



Estación Experimental Agropecuaria Pergamino

"Ing. Agr. Walter Kugler"

Desarrollo Rural

Proyecto Regional Agrícola - CRBAN

EVALUACIÓN DE FUENTES FOSFORADAS EN TRIGO Campaña 2009/10.

* Ing. Agr. Gustavo N. Ferraris

* Ing. Agr. Lucrecia A. Couretot

** Ing. Agr. Fernando Mousegne

** Ing. Agr. Marcelo López de Sabando

gferraris@pergamino.inta.gov.ar

Introducción

El fósforo (P) es uno de los 17 nutrientes considerados esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas (Marschner, 1995). Junto con el nitrógeno (N), potasio (K), azufre (S), calcio (Ca) y magnesio (Mg) conforman el grupo de macronutrientes por las cantidades requeridas y la frecuencia con que se encuentran en cantidades deficientes para los cultivos.

El P forma parte de enzimas, ácidos nucleicos y proteínas, y está involucrado en prácticamente todos los procesos de transferencia de energía. Entre las principales funciones de P en las plantas se indican (Marschner, 1995):

1. Transferencia y almacenaje de energía: Los fosfatos son constituyentes del ATP y otros esteres fosfatados que son intermediarios en vías metabólicas de síntesis y degradación. El ATP y otros fosfatos son requeridos en la síntesis de azúcares, almidón y ácidos grasos y en la activación de enzimas.
2. Constituyente de ácidos nucleicos ADN y ARN, por lo tanto involucrado en la transferencia de características genéticas.
3. Constituyente de fosfolípidos de membranas celulares.
4. Transporte y absorción de nutrientes.

Las deficiencias de P afectan en mayor medida el crecimiento que la fotosíntesis (Mollier y Pellerin, 1999). Las plantas con deficiencias de P presentan menor expansión y área foliar y un menor número de hojas (Mollier y Pellerin, 1999). En contraste, los contenidos de proteína y clorofila por unidad de área foliar no son muy afectados por deficiencias de P (Plénet et al., 2000). El mayor efecto sobre el crecimiento foliar que sobre el contenido de clorofila explica los colores verdes más oscuros observados en plantas deficientes en P. La nodulación se ve también afectada en leguminosas cultivadas en suelos pobres en P debido a la alta demanda de P de los nódulos (Cassman et al., 1980).

Tradicionalmente, los estudios sobre fertilización fosforada se han centrado en la calibración de umbrales críticos de respuesta tomando como base el método de Bray y Kurtz, y en la elaboración de curvas de respuesta. Sin embargo, en los últimos tiempos se ha avanzado en aspectos tecnológicos de manejo de fertilizantes, basados en procesos como la aplicación anticipada o en superficie, o en fuentes fertilizantes, mediante la evaluación de diferentes especies químicas (ortofosfatos y polifosfatos) o físicas (sólidos y líquidos).

El objetivo de este trabajo fue evaluar la eficiencia de fertilizantes sólidos tradicionales de alto grado que contienen el P como ortofosfato, en comparación con formulaciones líquidas de menor grado, las cuales proveen el nutriente como polifosfato, bajo dos niveles de fertilización nitrogenada.

* Técnicos de Desarrollo Rural INTA Pergamino

** Técnicos de la AER INTA San Antonio de Areco

Materiales y métodos

Se realizaron dos experimentos de campo en las localidades de Pergamino y San Antonio de Areco, sobre suelos Argiudoles típicos Serie Pergamino y Capitán Sarmiento, respectivamente. En los ensayos se evaluaron diferentes estrategias de fertilización fosforada, que incluyeron sólidos y líquidos. Los experimentos fueron conducidos con un diseño en bloques completos al azar. En el sitio Pergamino las dosis de P se combinaron con dos niveles de N, conformando un factorial completo 8x2. En San Antonio de Areco el ensayo fue conducido con un diseño en bloques al azar, con 7 tratamientos de fertilización. La descripción de los tratamientos evaluados y la dosis de P aportada se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1: Tratamientos evaluados en el ensayo.

