18,8
	2002	7,0	7,7	9,9	10,1	15,1	16,8	19,5
	1983-2000	8,6	7,9	9,7	10,6	13,9	16,3	19,0
Humedad Relativa Media (%)	2001	86,9	88,7	89,2	84,2	90,4	75,1	75,3
	2002	85,3	84,2	86,7	83,6	79,0	77,4	71,9
	1983-2000	86,0	83,7	81,7	80,1	81,4	77,0	72,5
Radiación (MJ m ⁻² d ⁻¹)	2001	5,8	5,2	7,6	11,0	11,1	21,3	23,3
	2002	6,6	6,4	7,0	12,5	16,9	19,2	23,4
	1983-2000	5,7	6,2	8,8	12,2	15,0	19,2	20,9

los sitios, la acumulación de MSA fue mayor cuando el P se aplicó en la línea de siembra respecto de la aplicación al voleo. Dicha situación se manifestó aún en los sitios en que la forma de aplicación del fertilizante no afectó el contenido de P en el suelo. Una situación prácticamente similar se ha detectado para la absorción de P por el cultivo. Este comportamiento sería debido a que la difusión del P hacia las raíces es restringida con bajas temperaturas de suelo, y por consiguiente, la aplicación de dicho nutriente cerca de las raíces incrementa el crecimiento inicial del cultivo (Stewart, 2000).

El rendimiento obtenido en cada sitio fue coincidente con los rendimientos obtenidos en la zona para cada campaña. La incorporación del fertilizante fosfatado junto con la semilla no ocasionó una mayor respuesta en el rendimiento en todos los sitios (Tabla 3). En La Tapera y La Diana L6 el rendimiento fue mayor cuando se colocó P en la línea de siembra respecto de la aplicación al voleo. En Las Amalias, sin embargo, la aplicación de P (al voleo o en líneas) no incrementó el rendimiento en comparación del tratamiento con N solo. En esas condiciones, la ausencia de respuesta a la fertilización y al método de aplicación sería consecuencia de los elevados contenidos de P inicial en el suelo (Tabla 1), los cuales fueron mayores al valor umbral reportado para la zona por Echeverría & García (1998). Estos resultados coinciden con lo reportado por Berardo *et al.* (1999) quienes determinaron un mayor rendimiento para las aplicaciones en línea en suelos con valores bajos a medios de P-Bray. Los resultados de Las Amalias y aquellos reportados por Berardo *et al.* (1999), indican que en situaciones de elevada disponibilidad de P y en donde se aplica el criterio de reposición, la aplicación del mismo podría realizarse al voleo, lo que operativamente es más conveniente. En La Diana L5, si bien la fertilización fosfatada incrementó el rendimiento, no se observó respuesta en función a la forma de colocación del fertilizante.

La intensidad de micorrización se asoció estrecha y positivamente con el contenido de arbusculos ($r = 0,92$ $P < 0,001$). Los grados menores de micorrización se registraron en Las Amalias (Tabla 3), donde el contenido inicial de P-Bray fue mayor. Como puede observarse en la Tabla 1, durante el segundo año la densidad de siembra fue prácticamente el doble que durante el primero. Si bien una mayor densidad de siembra podría incidir en un mayor número de raíces para ser colonizadas, esto no ha sido observado durante el segundo año, probablemente debido a una compensación entre el desarrollo radical y el volumen de suelo disponible (Goss *et al.*, 1993), o a que la cuantificación de la colonización micorrízica expresa el porcentaje en la cual el material radical es micorrizado, independientemente de la cantidad de raíces

involucradas. La fertilización fosfatada afectó la colonización MA espontánea del cultivo de trigo particularmente en La Tapera y La Diana L5 (Tabla 3). Los grados menores de micorrización se obtuvieron por la aplicación de P, independientemente de su forma de colocación. Sin embargo, en Las Amalias la aplicación de N también deprimió la colonización MA. En La Diana L6, los grados menores de micorrización se obtuvieron en las situaciones en que el P fue aplicado en líneas junto a la semilla.

