

Recibido 05 de enero de 2018 // Aceptado 31 de mayo de 2018 // Publicado online 07 de noviembre de 2018

# Métodos de colocación de fósforo en trigo y maíz bajo siembra directa en el sudeste bonaerense

BARBIERI, P.A.<sup>1,2</sup>; ECHEVERRÍA, H.E.<sup>1</sup>; SAÍNZ ROZAS, H. R.<sup>1,2</sup>

## RESUMEN

La siembra directa (SD) produce cambios físicos, químicos y biológicos en el suelo que pueden afectar la disponibilidad de P para los cultivos. El uso eficiente de fertilizantes debe combinar factores como dosis, momento, método de colocación y la fuente de manera que se maximice el rendimiento, reduciendo al mínimo las pérdidas de nutrientes al ambiente. El objetivo del trabajo fue evaluar la respuesta de los cultivos de trigo (*Triticum aestivum*, L.) y maíz (*Zea mays*, L.) al agregado de P en función del método de aplicación. Se evaluó la colocación en la línea de siembra y en cobertura total (al voleo) sobre el rendimiento, contenido de P en grano y eficiencia de recuperación del fertilizante. Se realizó un experimento en el partido de Tandil (sudeste de la prov. de Buenos Aires) con prolongada historia en SD. El diseño experimental fue en bloques completos aleatorizados con una combinación factorial de dosis de P (0, 25 y 50 kg ha<sup>-1</sup>) y método de aplicación (en línea y al voleo tres meses antes de la siembra). Para ambos cultivos no se determinó interacción dosis de P y método de colocación para las variables analizadas. El rendimiento de los cultivos y el contenido de P en granos se incrementaron por efecto de la dosis y no hubo diferencias entre métodos de colocación. El incremento en rendimiento por el agregado de P (promedio de los tratamientos fertilizados y testigo) fue similar para ambos cultivos, 18 y 20% para trigo y maíz, respectivamente. Similar comportamiento fue determinado para el contenido de P en grano, siendo el incremento de 22 y 28% para trigo y maíz, respectivamente. La eficiencia de recuperación del P en el grano para ambos cultivos no fue afectada por la dosis de P ni por el método de colocación (17,4 y 12,1% para 25 y 50 kg P ha<sup>-1</sup>; 14,2 y 15,3% para voleo y línea, respectivamente). Los resultados indican que en sistemas estabilizados bajo SD del sudeste bonaerense, con niveles elevados de MO y actividad biológica, la eficiencia de uso de P sería similar para aplicaciones al voleo o en la línea.

**Palabras clave:** fertilización, fósforo siembra directa, trigo, maíz.

## ABSTRACT

*No till (SD) produces physical, chemical and biological changes in the soil and can affect crop P availability. Efficient use of fertilizers should combine factors such as rate, timing, placement method and source in a way to maximizes grain yield minimizing nutrient losses to the environment. The objective was to evaluate wheat (*Triticum aestivum*, L.) and maize (*Zea mays*, L.) crops response to P rate and placement method (banded 5 cm beside and below the seeds or broadcast 3 months before sowing) on grain yield, grain P content and fertilizer recovery efficiency. The experiments were carried out at Tandil (southeast of Buenos Aires Province)*

<sup>1</sup>Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Balcarce, Unidad Integrada Balcarce (UIB), Ruta Nac. 226 km 73,5 (7620) CC276. Balcarce, Buenos Aires, Argentina. Correo electrónico: baribieri.pablo@inta.gov.ar

<sup>2</sup>Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

with a long history under SD. The experimental design was in randomized complete blocks with a factorial combination of P rate (0, 25 and 50 kg ha<sup>-1</sup>) and placement methods (in-line and broadcast three months before sowing). No interaction P rate and placement method were determined in both crops. Grain yield and grain P content was increased by rate and there were no differences between placement methods. Grain yield increases from P (average of fertilized treatments and control) was similar for both crops, 18 and 20% for wheat and maize, respectively. Similar result was determined for P content in grain, with increases of 22 and 28% for wheat and maize, respectively. In both crops, fertilizer recovery efficiency was not affected by P rate or placement method (17.4 and 12.1% for 25 and 50 kg P ha<sup>-1</sup>; 14.2 and 15.3% for broadcast and in-line, respectively). The results indicate that in stabilized no till system at southeast of Buenos Aires Province, soils with high OM content and biological activity, the efficiency of P use would be similar for broadcast or in-line applications

**Keywords:** fertilization, phosphorus, no till, wheat, corn.

## INTRODUCCIÓN

La intensificación en el uso del suelo y el rendimiento promedio de los principales cultivos se incrementaron notablemente en los últimos años en la región pampeana. Esta situación ha generado una progresiva disminución de la disponibilidad de distintos elementos nutritivos como el fósforo (P), principalmente en suelos de la región pampeana norte (Sainz Rozas *et al.*, 2012), la cual tenía los niveles de P nativo más elevados. Por el contrario, en el sudeste bonaerense, área con bajos niveles de P nativo, dicha situación se ha revertido como consecuencia del uso frecuente de fertilizantes fosfatados (Echeverría y García, 1998).

Las deficiencias de P en planta generalmente se relacionan con su rol en la transferencia y almacenamiento de energía. Los cultivos con deficiencia de P presentan un crecimiento inicial reducido y lento. Las plantas con deficiencias de P presentan, principalmente, menor expansión foliar y menor número de hojas o macollos. La reducción de la tasa de expansión foliar y del número de macollos lleva a una menor intercepción de la radiación incidente (Abbate y Lazaro, 2001). Si bien los requerimientos de P son bajos en estadios tempranos del cultivo, una adecuada acumulación de P es importante para maximizar el rendimiento (Grant *et al.*, 2001).