Factor 1: Fertilización Nitrogenada					Factor 2: Nivel de N kg ha ⁻¹ (*)
Tratamiento	Fuente	Momento de aplicación	Grado de P	Dosis de P aportada	
T1	Testigo	P0	—		Dosis 1:N50 Dosis 2: N100
T2	F2L 8-11-0 100 l/ha	Pres	8-4,8-0	4,8	
T3	F2L 12-16-0 100 l/ha	Pres	11-7-0		
T4	F2L 8-11-0 100 l/ha	siembra	8-4,8-0		
T5	F2L 12-16-0 100 l/ha	siembra	11-7-0		
T6	F2L 8-11-0 100 l/ha+ Metsulfurón	POE	8-4,8-0		
T7	MAP 50 kg/ha	siembra	11-23-0		
T8	MAP 100 kg/ha	siembra	11-23-0		

(*) Solo en Pergamino

El ensayo fue sembrado el día 13 de Julio (Pergamino) y 26 de Junio (San Antonio de Areco), con una sembradora experimental de siembra directa. El antecesor fue soja de primera en ambos casos, y los cultivares sembrados Nidera Baguette 9 (Pergamino) y Buck Meteoro (San Antonio de Areco). Los sitios se mantuvieron libres de adversidades bióticas como plagas, enfermedades y malezas mediante control químico, cuando esto fue necesario.

Previo a la siembra, se realizó un análisis químico de suelo por bloque, cuyos resultados promedio se expresan en la Tabla 2.

Tabla 2: Análisis de suelo al momento de la siembra

Prof	pH	Materia Orgánica	P-disp.	N-Nitratos	N suelo	S-Sulfatos
cm	agua 1:2,5	%	ppm	ppm	kg ha ⁻¹	ppm
Pergamino						
0-20	5,4	2,17	12,8	8,0	20,8	2,0
20-40				5,0	13,0	2,0
40-60				2,5	6,5	
					40,3	
San Antonio de Areco						
0-20	5,9	3,12	12,6	8,0	20,8	
20-40				6,0	15,6	
40-60				3,0	7,8	
					44,2	

En el sitio Pergamino, se realizó un recuento de plantas emergidas a los 10 dde, y biomasa de planta entera a finales de macollaje (Z25, Zadoks et al., 1974) y en madurez fisiológica (Z89). De igual modo, se realizaron 2 evaluaciones de vigor durante el ciclo del cultivo. Se determinó la cobertura del cultivo sobre el suelo en madurez fisiológica, por medio de imágenes digitales procesadas con el

programa Cob Cal 2.0. La cosecha se realizó en forma manual, con trilla estacionaria de las muestras. Para el estudio de los resultados se realizaron análisis de la varianza (ANVA), comparaciones de medias y análisis de regresión.

Resultados y discusión

A) Características climáticas de la campaña

En Pergamino, las precipitaciones fueron escasas hasta el mes de setiembre, esto sumado a la reducida reserva inicial configuró un cuadro de estrés hídrico durante octubre, cuando el cultivo incrementa su evapotranspiración por efecto de temperatura y mayor cobertura del suelo (Figura 1.a), limitando en forma leve los rendimientos. En San Antonio de Areco, la disponibilidad hídrica no fue limitante durante todo el ciclo (Figura 1.b).

