

FERTILIZACIÓN FOSFATADA EN TRIGO EN LA ZONA SEMIÁRIDA: SU INFLUENCIA SOBRE EL RENDIMIENTO Y LA EFICIENCIA EN EL USO DEL N Y DEL AGUA

Fernando M. López, Matias Duval, Juan M. Martínez y Juan A. Galantini*



Dentro de la zona semiárida, el trigo es el cultivo que ocupa la mayor superficie en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires. Un factor clave en los sistemas productivos de esta zona es el manejo del recurso agua, primer limitante de los rendimientos, seguido por el fósforo y el nitrógeno (según el sitio). Por ello se evaluó la respuesta a la fertilización con fósforo y su influencia sobre la nutrición del cultivo y la eficiencia en el uso del agua.

La principal característica que define a la zona semiárida es la erraticidad de las precipitaciones. Ello implica la variabilidad de las mismas, tanto en su distribución como en cantidad. Una consecuencia directa de lo expuesto consiste en la disparidad de los rendimientos interanuales de los cultivos.

Dentro de la zona semiárida, el trigo (*Triticum aestivum* L.) es el cultivo que ocupa la mayor superficie en el sudoeste de la provincia de Buenos Aires. Dicha zona se corresponde con la subregión V Sur, se cultivan aproximadamente 1 millón de hectáreas anuales, lo que representa el 20% de la superficie nacional. Los rindes promedios de la zona oscilan entre 1600 y 1900 kg ha⁻¹.

En los últimos años ha aumentado el interés por la sustentabilidad y la reducción de los costos ambientales de los agroecosistemas, por lo que la fertilización de los cultivos se convirtió en una herramienta necesaria, ya que permite incrementar la eficiencia del sistema agrícola y mantener la productividad de los mismos debido a la reposición de nutrientes. Sin embargo, las grandes diferencias de rindes ocasionadas por la variabilidad de las precipitaciones, generan que la decisión de fertilización se torne dificultosa, ya que la respuesta del cultivo está ligada a la disponibilidad de agua. En particular, en el sudoeste bonaerense el nitrógeno (N) y el fósforo (P) son los nutrientes con mayor deficiencia comprobadas (Loewy y Sewald, 1980; Loewy y Puricelli, 1982). Los altos rendimientos de los cultivos agrícolas han incrementado la tasa de extracción del P, aumentando el área con baja disponibilidad de P asimilable, debido a que las dosis de aplicación de fertilizantes han sido muy inferiores a la exportación (García, 2005). Este es un costo de producción que no ha sido incluido en los cálculos de la rentabilidad de la empresa agropecuaria, es decir, es un “costo oculto” que se descubre cuando hay que reponerlo, si se pretende obtener rendimientos altos y sostenidos. Para mantener los niveles de producción, el P debe ser añadido al sistema suelo-planta como

fertilizante mineral para reponer lo que se extrae con la cosecha de granos (Vlek et al., 1997).

En general, la adecuada nutrición del cultivo presenta un impacto positivo en sobre la eficiencia en el uso del agua (EUA), atribuido a una mejora en el crecimiento y en el rendimiento del cultivo. El P incrementa la EUA y la tolerancia de los cultivos a la sequía a través del desarrollo temprano del cultivo que reduce la evaporación del agua del suelo, favoreciendo la transpiración del cultivo, y por la mayor proliferación (exploración del suelo) y actividad de las raíces (Micucci, 2002).

El objetivo del presente trabajo fue cuantificar la incidencia de la fertilización fosfatada en los parámetros del rendimiento del cultivo de trigo en la zona semiárida y su influencia sobre la evapotranspiración del cultivo.

Aspectos metodológicos

El estudio se realizó en el año 2010 en el campo de un productor ubicado en cercanías de la localidad de Saldungaray (38°19` S; 61°44` O), Partido de Tornquist, provincia de Buenos Aires.

Teniendo en cuenta la clasificación climática de Thornthwaite, el clima se ubica dentro del grupo Subhúmedo seco, con nulo o pequeño exceso de agua. La precipitación media anual es 732 mm, concentrada en otoño y primavera, con una estación seca a fines de invierno y otra semiseca a mediados de verano (Tabla 1). El clima es continental templado, con una temperatura media anual de 15°C.