Ha sido ampliamente citado que la aplicación de fungicidas podría afectar la formación de micorrizas. En estos ensayos se aplicó Duett cuyo principio activo es carbendazim+epoxiconazole, con acción fungicida sistémica, preventiva, curativa y erradicante. Sin embargo, los reportes sobre el efecto de dicho fungicida sobre la micorrización arbusculares es contradictoria. Schweiger & Jakobsen (1999) mencionan al fungicida Carbendazim como efectivo reductor del grado de micorrización arbuscular cuando es aplicado directamente al suelo. Por su parte, Plenchette & Perrin (1992) han determinado que el efecto de algunos fungicidas, entre los que se menciona el Carbendazim, puede ser nulo aún aplicado a elevadas concentraciones si al momento de su aplicación foliar la micorrización se encuentra bien establecida. Land *et al.* (1993) han determinado incrementos en la esporulación y el grado de micorrización en trigo por aplicaciones de fungicidas, incluido el Carbendazim. En el sudeste bonaerense, Covacevich & Dosio (2004) han determinado que la aplicación periódica de los fungicidas Carbendazim, Epoxiconazole y Azoxistrobina incrementó, en general, la formación espontánea de micorrizas arbusculares en dos híbridos de girasol. Los resultados obtenidos en estos ensayos no permiten determinar si hubo algún efecto de la aplicación del fungicida sobre la micorrización. Sin embargo, considerando que todos los tratamientos han recibido la misma aplicación de dicho fungicida, su efecto, si lo hubiere, ha sido similar en todos los tratamientos de localización de P.

En la Figura 1 se presenta el rendimiento relativo de los tratamientos que recibieron fertilizantes en función de la disponibilidad inicial de P-Bray. Los resultados fueron relativizados tomando como máximo (100%) al tratamiento donde el P fue incorporado junto a la semilla (NP inc). En bajas concentraciones de P-Bray (menores a 10 mg kg^{-1}) la aplicación de P al voleo presentó rendimientos relativos inferiores a 100%, mientras que con elevados niveles de P-Bray inicial no se observaron diferencias entre los métodos de colocación. Si bien en este estudio no hubo lotes con niveles medios de P-Bray ($12-15 \text{ mg kg}^{-1}$), en los cuales existe probabilidad de respues-

Tabla 3. Contenido de fósforo (P) Bray en el suelo, materia seca aérea (MSA), P absorbido (P abs), rendimiento en grano (RTO), intensidad de micorrización (M) y contenido de arbusculos (A) en el cultivo de trigo durante las campañas 2001 y 2002.

Table 3. Soil phosphorus (P) Bray content, shoot dry matter (MSA), P uptake (P abs), grain yield (RTO), mycorrhizal intensity (M) and arbuscule content (A) of wheat crop during the years 2001 and 2002.

Sitio	Tratamiento	P-Bray mg kg ⁻¹	MSA	P abs kg ha ⁻¹	RTO	M %	A
Las Amalias	N	22,9 a	2.123 ab	6,01 bc	4.631 a	4,9 b	2,1 ab
	NP inc	26,8 a	2.958 a	11,18 a	4.602 a	3,4 b	1,1 b
	NP vol	34,8 a	2.040 bc	7,32 b	4.902 a	4,3 b	1,3 b
	Control	29,7 a	1.189 c	3,75 c	3.467 b	10,4 a	4,9 a
	DMS	12,7	852	2,74	911	3,5	2,6
La Tapera	N	8,2 c	1.759 b	4,78 b	3.762 b	37,0 a	11,8 a
	NP inc	18,7 a	2.457 a	8,24 a	4.907 a	9,6 b	1,9 b
	NP vol	14,8 ab	2.534 a	8,94 a	3.993 b	5,7 b	1,8 b
	Control	9,8 b	1.206 c	3,5 b	3.678 b	35,2 a	11,8 a
	DMS	6,1	521	1,83	879	16,6	6,9
La Diana L5	N	10,3 b	171 c	0,58 c	4.404 b	14,9 a	5,5 b
	NP inc	16,6 a	283 a	1,44 a	5.264 a	4,6 b	2,6 b
	NP vol	19,6 a	238 b	1,12 b	5.160 a	6,9 b	3,3 b
	Control	10,3 b	160 c	0,60 c	2.747 c	19,8 a	11,4 a
	DMS	4,5	38	0,29	431	4,0	4,3
La Diana L6	N	16,5 b	180 ab	0,61 c	4.443 b	9,1 ab	5,8 a
	NP inc	25,6 a	243 a	1,19 a	5.545 a	3,5 b	2,0 a
	NP vol	21,8 ab	239 a	0,98 b	4.848 b	11,8 a	4,8 a
	Control	15,6 b	162 b	0,60 c	3.520 c	13,6 a	5,1 a
	DMS	6,0	67	0,19	641	7,5	3,9