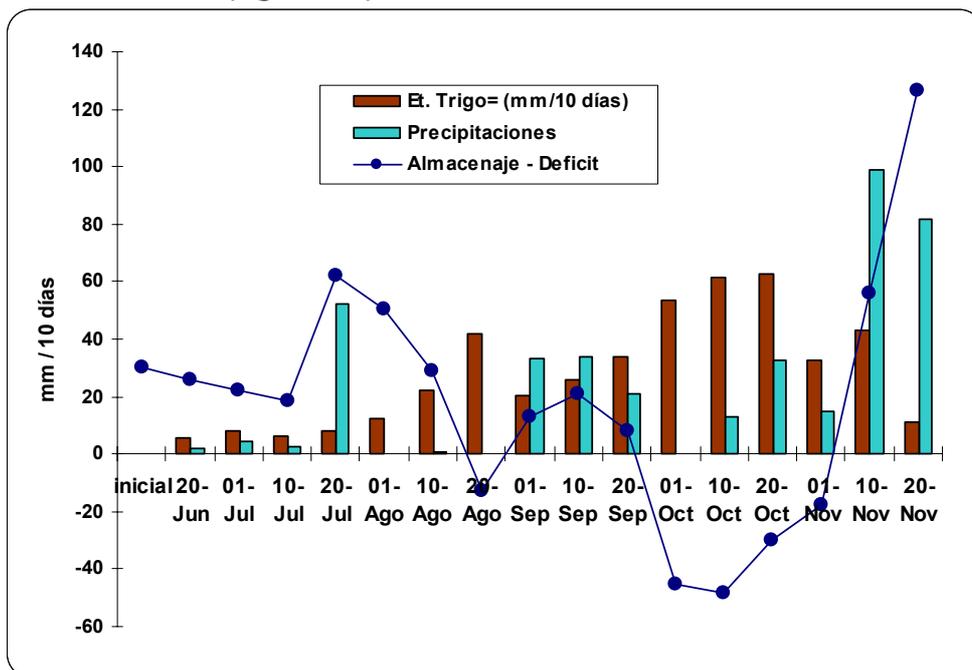


Figura 1.a

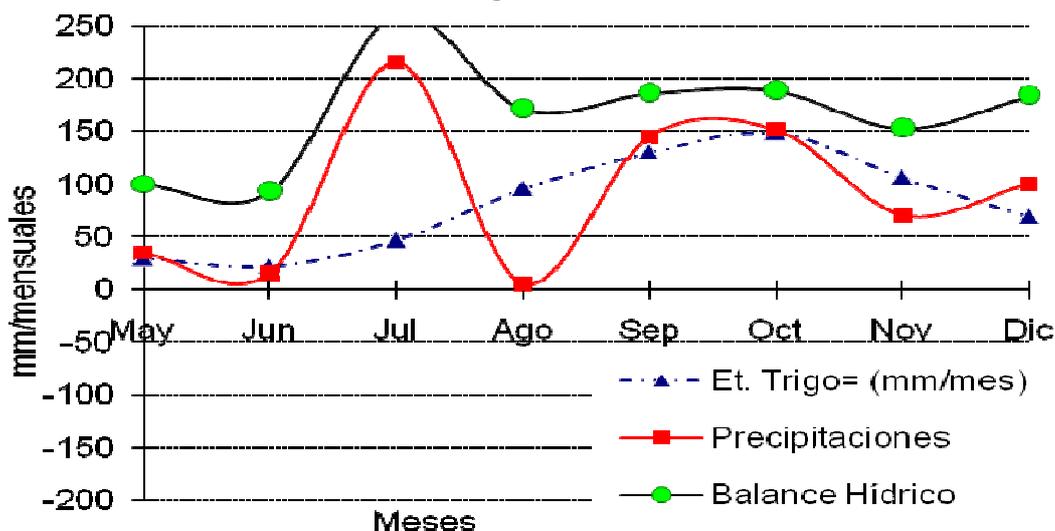


Figura 1.b

Figura 1: Evapotranspiración, precipitaciones y balance hídrico, expresados como lámina de agua útil (valores positivos) o déficit de evapotranspiración (valores negativos) para las localidades de Pergamino (1.a) y San Antonio de Areco (1.b). Valores acumulados en mm

El cociente fototermal (Q) (Fisher, 1985) representa la relación existente entre la radiación efectiva diaria en superficie y la temperatura media diaria, y es una medida del potencial de crecimiento por unidad de tiempo térmico de desarrollo. Es decir, daría una medida del potencial de rendimiento en ausencia de limitaciones hídricas, nutricionales y de sanidad. Los valores para 2009 fueron los más favorables de los últimos 5 años (Tabla 3). Las limitantes a la productividad en esta campaña excluyen la falta de potencialidad ambiental (Figura 2), y deberían buscarse en eventuales carencias de recursos como agua o nutrientes.