Descripción del perfil:

- Profundidad efectiva: 1 m. (limitado por un horizonte petrocálcico o “tosca”).
- Capacidad de almacenamiento de agua útil: 206 mm
- Densidad Aparente 0-20 cm: 1,39 Mg m⁻³
- C orgánico (0-20 cm): 1,6 %
- pH (1:2,5): 6,75
- Fósforo extraíble (Bray y Kurtz) 0-20cm: 10 mg kg⁻¹
- N total: 0,197 %
- N disponible a la siembra: 30 kg ha⁻¹
- Agua disponible a la siembra: 72 mm

El ensayo consistió en tres dosis de P: un testigo (0 kg P ha⁻¹) y 2 dosis de P aplicadas a la siembra: 10 y 17 kg P ha⁻¹. El P se aplicó utilizando Fosfato Diamónico e igualando las dosis de Nitrógeno. Se utilizaron estas dosis de P (que no son muy altas) porque son dosis de fertilizante que los productores de la zona semiárida están en condiciones de afrontar económicamente. Igualmente, aunque las dosis no fueron exageradas se pudo observar respuestas importantes en rendimiento y desarrollo del cultivo.

La variedad de trigo utilizada fue ACA 303. Durante el ciclo del trigo se evaluó la dinámica de la humedad del suelo en cada parcela, así como la producción de materia seca y grano en los estadios de macollaje, espigazón y cosecha. A las muestras

recolectadas se les efectuaron los análisis para determinar N orgánico total por el método Kjeldhal (Bremner 1996) y P orgánico total (Johnson y Ulrich, 1959).

Se procedió a calcular las Eficiencias de uso del agua para los diferentes estadios según el agua utilizada por cada tratamiento:

$$\text{EUA (kg mm}^{-1}\text{)} = (\text{kg de MS o grano}) / (\text{mm utilizados})$$

También se calcularon las eficiencias de utilización de los nutrientes estudiados:

$$\text{EUP (kg kg P disponible)} = (\text{kg de MS o grano}) / (\text{kg P disponible})$$

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos se utilizó ANOVA y el test DMS para la comparación de medias ($p < 0,05$), a través de INFOSTAT Software estadístico versión 2009 (Di Renzo et al., 2009).

Resultados obtenidos

Fertilización fosfatada y rendimiento

En cuanto a la producción de materia seca, en macollaje se notó un aumento del 48% a favor de los tratamientos fertilizados con P. Esto demuestra un efecto del P sobre los estadios tempranos del trigo, con lo que se logra aumentar el agua evapotranspirada por el cultivo y disminuir las pérdidas por evaporación directa del suelo.

En espigazón la producción de materia fue 35% superior en los tratamientos con P (Tabla 2).

Si bien se observó una tendencia a mayor producción de MS en los tratamientos con P, esta no llegó a ser estadísticamente significativa (Tabla 2). Sin embargo, la aplicación de P produjo un incremento del rendimiento de grano del 22 y 32 %, según se apliquen 10 o 17 kg P ha⁻¹ (Tabla 3). Esto estaría indicando que durante la última etapa del cultivo, donde el agua fue más escasa, una buena provisión de P mejoró la eficiencia con que se utilizó el agua para la producción de grano.

Según Lázaro y Abbate (2001) la baja disponibilidad de fósforo afecta el número de granos por la disminución de la radiación interceptada debido a una menor expansión foliar. En el ensayo realizado no se observó una diferencia estadística en el número de granos, aunque se vio una tendencia a aumentar este parámetro por la fertilización fosfatada (Tabla 3).

Se evidenció un aumento del peso de los granos en aquellas parcelas fertilizadas con P, lo que demuestra que con una adecuada fertilización fosfatada se logra una mayor traslocación de fotoasimilados producidos por la planta hacia el grano.

Como la producción de materia seca aérea total fue similar en todos los tratamientos pero la producción de grano fue mayor en los tratamientos con P, se evidencia un aumento del índice de cosecha en las parcelas fertilizadas. Este mayor índice de cosecha observado en los tratamientos con P nos demuestra que aquellas plantas con una adecuada fertilización con P destinan mayor proporción de los fotoasimilados a los granos, lo que produce un aumento en el rendimiento de grano.

La fertilización fosfatada no modificó la cantidad de N absorbido por el cultivo pero sí se modificó la cantidad de N que se removilizó hacia los granos, demostrando una mayor traslocación de fotoasimilados a los mismos. Mientras en el testigo (sin fósforo)

solo el 67% del N total de la planta se localizaba en los granos, en aquellos tratamientos fertilizados con P el 75% del N se encontraba en los granos (Tabla 4).