El P agregado en fertilizantes fosfatados reacciona con los constituyentes físicoquímicos del suelo, lo que puede afectar la respuesta del cultivo a la fertilización. El P del fertilizante puede ser precipitado por cationes como el hierro (Fe), aluminio (Al) y calcio (Ca) dependiendo del pH del suelo, ya que este determina la presencia y abundancia relativa de los cationes que precipitan el P (García *et al.*, 2005). El P del fertilizante también puede ser adsorbido sobre óxidos de Fe y Al a través del mecanismo de intercambio aniónico, proceso que en algunos casos produce la penetración del anión fosfato dentro del cristal haciendo que no esté disponible para el cultivo (García *et al.*, 2014). Además, el anión fosfato también puede ser adsorbido por los bordes de las arcillas (Borrow, 2017). Los procesos descritos son denominados fijación de P. De lo mencionado se desprende que suelos con alta proporción de arcillas del tipo 1:1, elevadas concentraciones de Fe y Al intercam-

biaje o formando óxidos e hidróxidos de dichos cationes tienen una elevada capacidad de fijación de P (Udo y Uzo, 1972; Hingston *et al.*, 1972; Borggaard *et al.*, 1990). Los suelos del sudeste bonaerense presentan características químicas y físicas que ocasionan que la adsorción y precipitación de P no sean procesos relevantes o si se producen, estos son reversibles (Pose *et al.*, 2011). Por lo tanto, la fijación de P no debería afectar de manera relevante la eficiencia de uso de dicho nutriente.

La superficie cultivada bajo siembra directa (SD) se ha incrementado sustancialmente en los últimos años. Dicho sistema de labranza incrementa el contenido de materia orgánica (MO) y de P en las capas más superficiales del suelo respecto a la labranza convencional, estratificación que es evidente al poco tiempo de implementada la SD (Calviño *et al.*, 2002). Por una parte, la acumulación de MO en las capas más superficiales del suelo disminuiría la capacidad de fijar P, dado que existe una relación inversa entre el contenido de MO y la capacidad de fijación de P (Fox y Kamprath, 1970). No obstante, Gutierrez Boerm *et al.* (2008) determinaron que el contenido de MO no afectó la capacidad de adsorción de P y que la variación en la capacidad de absorción de P se relacionó con el contenido de arcillas y las aplicaciones previas de P. Por otra parte, la presencia de residuos en superficie en suelos bajo SD reduce las pérdidas de agua por evaporación y mantiene el suelo con un mayor contenido de humedad en los estratos superficiales (Dominguez *et al.*, 2001). Esta condición genera una mayor masa y actividad de raíces en condiciones de absorber nutrientes en los estratos superficiales del suelo. La falta de remoción y mezcla reduce el contacto de los fertilizantes con los coloides del suelo, disminuye la fijación y consecuentemente incrementa la disponibilidad de este nutriente para los cultivos (Fink y Wesley, 1974; Dick, 1983; Guertal *et al.*, 1991). Esto podría generar pérdidas de P y problemas de eutroficación en suelos con pendiente (Sharpley *et al.*, 2003).

La respuesta del cultivo a la forma de colocación de P depende también de la cantidad y distribución de las precipitaciones. En ambientes subhúmedos o semiáridos con mayor riesgo de déficit hídrico, la absorción del P aplicado en superficie se vería restringida debido a la baja humedad

del horizonte superficial, la que produce un cambio en los patrones de crecimiento y actividad de raíces, observándose un mayor crecimiento en profundidad. En zonas como el sudeste bonaerense, en la cual normalmente se registran condiciones de buena humedad edáfica, particularmente al comienzo de la estación de crecimiento del cultivo de trigo y maíz (Calviño y Sadras, 2002, Calviño *et al.*, 2003, Reussi Calvo y Echeverría, 2006), es probable que la humedad del suelo no constituya un impedimento a la absorción de P para aplicaciones superficiales de este.

La aplicación de P al voleo anticipada es una práctica que ahorra tiempo y trabajo a la siembra, disminuye el peso de la sembradora y la consiguiente compactación del suelo, y elimina inconvenientes operativos como atacaduras en los tubos de bajada del fertilizante, principalmente bajo condiciones de días húmedos como normalmente ocurren en el período de siembra del cultivo de trigo. Además, la aplicación de elevadas dosis de fertilizantes en la línea de siembra puede disminuir la emergencia del cultivo por efecto salino o por toxicidad con amoníaco, cuando se utilizan fertilizantes como el fosfato diamónico. Otra ventaja de gran importancia es que la aplicación de P al voleo disminuye la variabilidad horizontal de P en el lote ocasionada por la fertilización en bandas, la que a menudo trae aparejado el riesgo de una evaluación errónea de la disponibilidad de P para el cultivo (Stecker *et al.*, 2001).

