



Estación Experimental Agropecuaria Pergamino

"Ing. Agr. Walter Kugler"

Desarrollo Rural

Proyecto Regional Agrícola - CRBAN

## DOSIS Y LOCALIZACIÓN DE FUENTES FOSFORADAS EN TRIGO EN EL NORTE, CENTRO Y OESTE DE BUENOS AIRES. CAMPAÑAS 2008 y 2009

*\*G. Ferraris, \*F. Mousegne, \*\*C. Álvarez, \*\*M. Barraco, \*J.J. Cavo, \*L. Couretot, \*\*\*F. Gutiérrez Boem, \*E. Lemos, \*M. López de Sabando, \*C. Ojuez, \*A. Paganini, \*G. Pérez, \*R. Pontoni, \*L. Torrens Baudrix, \*\*C. Scianca, \*R. Sciolotto, \*R. Solá, \*G. Tellería, \*L. Ventimiglia*

### 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 almacenamiento de energía: Los fosfatos son constituyentes del ATP y otros esteres fosfatados que son intermediarios en vías metabólicas de síntesis y degradación.
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 I, y en la elaboración de curvas de respuesta, los cuales deben ser periódicamente actualizadas dados los adelantos permanentes en la aplicación de tecnología y el nivel de rendimiento alcanzado. En los últimos tiempos, se ha avanzado además en aspectos tecnológicos de manejo de fertilizantes, basados en procesos como la aplicación en superficie.

El objetivo de este trabajo fue 1. Evaluar la respuesta de trigo a dosis crecientes de fertilizante fosforado, 2. Actualizar la calibración de umbrales críticos para decidir la aplicación de fertilizantes y 3. Comparar la eficiencia de la aplicación localizada y en banda, cuando son realizados a la siembra del cultivo.

\* Técnicos de Desarrollo Rural INTA Pergamino

\*\* Técnicos de la Estación Experimental Agropecuaria INTA General Villegas

\*\*\* Técnico de la Cátedra de Fertilidad y fertilizantes, FAUBA

## Materiales y métodos

Se realizaron nueve experimentos de campo en las campañas agrícolas 2008 y 2009. Se evaluaron dosis crecientes de P aplicado en cobertura total (voleo) a la siembra. Una de las dosis, por lo general la más alta, se aplicó también incorporada en bandas, para comparar formas de localización. Los experimentos fueron conducidos con un diseño en bloques completos al azar, con tres o cuatro repeticiones en todos los casos. Como fuente de P se usó superfosfato triple de calcio (0-20-0). En todos los sitios se aplicó N y S en altas dosis de modo de evitar posibles interacciones entre nutrientes.

Tabla 1: Tratamientos evaluados en el ensayo. Vol = aplicaciones al voleo, loc= aplicaciones en bandas incorporadas. Entre paréntesis se indica el número de sitios en que se aplicó la dosis indicada, localizada en bandas

| Tratamiento | Fuente                                  | Momento de aplicación | Dosis de P aportada (kg ha <sup>-1</sup> ) |
|-------------|-----------------------------------------|-----------------------|--------------------------------------------|
| T1          | Testigo                                 | siembra               |                                            |
| T2          | P10 vol                                 | siembra               | 10                                         |
| T3          | P20 vol                                 | siembra               | 20                                         |
| T4          | P30 vol                                 | siembra               | 30                                         |
| T5          | P10 loc (2), P20 loc (5), o P30 loc (6) | siembra               | 20-30                                      |

En la Tabla 2 por su parte, se describen algunas características de los sitios experimentales.

Tabla 2: Características de los sitios experimentales.