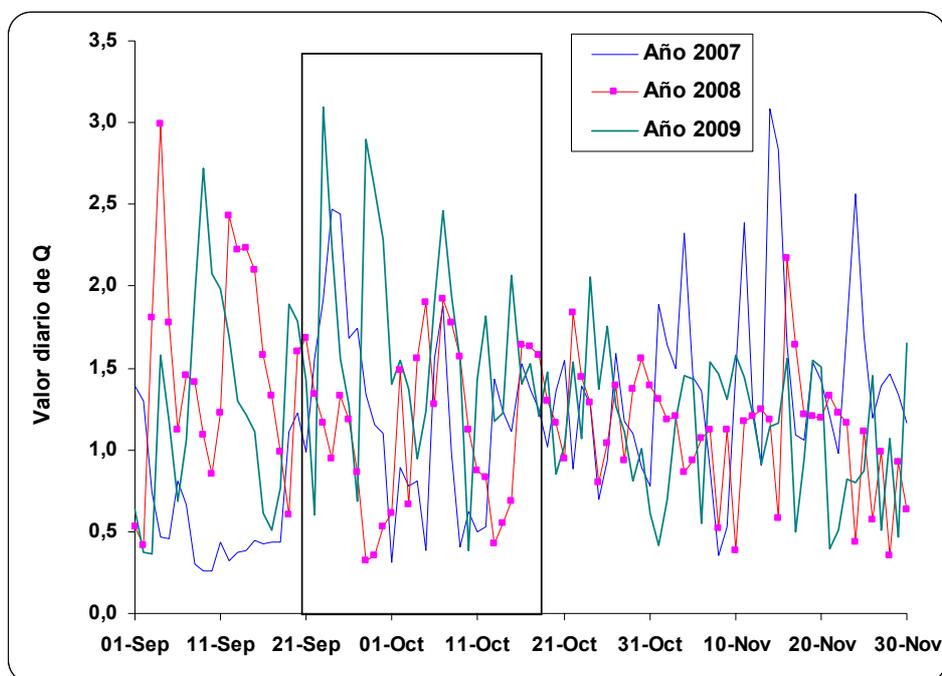


Figura 2: Coeficiente fototermal (Q) durante el ciclo de cultivo de trigo. La etapa abarcada por el rectángulo representa el período crítico para la definición del rendimiento. Pergamino, Año 2009.

Tabla 3: Insolación efectiva (hs), Temperatura media (C°) y Cociente fototermal Q (T base 0°C) para el período de 15 de setiembre al 15 de Octubre en la localidad de Pergamino durante los años 2005 a 2009.

Condiciones ambientales	Año 2005	Año 2006	Año 2007	Año 2008	Año 2009
Insolación Efectiva media (hs)	7,2	7,1	5,9	6,9	8,3
T media del período °C	15,1	17,1	15,0	16,4	13,4
Cociente fototermal (Q) (Mj m ⁻² día ⁻¹ °C ⁻¹)	1,24	1,10	1,12	1,10	1,56

B) Rendimientos y otras variables de cultivo

En la Tabla 4 se presentan los datos de las variables evaluadas en el ensayo de Pergamino.

Tabla 4: Número de plantas emergidas, índice de vigor en hoja bandera (Z39) y madurez fisiológica (Z89), materia seca acumulada en macollaje (Z25) y madurez (Z89), cobertura en madurez, rendimiento de grano y significancia estadística de las variables medidas en el ensayo. Fuentes de P en trigo. Pergamino, año 2009.