Las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos de la región pampeana y los cambios en dichas propiedades inducidos por la SD permiten hipotetizar que la colocación del P al voleo no afectaría la eficiencia de uso de este respecto de la aplicación en líneas en suelos bajo SD. Barbagelata *et al.* (2008) para el cultivo de trigo bajo SD en Entre Ríos y Tellería *et al.* (2016) para el cultivo de maíz bajo SD no determinaron diferencias en rendimiento entre métodos de aplicación de P (voleo vs. línea de siembra). No obstante, para las condiciones edafoclimáticas del sudeste bonaerense existe poca información acerca de la respuesta de los cultivos al método de colocación de P. En tal sentido, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la respuesta en rendimiento y la eficiencia de recuperación del fertilizante en el cultivo de trigo y maíz bajo SD, en función de la dosis y el método de colocación de P.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Durante dos estaciones de crecimiento se realizó un experimento en el partido de Tandil, sobre un suelo Paleudol petrocálcico con 1% de pendiente y una historia de SD mayor a 4 años siendo soja el cultivo antecesor. El suelo bajo estudio presentó un horizonte superficial (0-20 cm) de textura franca, 55 g kg<sup>-1</sup> de MO y un contenido de P Bray I (Bray y Kurtz, 1945) de 12,5 y 3,7 mg kg<sup>-1</sup> de 0-10 y 10-20 cm de profundidad, respectivamente. Los experimentos fueron conducidos sin limitaciones de otros nutrientes. En la primera campaña se implantó trigo y se fertilizó con una combinación factorial de dosis de P (0, 25 y 50 kg ha<sup>-1</sup>) y método de aplicación (al voleo dos meses antes de la siembra y en línea a la siembra al costado de la semilla). El segundo año se implantó maíz y recibió los mismos tratamientos, el contenido de P Bray

del suelo determinado al momento de la siembra en cada parcela se presenta en la tabla 1.

Tratamientos	Profundidad	P (±DE)
	cm	mg kg <sup>-1</sup>
0-P	0-10	9,2 (4,8)
	10-20	3,8 (1,4)
25 V	0-10	18,4 (8,3)
	10-20	5,0 (1,7)
25 L	0-10	16,8 (3,8)
	10-20	4,5 (1,4)
50 V	0-10	21,1 (2,8)
	10-20	4,9 (1,9)
50 L	0-10	20,1 (7,2)
	10-20	6,5 (3,9)

**Tabla 1.** Contenido de P a la siembra del cultivo de maíz.

DE = Desvío estándar

El diseño experimental fue en bloques completamente aleatorizados con tres repeticiones y una combinación factorial de dosis de P (25 y 50 kg ha<sup>-1</sup>) y método de aplicación: al voleo anticipado (3 meses) y por debajo y al costado de la línea de siembra. Además, se adicionó un tratamiento sin P, tratamiento que fue tenido en cuenta en el análisis de la dosis de P. El análisis del método de colocación de P se realizó con las dosis de 25 y 50 kg de P ha<sup>-1</sup>. Las unidades experimentales fueron de 6 m de ancho por 15 m de largo, la fuente de P utilizada fue fosfato diamónico (18-46-0). En ambos cultivos, se utilizaron materiales adaptados para la zona, las malezas y los insectos fueron controlados siguiendo las prácticas de manejo utilizadas por los productores.

En madurez fisiológica se determinó el rendimiento del cultivo (14% de humedad), contenido de P en grano (Blanchar *et al.*, 1965) y se calculó la recuperación del fertilizante como la diferencia entre el contenido de P en grano de los tratamientos fertilizados ( $P_{Fert}$ ) y el testigo ( $P_{Test}$ ) dividido la dosis aplicada ( $(P_{Fert} - P_{Test}) / \text{Dosis de P} * 100$ ). Para estimar la recuperación en planta al valor obtenido en grano se lo dividió por 0,75, el cual representa el índice de cosecha de P para el cultivo de trigo y maíz (García y Reussi Calvo, 2014; Echeverría *et al.*, 2014). El análisis de la varianza fue realizado usando el procedimiento GLM incluido en las rutinas del Statistical Analysis Systems (SAS) (SAS Institute Inc, 2008). Las medias de tratamientos fueron comparadas usando el test de LSD cuando el análisis de la varianza indicó efecto significativo de los tratamientos.

## RESULTADOS

### Condiciones climáticas

La disponibilidad de agua durante el ciclo del cultivo de trigo fue adecuada para no limitar el crecimiento y el

rendimiento del cultivo, dado que las precipitaciones ocurridas desde junio a diciembre sumaron un total de 617 mm. Las precipitaciones superaron ampliamente la evapotranspiración potencial (ETP) principalmente en el tercer decadio de octubre y primero de noviembre, período considerado crítico para la determinación del rendimiento (fig. 1). En el ciclo del cultivo de maíz, las precipitaciones totalizaron 518 mm. Este valor es cercano a la evapotranspiración del cultivo determinada para la zona (530 mm) por Andrade y Gardiol (1995). No obstante, la distribución de las precipitaciones provocó que en algunos momentos del ciclo se determinaran deficiencias hídricas (100 mm). Esto pudo haber afectado el rendimiento del cultivo, principalmente el peso de los granos ya que las deficiencias hídricas se observaron hacia el final del período crítico y durante la etapa de llenado (fig. 1). La adecuada humedad edáfica es fundamental para no limitar la absorción de P en aplicaciones superficiales de este, sobre todo en SD, donde el P se acumula en los estratos superiores del suelo.

**Rendimiento**

En ambos cultivos, no se determinó interacción entre dosis y localización de P. El rendimiento en grano se incrementó con el aumento de la dosis de P, pero no difirió entre métodos de localización (fig. 2). El peso de 1000 granos no fue afectado por la disponibilidad de P (datos no mostrados), lo que indica que la deficiencia de P disminuyó el rendimiento del cultivo a través de un menor número de granos por unidad de superficie, coincidiendo con lo reportado por Grant *et al.* (2001), Abbate y Lazaro (2001) para trigo y Plénet *et al.* (2000), Liu *et al.* (2011) para maíz.