Si bien en los tratamientos con P una mayor cantidad de N se destinó a los granos, el porcentaje de proteína disminuyó debido al aumento del rendimiento. Igualmente el contenido de proteína no bajó de 13% para ningún tratamiento, por lo que no bajaría la calidad del trigo para la comercialización.

Debido al aumento del rendimiento por la fertilización con P se observó un aumento en la eficiencia de uso del Nitrógeno en todos los tratamientos con P respecto al testigo. Así, la aplicación de Fósforo a la siembra, al aumentar la eficiencia con la que se usa el N, nos permitiría aumentar el retorno económico por cada kg de N aplicado como fertilizante.

En la Figura 1 se observa que el rendimiento del cultivo de trigo en suelos deficientes está muy relacionado con la absorción total de fósforo por la planta. Así, según el cultivo absorba 4 o 11 kg ha⁻¹ de P, los rindes podrán ir de 1500 a 3500 kg ha⁻¹.

Como se observa en la Figura 1 el rendimiento de grano dependió de la absorción de fósforo por la planta. Maske et al. (2001) informaron que la mayor eficiencia en el uso del P (EUP) en diferentes variedades en ambientes con deficiencias se asoció con una mayor eficiencia de absorción del P. En el ensayo si bien no aumentó la eficiencia de absorción del P para los diferentes tratamientos (fue siempre de aproximadamente el 20%), si aumentó la cantidad total de P absorbido según la dosis de fertilizante (Tabla 5).

La utilización del fertilizante por el cultivo, es decir, la absorción del fertilizante aplicado, varió entre el 12,8 y 15,9% según la dosis, mostrando muy bajas eficiencias de utilización del fertilizante en el año de la aplicación.

Al aumentar la absorción de P con la fertilización, también se incrementó la concentración de fósforo en el tejido de las plantas de 0,09% a 0,11 o 0,12% según la cantidad de P aplicado (Tabla 5). La cantidad de P en los rastrojos fue menor a 1 kg ha⁻¹ para todos los tratamientos, no mostrando diferencias significativas.

Además de aumentar la concentración de fósforo en grano, en los tratamientos fertilizados también aumentó el rendimiento, por lo que la extracción de fósforo fue mayor. Sin embargo el balance fue positivo en los tratamientos fertilizados (aplicamos 10 o 17 kg ha⁻¹ de P y se extrajeron 6,48 y 7,99 kg P ha⁻¹ respectivamente).

El índice de cosecha del fósforo no varió entre los tratamientos y el testigo ya que todas las plantas destinaron aproximadamente el 90% del P absorbido al grano.

El fósforo y el uso del agua

Desde la siembra hasta el macollaje aquellos tratamientos con P evapotraspiraron mayor cantidad de agua que aquellas parcelas sin P. Esta mayor evapotranspiración explicaría la mayor producción de Materia Seca al macollaje (Tabla 2).

De macollaje a espigazón la evapotranspiración fue similar en todos los tratamientos, pero siempre la disponibilidad de agua útil disponible fue menor en los tratamientos con P.

La evapotranspiración total, es decir, el agua utilizada por el trigo para producir materia seca (paja y grano) fue mayor en los tratamientos fertilizados con P. Esta mayor

utilización de agua por el trigo fertilizado con P se debe a que las parcelas fertilizadas pudieron utilizar humedad retenida en el perfil a tensiones superiores a 15 atmósferas, mientras que aquellas parcelas no fertilizadas no pudieron utilizar este agua.

La fertilización con P provocó un aumento de la EUA durante los primeros estadios del trigo, ya que hasta macollaje y espigazón se producía más materia seca por cada mm de agua evapotraspirado por el cultivo. La EUA para materia seca total no mostró diferencias significativas pero se observó una tendencia a una mayor producción de materia seca por los tratamientos fertilizados, ya que estos utilizaron más agua.

En cuanto a la EUA para grano, los tratamientos fertilizados produjeron más kg de grano por mm consumido. Esta mayor producción de grano por mm consumido se debería a una mayor traslocación de fotoasimilados hacia los granos por cada mm de agua utilizada por el cultivo. Además, hay que tener en cuenta que los tratamientos con P además de producir más grano por cada mm disponible también utilizan mayor cantidad de mm de agua del suelo, con lo que la diferencia de rinde aumenta notablemente.