Para cada sitio, valores en filas con letras distintas difieren significativamente (DMS: diferencia mínima significativa, P 0,07).
At each site, values in rows with different letters are significantly different (DMS: least significant difference, P 0.07).

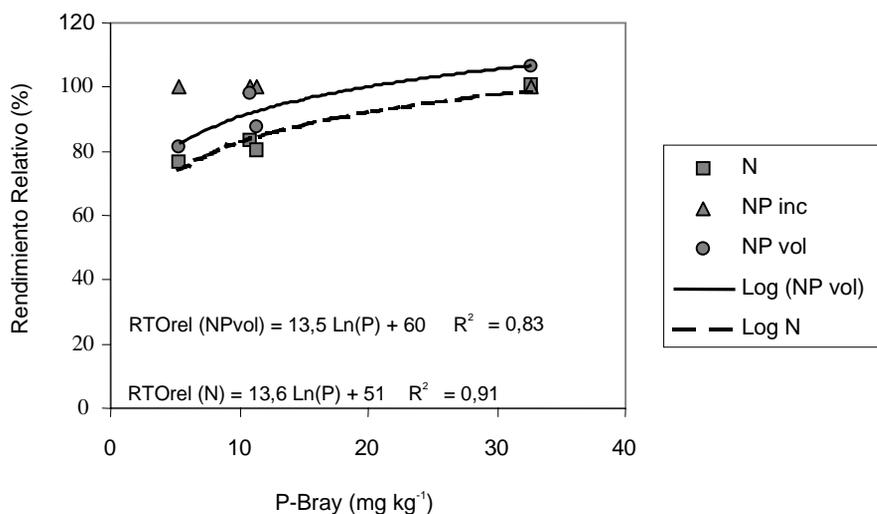


Figura 1. Rendimiento relativo (RTOrel) del cultivo de trigo en función de la disponibilidad inicial de fósforo (P-Bray) en el suelo. Tratamientos: N: nitrógeno; NP inc: nitrógeno y fósforo incorporado; NP vol: nitrógeno y fósforo al voleo.

Figure 1. Relative grain yield (RTOrel) of the wheat crop as a function of the initial availability of soil phosphorus (P-Bray). Treatments: N: nitrogen; NP inc: nitrogen and phosphorus incorporated; NP vol: nitrogen and phosphorus broadcast.