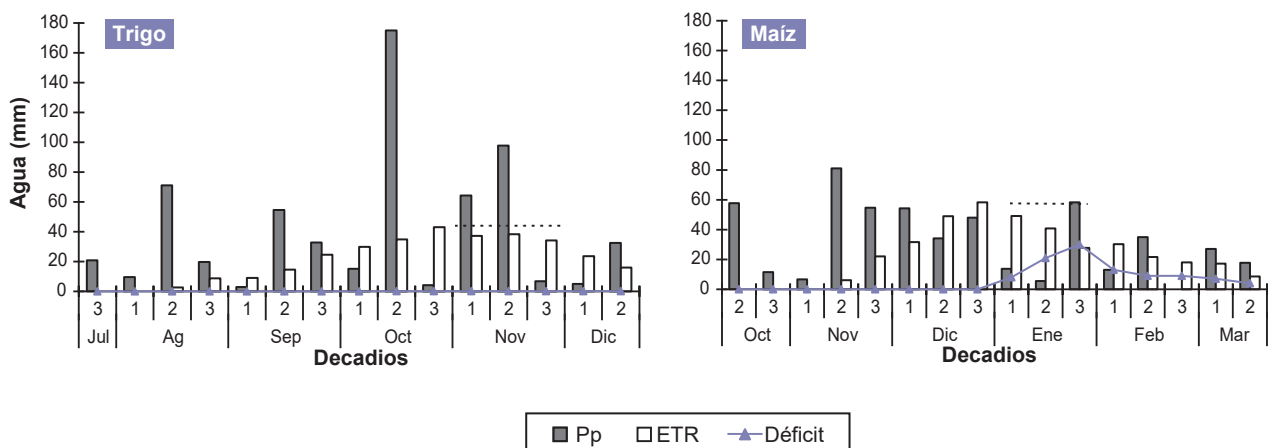
**Concentración, contenido de P en grano y eficiencia de recuperación del fertilizante**

Al igual que lo determinado para el rendimiento, en am-

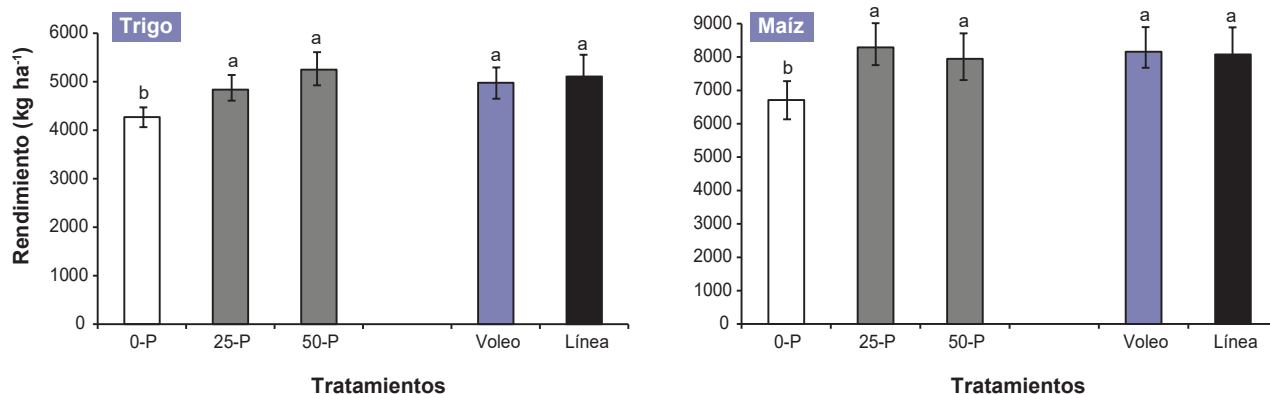
bos cultivos no se determinó interacción entre dosis y método de colocación para la concentración, contenido de P en grano ni en la eficiencia de recuperación del fertilizante. La concentración de P en grano se incrementó por efecto de la aplicación de P y no fue afectada por el método de colocación (tabla 2). La aplicación de P incrementó el contenido de este nutriente en grano, pero no fue afectado por la forma de colocación (fig. 3). En el mismo sentido, la eficiencia de recuperación del fertilizante para ambos cultivos no fue afectada por la dosis de P ni por el método de colocación (fig. 4). Estos resultados indicarían que la colocación de P en líneas al costado y debajo de la línea de siembra no mejoraría la eficiencia de uso del P en suelos bajo SD, respecto de aplicaciones al voleo.