Tratamientos	Tratamientos de fertilización fosforada	Momento de aplicación	Nivel N (kg/ha)	Índice de Vigor Zadoks 39	Índice de Vigor Zadoks 89	Cobertura en Z39	Mseca Z25 (kg/ha)	Mseca Total (kg/ha)
T1	Testigo	P0	50	3,5	3,4	97,7	888	6204
T2	F2L 8-11-0 100 l/ha	Pres	50	3,7	3,7	99,4	503	11170
T3	F2L 12-16-0 100 l/ha	Pres	50	4,0	4,0	99,3	702	9884
T4	F2L 8-11-0 100 l/ha	siembra	50	4,2	3,9	99,6	737	12141
T5	F2L 12-16-0 100 l/ha	siembra	50	3,7	3,8	98,8	811	11699
T6	F2L 8-11-0 100 l/ha	POE	50	4,2	4,1	99,3	740	9776
T7	MAP 50 kg/ha	siembra	50	4,0	3,9	99,5	872	11685
T8	MAP 100 kg/ha	siembra	50	3,5	3,7	89,7	644	12364
T1	Testigo	P0	100	3,9	4,0		769	8861
T2	F2L 8-11-0 100 l/ha	Pres	100	4,1	4,2		561	7881
T3	F2L 12-16-0 100 l/ha	Pres	100	4,0	4,3		933	12302
T4	F2L 8-11-0 100 l/ha	siembra	100	4,2	3,8		913	7428
T5	F2L 12-16-0 100 l/ha	siembra	100	3,9	4,3		869	10761
T6	F2L 8-11-0 100 l/ha	POE	100	4,3	4,4		699	12702
T7	MAP 50 kg/ha	siembra	100	4,1	4,1		705	10964
T8	MAP 100 kg/ha	siembra	100	3,6	4,0		785	10749

En la localidad de Pergamino, se verificó interacción significativa para rendimiento entre fertilización fosforada y dosis de N ($P=0,003$), es decir, la jerarquización de estrategias de fertilización fosforada dependió de la dosis de N aplicada, 50 o 100 kgN ha⁻¹ (Figura 3.a), aunque el promedio de ambas dosis permite definir más fácilmente una tendencia general (Figura 3.b). En el ensayo se puede detectar un claro efecto de dosis de P. Sin diferencia entre aplicaciones anticipadas o a la siembra, la fuente líquida con mayor grado de P (F2L 12-16-0) alcanzó mayores rendimientos respecto de la alternativa (F2L 8-11-0), así como la dosis de 100 kg ha⁻¹ de MAP superó a la de 50 kg. Esta respuesta a dosis explica la buena performance del tratamiento T8 (MAP 100 kg ha⁻¹), ya que es el que aporta una mayor cantidad del nutriente. Las formas líquidas demostraron ser fuentes eficientes y flexibles de P, superando significativamente al testigo en aplicaciones en superficie, sin incorporación, y sin variaciones ante diferentes momentos de aplicación.

En San Antonio de Areco (Figura 4), los tratamientos de siembra se destacaron por sobre los anticipados en presiembra y los de postemergencia. Se podría hipotetizar cierto grado de fijación del P aplicado con anticipación a los coloides del suelo, debido al muy elevado contenido de arcilla y limo que posee este perfil en sus primeros horizontes. Como sucediera en Pergamino, la fuente líquida de mayor grado (8-12-0) superó significativamente a la de menor grado para un mismo momento de aplicación, poniendo nuevamente en evidencia la importancia de la dosis en suelos con niveles moderados a bajos de P.

Eficiencia significa obtener elevadas cantidades de grano por unidad de nutriente aplicado. Si bien esto favorece la rentabilidad de la práctica, podría resultar en balances negativos del elemento en el suelo. Por este motivo, es relevante complementar aquellas estrategias que originen un balance negativo de P con aplicaciones de fertilizantes de alto grado destinadas a reponer la extracción realizada con los granos de cosecha, con el fin de no perjudicar los rendimientos de los futuros cultivos de la rotación.