Consideraciones finales

En la zona semiárida, en suelos deficientes de P, el rendimiento del cultivo de trigo estaría relacionado con la absorción de Fósforo por el cultivo. Dicha absorción es posible aumentarla con la fertilización fosfatada a la siembra.

La fertilización con Fósforo en suelos deficientes provoca un aumento del rinde de grano de entre el 22 y el 32 %.

El aumento del rendimiento de grano causado por la fertilización con fósforo sería explicado por:

- un aumento del peso del grano, consecuencia de una mayor traslocación de fotoasimilados durante el llenado del grano.
- un mayor aprovechamiento del agua retenida en el perfil, posiblemente debido a un mayor desarrollo radical.
- la mayor eficiencia de uso del agua, ya que en los tratamientos con fósforo hay mayor producción de grano por mm evapotraspirado.
- En suelos deficientes en P, al fertilizar se logra extraer más agua del perfil del suelo, aun la que está retenida a tensiones mayores a 15 atmósferas.

Agradecimientos

Los autores quieren agradecer a los productores de la Regional Bahía Blanca de AAPRESID, en especial a Miguel Manuel López, propietario del establecimiento donde se realizaron los ensayos, a Profertil S.A. y al proyecto BIOSPAS (BID 1728 OC-AR PAE 36976 / PID 53).

Bibliografía

Bremner J M. 1996. Nitrogen - Total. En: Methods of Soil Analysis, part 3. Ed. Sparks, D. IL, Chemical Methods, 1085 - 1123.

- García F. y Berardo, A. 2005. Trigo. In: H.E. Echeverría y F.O. García (Eds.). Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos. Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina. 233-253.
- Johnson C. M., Ulrich A. 1959. II Analytical methods. For use in plant analysis. 26-77. California Agricultural Experimental Station Bulletin 766.
- Lázaro L; Abbate, P.E. (2001). Deficiencias de fósforo como determinantes del número de granos en trigo. Actas del V Congreso Nacional de Trigo. Villa Carlos Paz, Córdoba.
- Loewy T., Puricelli C.A. 1982. Disponibilidad de Fósforo en suelos del área de la E. E. A. Bordenave. Informe Técnico n° 28.
- Loewy T., Sewald H. A. 1980. Fertilidad nitrogenada para trigo en suelos del SO bonaerense. IX Reunión Argentina de la ciencia del suelo II: 533-536.
- Maske G.G.B.; Ortiz-Monasterio, J.I.; Van Ginkel, M.; Gonzales, R.M.; Fischer, R.A.; Rajaram, S.; Vlek, P.L.G. 2001. Importance of P uptake efficiency versus P utilization for wheat yield in acid and calcareous soils in Mexico. European Journal of Agronomy, 14: 261-274.
- Micucci F., Álvarez C. 2002. Impacto de las prácticas de manejo sobre la eficiencia de uso del agua en los cultivos extensivos de la región pampeana argentina. Archivo Agronómico N° 6, Informaciones Agronómicas del Cono Sur N° 15. INPOFOS Cono Sur, Argentina.
- Vlek P.L.G., Kuhne R.F., Denich M., 1997. Nutrient resources for crop production in the tropics. Phil. Trans. R. Soc. London B 352, 975-985.

Tabla 1. Precipitaciones históricas (1887 - 2010) para la localidad de Tornquist y datos del año 2010 en el establecimiento La Casilda, donde se realizó el ensayo.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Total
Histórica	67	81	94	68	44	31	36	32	53	77	73	77	732
2010	30	158	96	5	23	17	48	0	81	103	47	45	653

Tabla 2. Producción de materia seca total aérea (kg ha⁻¹) en el ciclo del cultivo.

	Macollaje	Espigazón	Cosecha
0 P	816 a	3268 a	6657 a
10 P	1211 b	4237 b	7027 a
17 P	1221 b	4497 b	7481 a

Letras minúsculas diferentes en la columna significan diferencias estadísticas (p<0,05)

Tabla 3. Parámetros del rendimiento de grano en el cultivo de trigo con aplicación de diferentes dosis de fósforo (0P, 10P y 17P).