**DISCUSIÓN**

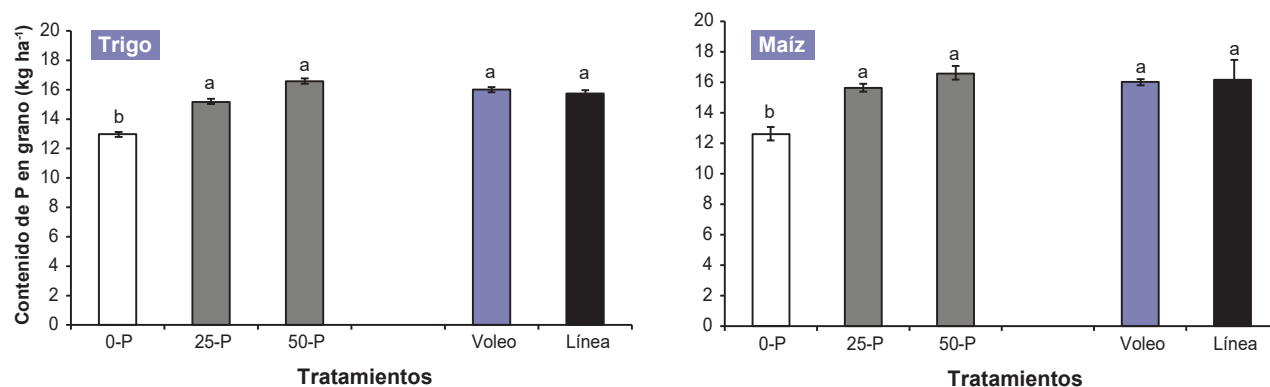
En el cultivo de trigo, se obtuvieron elevados rendimientos, producto de las muy buenas condiciones meteorológicas en los estadios críticos del cultivo (20 días antes y 10 días después de la floración), que permitieron fijar gran número de granos, principal componente del rendimiento del trigo (Abbate *et al.*, 1994). Para el cultivo de maíz, si bien se determinaron deficiencias hídricas durante fines del periodo crítico y llenado de granos que podrían haber afectado el rendimiento del cultivo (fig. 1), el rendimiento promedio obtenido (7800 kg ha<sup>-1</sup>) fue similar a los informados para la zona en condiciones de secano (Aramburu Melos *et al.*, 2015). Se determinó un elevado incremento en rendimiento al agregado de P; en trigo la respuesta fue de 567 (13%) y 978 kg ha<sup>-1</sup> (23%) para las dosis de 25 y 50 kg de P ha<sup>-1</sup>, respectivamente; mientras que para maíz la respuesta fue de 1575 (24%) y 1273 kg ha<sup>-1</sup> (18%) para la dosis de 25 y 50 kg de P ha<sup>-1</sup>, respectivamente (fig. 2). La elevada respuesta en trigo se explica por los bajos contenidos de P-Bray (8,1 mg kg<sup>-1</sup>, promedio de profundidades), valor que está por debajo de los umbrales críticos informados por Zamuner *et al.* (2003) para este cultivo. En el maíz la



**Figura 1.** Balance de agua decádico durante el ciclo de cultivo de trigo y maíz. Pp = precipitación, ETR = evapotranspiración real. La línea punteada indica el período crítico de cultivo.



**Figura 2.** Rendimiento del cultivo de trigo y maíz en función de la dosis y del método de colocación de P (5 cm debajo y al costado de la línea de siembra y al voleo 3 meses antes de la siembra). Barras con las mismas letras no difieren al 5% de probabilidad según el test de la DMS. 0, 25 y 50 kg P ha<sup>-1</sup>. Barras verticales indican el desvío estándar.



**Figura 3.** Contenido de P en grano del cultivo de trigo y maíz en función de la dosis y del método de colocación de P (5 cm debajo y al costado de la línea de siembra y al voleo 3 meses antes de la siembra). Barras con las mismas letras no difieren al 5% de probabilidad según el test de la DMS. 0, 25 y 50 kg P ha<sup>-1</sup>. Barras verticales indican el desvío estándar.

Tratamientos	Trigo	Maíz
	% p (±DE)	
0-P	0,34 (0,02) a	0,18 (0,02) b
25-P	0,36 (0,08) a	0,26 (0,04) a
50-P	0,37 (0,05) a	0,29 (0,02) a
Voleo	0,36 (0,06) a	0,26 (0,05) a
Línea	0,38 (0,04) a	0,29 (0,05) a

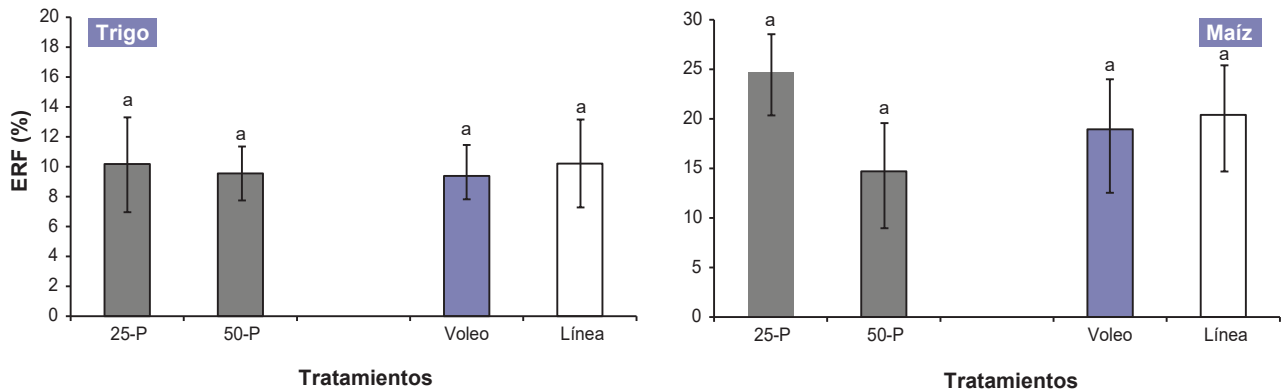
**Tabla 2.** Concentración de P en grano del cultivo de trigo y maíz en función de la dosis y del método de colocación de P (5 cm debajo y al costado de la línea de siembra y al voleo 3 meses antes de la siembra).