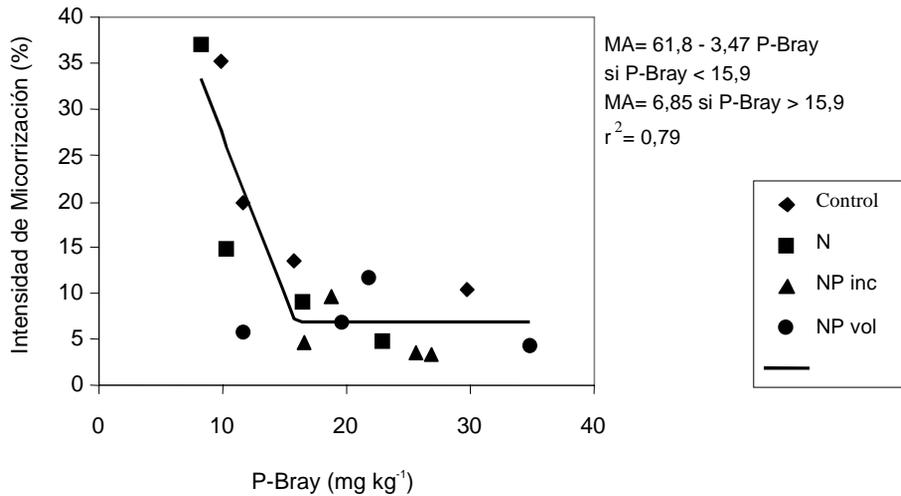


Figura 2. Intensidad de micorrización arbuscular en estadíos vegetativos del cultivo de trigo en función de la disponibilidad de fósforo (P-Bray) en el suelo.

Tratamientos: Control: sin aplicación de fertilizantes; N: nitrógeno; NP inc: nitrógeno y fósforo incorporado; NP vol: nitrógeno y fósforo al voleo.

Figure 2. Arbuscular mycorrhizal intensity of the wheat crop at vegetative stages as function of the soil phosphorus (P-Bray) availability.

Treatments: N: nitrogen; NP inc: nitrogen and phosphorus incorporated; NP vol: nitrogen and phosphorus broadcasted.

ta al agregado de P, la función ajustada para el tratamiento NP-vol indicaría rendimientos relativos cercanos al 100%.

La intensidad de micorrización se asoció negativamente con el contenido de P-Bray en el suelo y con la concentración de P en la MSA ($r = -0,56 P < 0,001$ y $r = -0,48 P < 0,001$, respectivamente). Sin embargo, la mejor relación se logró entre la intensidad de micorrización y el contenido de P-Bray a través de una función lineal-plateau (Figura 2). Entre 8,2 y 15,9 mg P-Bray kg⁻¹, incrementos de 1 mg P-Bray kg⁻¹ ocasionó depresiones en la colonización MA de 3,5%. Por encima de los 15,9 mg P-Bray kg⁻¹, la colonización MA permaneció estable en 6,9%. La mayoría de los puntos de la relación correspondientes a los tratamientos NP inc se mantuvieron por debajo de la línea estimada. Asimismo, en general, a niveles similares de P-Bray los mayores grados de micorrización se obtuvieron en situaciones en que se aplicó el P al voleo. Esto indicaría que a similares niveles de P-Bray, la colocación al voleo deprimió en menor medida el desarrollo de la colonización micorrízica espontánea en el cultivo de trigo en comparación con la aplicación en la línea. Esto sería consecuencia de que aplicando el P al voleo se ocasiona menor contacto entre el fertilizante y las raíces (y por lo tanto con los hongos MA). Esta situación coincidiría con lo reportado por Miranda &

Harris (1994) quienes han demostrado un efecto depresor del P del suelo sobre el crecimiento de las hifas.

CONCLUSIONES

En situaciones de baja disponibilidad de P, la aplicación en línea resultó ser más eficiente que la aplicación al voleo para incrementar el rendimiento del cultivo de trigo. En condiciones de mayor disponibilidad las diferencias entre las formas de aplicación del fertilizante fueron menores.

Si bien la fertilización fosfatada afectó negativamente la formación de micorrizas, la aplicación de P al voleo deprimió, en menor medida, la micorrización en relación a la aplicación en bandas. La menor diferencia en el rendimiento entre las formas de colocación podría ser consecuencia de la mayor micorrización por aplicaciones de P al voleo, particularmente a niveles de P-Bray por encima de 11 mg kg⁻¹.

AGRADECIMIENTOS

Convenio ASP-Unidad Integrada Balcarce, campañas 2001 y 2002.