	Espigas m ⁻²	Granos espiga ⁻¹	P 1000	Rinde	Índice de cosecha
0 P	374,9 a	20,01 a	29,91 b	2252,9 b	0,338 b
10 P	383,3 a	21,67 a	33,48 a	2756,0 a	0,374 a
17 P	403,0 a	21,65 a	34,49 a	2977,6 a	0,391 a

Letras minúsculas diferentes en la columna significan diferencias estadísticas (p<0,05)

Tabla 4. Contenido de nitrógeno total absorbido en la materia seca y en grano, proteína e índice de cosecha de nitrógeno.

	N Absorbido (kg ha ⁻¹)	N grano (kg ha ⁻¹)	Proteína grano (%)	Índice de cosecha del N
0 P	88,15 a	58,45 b	15,16 a	0,67 a
10 P	84,32 a	63,51 ab	13,28 b	0,75 b
17 P	91,37 a	69,29 a	13,42 b	0,76 b

Letras minúsculas diferentes en la columna significan diferencias estadísticas (p<0,05).

Tabla 5. Contenido de fósforo total absorbido en la materia seca y en grano, concentración en grano e índice de cosecha del fósforo.

	P total (%)	P grano (%)	P absorbido (kg ha ⁻¹)	P grano (kg ha ⁻¹)	ICP
0 P	0,09 a	0,25 a	6,08 a	5,53 a	0,88 a
10 P	0,11 b	0,24 a	7,36 b	6,48 a	0,91 a
17 P	0,12 b	0,27 b	8,79 c	7,99 b	0,91 a

Letras minúsculas diferentes en la columna significan diferencias estadísticas (p<0,05).

Tabla 6. Humedad disponible (mm) en los estadios de macollaje y espigazón y agua evapotraspirada durante todo el ciclo del trigo(mm).

	Macollaje (mm)	Espigazón (mm)	Evapotraspiración total (mm)
0 P	40,92 a	43,58 a	369,0 b
10 P	29,42 b	30,24 b	380,9 a
17 P	19,21 b	34,93 ab	382,0 a

Letras minúsculas diferentes en la columna significan diferencias estadísticas (p<0,05).

Tabla 7. Eficiencia de uso del agua (EUA) para producir materia seca en macollaje (mac), espigazón (esp) y madurez fisiológica (MS total y grano), en kg mm⁻¹.

	EUA mac	EUA esp	EUA MS total	EUA grano
0 P	6,36 a	13,46 a	17,98 a	6,09 a
10 P	8,40 b	16,42 ab	18,40 a	7,21 ab
17 P	7,76 ab	18,13 b	19,86 a	7,78 b

Letras minúsculas diferentes en la columna significan diferencias estadísticas (p<0,05).

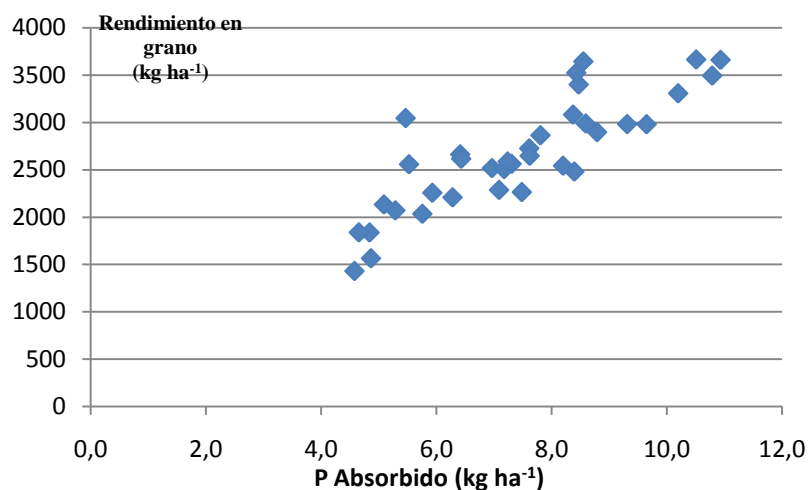


Figura 1. Rendimiento en grano y absorción de P por el cultivo de trigo (P en la materia seca total aérea).

*Fernando M. López^{1,2}; Matias Duval¹; Juan M. Martínez¹; Juan A Galantini^{2,3}, ¹Becarios e ²Investigador del CERZOS. ¹CONICET - CERZOS; ²Dpto. de Agronomía - Universidad Nacional del Sur. San Andrés 800 (8000 Bahía Blanca, BA); ³Comisión de Investigaciones Científicas (CIC, Pcia. BA) CERZOS / Dpto. Agronomía UNS. * Autor de contacto: fmlopez@cerzos-conicet.gob.ar