Valores con las mismas letras no difieren al 5% de probabilidad según el test de la DMS. DE= Desvío estándar.

respuesta al P no solo se explica por la fertilización del año, sino también por el efecto residual de la fertilización al trigo, ya que para las dosis de 0, 25 y 50 kg ha<sup>-1</sup> (aplicados al trigo)

se determinaron valores (promedio de profundidades) de 6,5, 11,2 y 13,2 mg kg<sup>-1</sup> (tabla 1), respectivamente. Estos valores, aún los más elevados, están por debajo del umbral crítico informado por Echeverría *et al.* (2015) para el cultivo de maíz.

Para contenido de P en grano y al igual que lo observado para el rendimiento, se determinó un elevado incremento del contenido de P en grano por efecto de la fertilización con P. En trigo, la respuesta fue de 2 (17%) y 4 kg ha<sup>-1</sup> (28%) para las dosis de 25 y 50 kg de P ha<sup>-1</sup>, respectivamente; mientras que para maíz la respuesta fue de 5 (40%) y 7 kg ha<sup>-1</sup> (53%) para la dosis de 25 y 50 kg de P ha<sup>-1</sup>, respectivamente (fig. 3). Estos resultados ponen de manifiesto la importancia de una adecuada disponibilidad de P para obtener elevados rendimientos en los cultivos de trigo y maíz. El similar rendimiento determinado para la aplicación de P al voleo respecto de la aplicación en bandas coincide con lo reportado por Halvorson y Havlin (1992), Echeverría *et al.*, 2004 y Barbagelata y Melchiori (2008) para trigo bajo SD, y por Bordoli y Mallarino (1998) y Telleria *et al.* (2016) para maíz bajo SD y Borges y Mallarino (2000) soja bajo SD.



**Figura 4.** Eficiencia de recuperación del fertilizante (ERF) para el cultivo de trigo y maíz en función de la dosis y del método de colocación de P (5 cm debajo y al costado de la línea de siembra y al voleo 3 meses antes de la siembra). Barras con las mismas letras no difieren al 5% de probabilidad según el test de la DMS. 0, 25 y 50 kg P ha<sup>-1</sup>. Barras verticales indican el desvío estándar.

En ambos cultivos, la eficiencia de recuperación del fertilizante no fue afectada por la dosis o el método de colocación de P (fig. 4). Estos resultados indican que la fijación de P por el suelo en formas poco disponibles no sería un proceso relevante, permitiendo que el P del fertilizante permanezca disponible para el cultivo en formas lábiles o en solución. La baja capacidad de fijación de P sería debido al bajo contenido de arcillas tipo 1:1, bajo contenido de Al intercambiable y de óxidos de Fe y Al de los suelos del sudeste bonaerense (Scoppa, 1975; Fabrizzi *et al.*, 1998, Fernández Palma 2008; Pose *et al.*, 2011). En suelos bajo SD, Guertal *et al.* (1991) reportaron que la capacidad de fijación de P es baja en las capas más superficiales del suelo y aumenta con la profundidad. Dichos autores atribuyen este comportamiento a la elevada concentración de formas lábiles del P (iones fosfatos adsorbidos con baja energía de retención), las cuales ocupan los sitios de fijación. Cuando dicho pool fue removido con resinas de intercambio, la capacidad de fijación de P en las capas superficiales se incrementó notablemente (Guertal *et al.*, 1991).

La formación de simbiosis entre raíces de plantas y hongos micorrízicos arbusculares del suelo se ven favorecidos bajo SD y permiten que las raíces capten el P de manera efectiva, lo que incrementaría la eficiencia en la adquisición de P por la planta promoviendo el crecimiento vegetal (Jeffries *et al.*, 2003). Incrementos de crecimiento en plantas colonizadas por los hongos micorrízicos arbusculares han sido bien evidenciados (Rilling, 2004; Covacevich *et al.*, 2005; Smith; Read, 2008; Feddermann *et al.*, 2010, Covacevich *et al.*, 2011). Por lo tanto, este sería otro factor que contribuiría a explicar la falta de diferencias en absorción de P y rendimiento en grano determinados entre métodos de colocación de P.

Por último, la escorrentía y las pérdidas de suelo de los campos son las principales fuentes no puntuales de contaminación de P (Thompson, 2012). En el sudeste bonaerense, hay evidencias que podría perderse P en suelos cultivados con papa con altos niveles de P

disponible y con pendiente (Zamuner *et al.*, 2015). En tal sentido, es necesario desarrollar estrategias de manejo de P más eficientes, no solo para aumentar la rentabilidad, sino también para reducir los problemas de contaminación del agua. Por lo tanto, las aplicaciones de P al voleo no deberían realizarse en sitios con pendiente y con elevada disponibilidad de P, principalmente si la probabilidad de ocurrencia de precipitaciones de gran intensidad luego de la fertilización es elevada.

## CONCLUSIONES

Los resultados de esta experiencia permiten afirmar que, en suelos estabilizados bajo SD, con niveles elevados de MO y actividad biológica, y con baja capacidad de fijación de P, es factible la aplicación de P al voleo sin afectar la eficiencia de uso de este, aún en suelos con niveles bajos a medios de P-Bray.