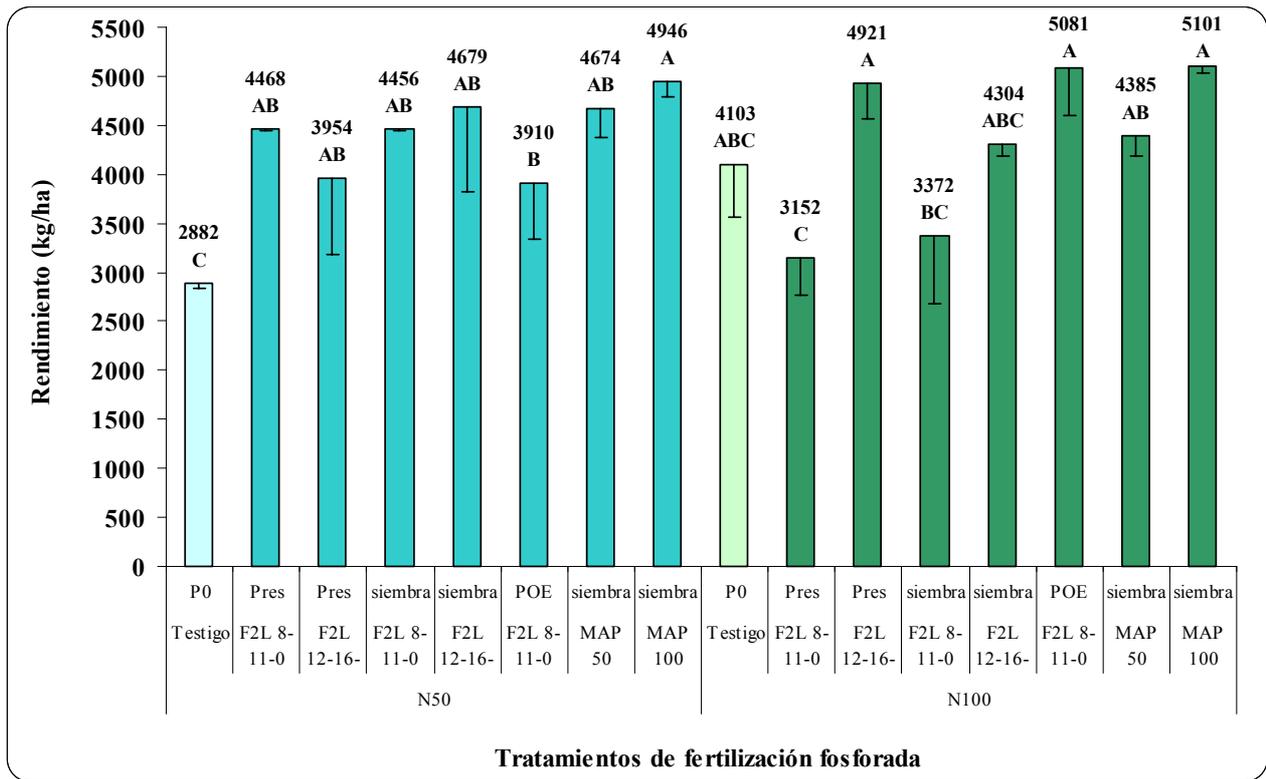


Figura 3.a

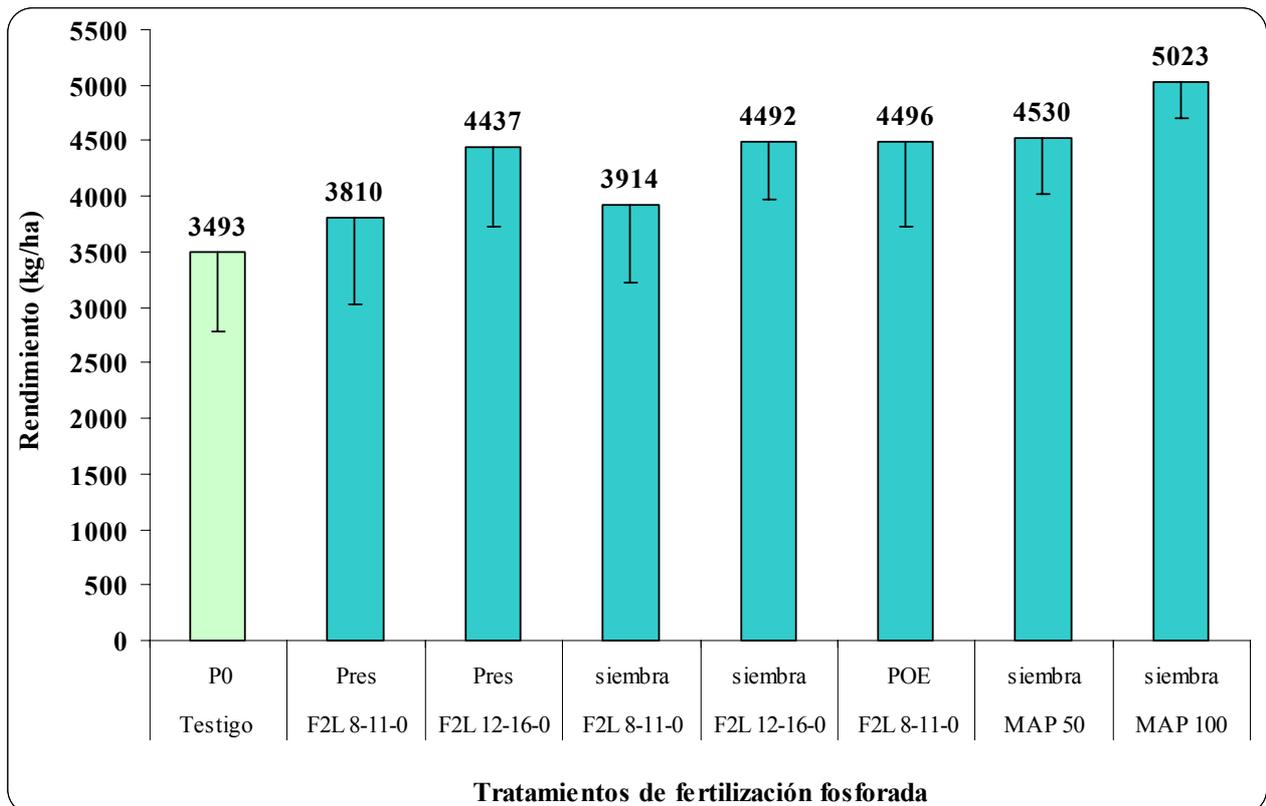


Figura 3.b

Figura 3: Rendimiento de grano de trigo de diferentes fuentes, dosis y momentos de aplicación de fósforo, en combinación con a) 50 (columnas verdes), 100 (columnas azules) o b) el promedio de ambas dosis de nitrógeno (columnas amarillas). Letras distintas dentro de una misma dosis de nitrógeno representan diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0,05$). Las barras de error indican la desviación standard de la media. Pergamino, año 2009.