BIBLIOGRAFÍA

- Abbott, LK & AD Robson. 1991. Factors influencing the occurrence of vesicular arbuscular mycorrhizas. *Agric. Ecosyst. Environ.* 35: 121-150.
- Barber, SA & JL Kovar. 1985. Review: Principles of applying phosphorus fertilizer for greatest efficiency. *J. Fert. Issues* 2: 91-94.
- Berardo, A; FD Grattone & GA Borrajo. 1999. Efecto de la forma de aplicación del P sobre la producción trigo. *En: Seminario sobre Diagnóstico de deficiencias de nitrógeno, fósforo y azufre en cultivos de la región pampeana. Estación Experimental Agropecuaria INTA Balcarce. 1 y 2 de junio de 1999.* 118 pp.
- Blanchar, RW; G Rehm & AC Caldwell. 1965. Sulfur in plant materials with digestion with nitric and perchloric acid. *Soil Sci. Soc. Am.* 29: 71-72.
- Bray, RH & LT Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available form of phosphorus in soil. *Soil Sci.* 59:360-361
- Calviño, P; HE Echeverría & M Redolatti. 2002. Diagnóstico de nitrógeno en trigo con antecesor soja bajo siembra directa en el sudeste bonaerense. *Ciencia del Suelo* 20:36-42.
- Covacevich, F; HE Echeverría & YE Andreoli. 1995. Micorrización vesfículo arbuscular espontánea en trigo, en función de la disponibilidad de fósforo. *Ciencia del Suelo* 13: 47-51.
- Covacevich, F; HE Echeverría & S Gianinazzi. 2001. Efecto de la fertilización e inoculación con hongos micorríticos en trigo. V Congreso Nacional de Trigo. Cordoba. CD 4 págs.
- Covacevich, F & GAA Dosio. 2004. Efecto de la aplicación de fungicidas sobre la colonización micorrítica en dos híbridos de girasol. *En: Biología del Suelo: Transformaciones de la materia orgánica, usos y biodiversidad de los organismos edáficos. Asconegui, MAM; IE García de Salamone; SS Miyazaki (eds.). Editorial Facultad de Agronomía UBA.* pp. 155-160.
- Echeverría, HE & FO García. 1998. Guía para la fertilización fosfatada de trigo, maíz y soja. *Boletín Técnico* 149, EEA INTA Balcarce. 16 pp.
- Echeverría, HE; R Bergonzi & J Ferrari. 1992-1993. Carbono y nitrógeno en la biomasa microbial de suelos del sudeste bonaerense. *Ciencia del suelo* 10-11:36-41.
- Goss, MJ; MH Miller; LD Bailey & CA Grant. 1993. Root growth and distribution in relation to nutrient availability and uptake. *Eur. J. Agron.* 2 (2): 57-67.
- Jandel TBLcurve. 1992. Table curve. Curve fitting software Jandel Scientific, Corte Madera, CA.
- 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
- Land, S; H Von Alten & F Schönbeck. 1993. The influence of host plant, nitrogen fertilization and fungicide application on the abundance and seasonal dynamics of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi in arable soils of northern Germany. *Mycorrhiza*, 2: 157-166.
- Miranda, JCC & PJ Harris. 1994. The effect of soil phosphorus on the external mycelium growth of arbuscular mycorrhizal fungi during the early stages of mycorrhiza formation. *Plant Soil* 166:271-280
- Pfleger, FL & RG Linderman. 1996. Mycorrhizae and plant health. Pfleger, FL & 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.
- Plenchette, C & R Perrin. 1992. Evaluation in the greenhouse of the effects of fungicides on the development on leek and wheat. *Mycorrhiza* 1:59-62
- Trouvelot, A; JL Kough & V Gianinazzi-Pearson. 1986. Mesure du taux de mycorrhization VA d'un système racinaire. Recherche de méthodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle. *Dans 'Physiological and genetical aspects of mycorrhizae'. Gianinazzi-Pearson, V & S Gianinazzi (eds.), INRA, Paris, 101-109.*
- Sainz Rozas, H; HE Echeverría; F Fernandez 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 Rios. CD 9 pp.
- Schweiger, PF & I Jakobsen. 1999. Direct measurement of arbuscular mycorrhizal phosphorus uptake into field-grown winter wheat. *Agron. J.* 91:998-1002.
- Stewart, WM. 2000. Phosphorus Fertilization of Wheat...Let's Talk Placement. *En: News & Views. A regional newsletter published by the Potash & Phosphate Institute (PPI) and the Potash & Phosphate Institute of Canada (PPIC). July, 2000.* pp 2.