## BIBLIOGRAFÍA

- ABBATE, P.E.; ANDRADE, F.H.; CULOT, J.P. 1994. Determinación del rendimiento en trigo. Boletín Técnico N.º 133. Estación Experimental Agropecuaria Balcarce. INTA. p. 17.
- ABBATE, P.; LAZARO, L. 2001. Deficiencias de fósforo como determinantes del número de granos en trigo. Congreso Nacional de Trigo, Carlos Paz, Córdoba, Argentina. Actas en CD.
- ANDRADE, F.H.; GARDIOL, J. 1995. Sequía y producción de los cultivos de maíz, girasol y soja. Boletín Técnico N.º 132. Estación Experimental Agropecuaria Balcarce. INTA. p. 15.
- ARAMBURU MERLOS, F.; MONZON, J.P.; MERCAU, J.L.; TABOADA, M.; ANDRADE, F.H.; HALL, A.; JOBBAGY, E.; CASSMAN, K.G.; GRASSINI, P. 2015. Potential for crop production increase in Argentina through closure of existing yield gaps. Field Crops Research 184: 145-154.
- BARBAGELATA, P.A.; MELCHIORI, R.J.M. 2008. Efecto de la forma de aplicación del fósforo sobre el rendimiento de trigo en Entre Ríos. VII Congreso Nacional de Trigo, v Simposio de Ce-

- reales de Invierno, I Encuentro del Mercosur. Julio de 2008 Santa Rosa, La Pampa.
- BLANCHARD, R.W.; REHM, G.; CALDWELL, A.C. 1965. Sulfur in plant materials by digestion with nitric and perchloric acid. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 29: 71-72.
- BORDOLI, J.M.; MALLARINO, A.P. 1998. Deep and shallow banding of phosphorus and potassium as alternatives to broadcast fertilization for no-till corn. *Agron. J.* 90: 27-33.
- BORGGARD, O.K.; JORGENSEN, S.S.; MOBERG, J.P.; RABEN-LANGE, B. 1990. Influence of organic matter on phosphate adsorption by aluminium and iron oxides in sandy soils. *J. Soil Sci.* 41: 443-449.
- BARROW, N.J. 2017. The effects of pH on phosphate uptake from the soil. *Plant and Soil*, 410: 401-410.
- BRAY, R.H.; KURTZ, L.T. 1945. Determination of total, organic and available form of phosphorus in soil. *Soil Sci.* 59: 360-361.
- CALVIÑO, P.A.; ECHEVERRÍA, H.E.; REDOLATI, M. 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.
- CALVIÑO, P.A.; SADRAS, V.O. 2002. On-farm assesment of constraints to wheat in relation to different previous crops. *J. Agric. Sci. Cambridge.* 118: 157-163.
- CALVIÑO, P.A.; ANDRADE, F.H.; SADRAS, V.O. 2003. Maize yield as affected by water availability, soil depth and crop management. *Agronomy Journal.* 92:275-281.
- COVACEVICH, F.; SAINZ ROZAS, H.R.; BARBIERI, P.A. ECHEVERRÍA, H.E. 2005. Formas de colocación de fósforo sobre el crecimiento y la micorrización espontánea del cultivo de trigo. *Ciencia del Suelo.* 23: 39-45.
- COVACEVICH, F.; BARBIERI, P.A.; ECHEVERRÍA, H.E. 2011. Efecto de la labranza y la fertilización sobre la micorrización arbuscular nativa en trigo en una zona agrícola del Sudeste Bonaerense (Argentina). 2.º Congreso Nacional de Biología de Suelos, Mar del Plata.
- DICK, W.A. 1983. Organic carbon, nitrogen and phosphorus concentration and pH in soil profiles as affected by tillage intensity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 47: 102-107.
- DOMINGUEZ, G.F.; STUDDERT, G.A.; ECHEVERRÍA, H.E.; ANDRADE, F.H. 2001. Sistemas de cultivo y nutrición nitrogenada en maíz. *Ciencia del Suelo.* 19: 47-56.
- ECHEVERRÍA, H.E.; GARCÍA, F.O. 1998. Guía para la fertilización fosfatada de trigo, maíz, girasol y soja. *Boletín Técnico N.º 149. Est. Exp. Agrop. INTA Balcarce.* p. 16.
- ECHEVERRÍA, H.E.; SAINZ ROZAS, H.; BIANCHINI, A.; GARCÍA, F.O. 2004. Utilización y residualidad de fósforo bajo siembra directa en la región pampeana. XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Paraná-Entre Ríos. 22-25 junio de 2004. Actas en CD, p. 8.
- ECHEVERRÍA, H.E.; SAINZ ROZAS, H.; BARBIERI, P.A. 2014. Maíz y Sorgo. En: ECHEVERRÍA, H.E.; GARCÍA, F.O. (eds.). *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos.* Ediciones INTA. Bs. As. Argentina. pp. 435-478.
- FABRIZZI, K.; PICONE, L.; BERARDO, A.; GARCÍA, F. 1998. Efecto de la fertilización nitrogenada y fosfatada en las propiedades químicas de un Argiudol Típico. *Ciencia del Suelo.* 16: 71-76.
- FEDDERMANN, N.; FINLAY, R.; BOLLER, T.; ELFSTRAND, M. 2010. Functional diversity in arbuscular mycorrhiza—the role of gene expression, phosphorous nutrition and symbiotic efficiency. *Fungal Ecol.* 3:1-8.
- FERNÁNDEZ, PALMA F. 2008. Localización de fósforo en trigo en siembra directa en el sudeste bonaerense. Tesis de grado UNMP. pp. 43.
- FINK, R.J.; WESLEY, D. 1974. Corn yield as affected by fertilization and tillage system. *Agron J.* 66: 70-71.
- FOX, R.L.; KAMPRATH, E.J. 1970. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 34: 902-907.
- GARCÍA, F.O.; PICONE, L.I.; CIAMPITTI, I.A. 2014. Fósforo. En: H. ECHEVERRÍA, H.; GARCÍA, F.O. (eds). *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos.* Ediciones INTA. Buenos Aires, Argentina. pp. 229-264.
- GARCÍA, F.O.; REUSSICALVO, N.I. 2014. Trigo. En: ECHEVERRÍA, H.E.; GARCÍA, F.O. (eds.). *Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos.* Ediciones INTA. Bs. As. Argentina. pp. 401-434.
- Guertal E.A.; Eckert D.J.; Traina S.J.; Logan T.J. 1991. Differential phosphorus retention in soil profiles under no-till crop production. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 55: 410-413.
- Grant, C.; Flaten D.; Tomasiewicz, D.; Sheppard, D. 2001. The importance of early season phosphorus nutrition. *Can. J. Plant Sci.* 81: 211-224.
- GUTIÉRREZ BOEM, F.H.; ALVAREZ, C.; CABELLO, M.; FERNÁNDEZ, P.; BONO, A.; PRYSTUPA, P.; TABOADA, M. 2008. Phosphorus retention on soil surface of tilled and no-tilled soils *Soil Sci. Soc. Am. J.* 72:1158-1162.
- HINGSTON, F.J.; POSNER, A.M.; QUIRK, J.P. 1972. Anion adsorption by goethite and gibbsite – I: the role of the proton in determining adsorption envelopes. *J. Soil Sci.* 23:177-191.
- LIU, K.; MA, B.; LUAN, L.; LI, L. 2011. Nitrogen, phosphorus, and potassium nutrient effects on grain filling and yield of high-yielding summer corn. *J. of Plant Nut.* 34:1516-1531.
- PLÉNET, D.; MOLLIER, A.; PELLERIN, S. 2000. Growth analysis of maize field crops under phosphorus deficiency. II. Radiation-use efficiency, biomass accumulation and yield components. *Plant and Soil* 224: 259-272.
- POSE, N.; ZAMUNER, E.C.; ECHEVERRÍA, H.E. 2012. Grado de saturación y riesgo de pérdida de fósforo en un Molisol del sudeste cultivado con papa. *Ciencia del Suelo* 30:1-8.
- REUSSICALVO, N.I.; ECHEVERRÍA, H.E. 2006. Estrategias de fertilización nitrogenada en trigo: balance hídrico para el sur bonaerense. *Ciencia del Suelo* 24: 115-122.
- RILLING, M.C. 2004. Arbuscular mycorrhizae and terrestrial ecosystem Processes. *Ecol. Lett.* 7: 740-754.
- SAS INSTITUTE. 2008. The SAS system for windows. Version 9.2. SAS Institute, Cary, NC.
- SAINZ ROZAS, H.R.; ECHEVERRÍA, H.; ANGELINI, H. 2012. Fósforo disponible en suelos agrícolas de la región Pampeana y Extra Pampeana argentina. *RIA* 38: 33-39.
- SCOPPA, C. 1975. La mineralogía de los suelos de la llanura pampeana en la interpretación de su génesis y distribución. Presentado en la VII Reunión Argentina de la Ciencia del Suelo, Bahía Blanca.
- SHARPLEY, A.N.; DANIEL, T.; SIMS, T.; LEMUNYON, J.; STEVENS, R.; PARRY, R. 2003. *Agricultural phosphorus and eutrophication (2nd Edition).* U. S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, ARS 149. pp. 44.
- SAS INSTITUTE. 2008. The SAS system for windows. Version 9.2. SAS Institute, Cary, NC.
- SMITH, S.E.; READ, D.J. 2008. *Mycorrhizal Symbiosis.* Elsevier, New York. p. 800.
- STECKER, J.A.; BROWN, J.R.; KITCHEN, N.R. 2001. Residual phosphorus distribution and sorption in starter fertilizer bands applied in no-till culture. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 65: 1173-1183.