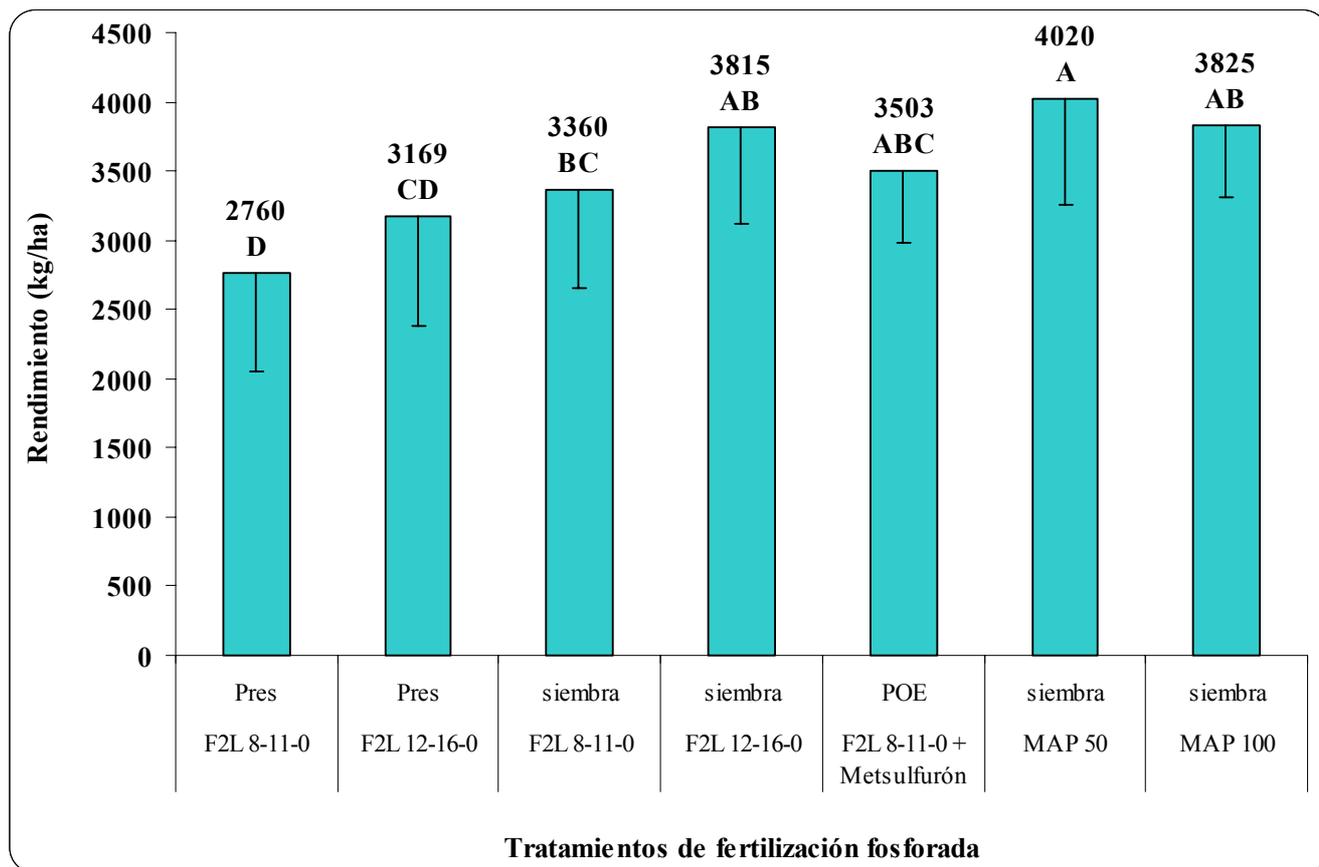


Figura 4: Rendimiento de grano de trigo de diferentes fuentes, dosis y momentos de aplicación de fósforo. Letras distintas representan diferencias significativas entre tratamientos ($P < 0,05$). Las barras de error indican la desviación standard de la media. San Antonio de Areco, año 2009.

Consideraciones finales

Los fertilizantes líquidos evaluados demostraron ser eficaces para incrementar los rendimientos, en comparación con los testigos no fertilizados. Las aplicaciones de siembra fueron igual (Pergamino) o más eficientes que las anticipadas (San Antonio de Areco). Los tratamientos de postemergencia en general alcanzaron rendimientos inferiores, y no serían recomendables a causa de la baja movilidad del nutriente.

En ambos ensayos se verificó un importante efecto de dosis. Por este motivo, sería recomendable aplicar dosis no demasiado bajas de los fertilizantes líquidos o complementar su uso con fuentes de alto grado de P. De esta manera se conseguiría maximizar los rendimientos y a la vez, permitir un balance equilibrado de P en el suelo.

Bibliografía

- CASSMAN, K.G. 1999. Ecological intensification of cereal production systems: Yield potential, soil quality, and precision agriculture. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 96(23): 13143-13148.
- MARSCHNER, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London 2nd edition. 889 pp.
- MOLLIER, A. and S. PELLERIN. 1999. Maize root system growth and development as influenced by P deficiency. *Journal Experimental of Botany* 50 (333): 487-497.
- PLENET, D.; S. ETCHEBEST; A. MOLLIER and S. PELLERIN. 2000. Growth analysis of maize field crops under P deficiency. *Plant and Soil* 223(1-2): 119-132.