TELLERÍA, M.G.; GUTIÉRREZ BOEM, F.H.; FERRARIS, G.N. 2016. Respuesta del cultivo de maíz a la aplicación anticipada de fósforo. *Inf. Agron. Hispanoamerica* 22:20-24.

THOMPSON, L.B. 2013. Field evaluation of the availability for corn and soybean of phosphorus recovered as struvite from corn fiber processing for bioenergy. Graduate Theses and Dissertations. Universidad de Iowa.

UDO, E.J.; UZU, F.O. 1972. Characteristics of phosphorus adsorption by some Nigerian soils. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 36: 879-883.

ZAMUNER, E.C.; PICONE, L.I.; ECHEVERRÍA, H.E. 2003. Profundidad de muestreo de suelo: Relación del rendimiento con el fósforo disponible. Profundidad de muestreo de suelo: Relación del rendimiento con el fósforo disponible. Simposio "El Fósforo en la Agricultura Argentina". INPOFOS Cono Sur, Acassuso, Buenos Aires, Argentina.

ZAMUNER, E.C.; LLOVERAS, J.; ECHEVERRÍA, H.E. 2015. Métodos agronómicos y ambientales de determinación de fósforo en Argiudoles del sudeste bonaerense. *Ciencia del Suelo* 33:55-63.