| Sitio y Año               | Serie de Suelo    | Tipo de Suelo   | Antecesor  | Cultivar     | Nivel de P a la siembra (mg kg <sup>-1</sup> ) | Materia orgánica (%) | Lluvias Jun-Nov (mm) |
|---------------------------|-------------------|-----------------|------------|--------------|------------------------------------------------|----------------------|----------------------|
| Arrecifes 2008            | Arroyo Dulce      | Argiudol típico | Soja       | DM Cronox    | 8,5                                            | 3,2                  | 305                  |
| Pergamino 2008            | Pergamino         | Argiudol típico | Soja       | Baguette 11P | 26,0                                           | 3,0                  | 273,6                |
| Junín 2008                | Junín             | Hapludol típico | Maíz       | DM Cronox    | 7,3                                            | 2,3                  | 251                  |
| Nueve de Julio 2008       | Norumbega         | Hapludol éntico | Soja       | K. Tauro     | 5,2                                            | 3,1                  | 352                  |
| Bolívar 2008              | Bolívar           | Hapludol éntico | Soja       | Baguette 9   | 14,5                                           | 2,2                  | 431                  |
| General Villegas 2008     | Lincoln           | Hapludol típico | Soja       | R. Tijetera  | 13,5                                           | 2,2                  | 303,2                |
| Pergamino 2 2009          | Pergamino         | Argiudol típico | Soja       | Baguette 17  | 12,8                                           | 2,2                  | 242,5                |
| San Antonio de Areco 2009 | Capitán Sarmiento | Argiudol típico | Trigo/Soja | B. Meteoro   | 12,6                                           | 3,1                  | 570                  |
| Nueve de Julio 2 2009     | Norumbega         | Hapludol éntico | Girasol    | Baguette 9   | 5,2                                            | 3,4                  | 331,8                |

## Resultados y discusión

La fertilización fosforada incrementó significativamente los rendimientos de trigo en 4 ( $P<0,05$ ) y 1 ( $P<0,1$ ) de nueve experimentos. Como media de toda la red, la respuesta a P fue estadísticamente significativa ( $P=0,09$ ), sin diferencias entre dosis (Figura 1). El máximo rendimiento se alcanzó en el nivel intermedio ( $20 \text{ kg P ha}^{-1}$ ) (Figura 1), siendo la eficiencia media de los tratamientos de 33,7, 21,1 y  $11,7 \text{ kg trigo kg P}^{-1}$  para la dosis de 10, 20 y  $30 \text{ kg P ha}^{-1}$ , respectivamente.

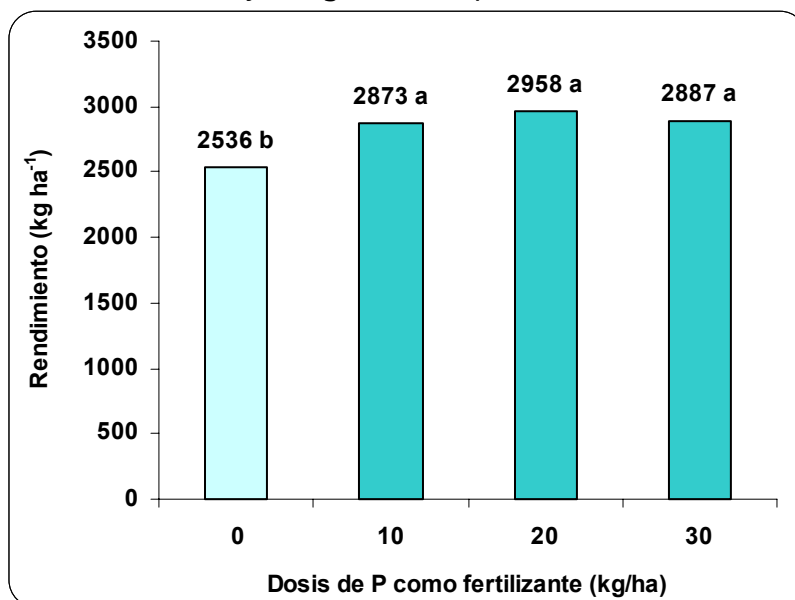


Figura 1: Producción media de grano de trigo por la aplicación de diferentes dosis de fósforo al voleo a la siembra. Los datos son promedio de nueve experimentos, y tres o cuatro repeticiones por experimento. Letras distintas sobre las columnas representan diferencias significativas entre tratamientos ( $P<0,10$ ).

La respuesta en rendimiento ( $R_{to \text{ medio T2,T3,T4,T5}} - R_{to \text{ Testigos}}$ ) (Figura 2.a), y el rendimiento relativo (RR) al máximo calculado como el rendimiento del testigo en relación a la media de todos los tratamientos fertilizados ( $RR = R_{to \text{ Testigo}} / R_{to \text{ medio T2,T3,T4,T5}}$ ) (Figura 2.b), se asociaron fuertemente al nivel de P en suelo a la siembra). Esto confirma la validez del análisis de P-Bray como predictor de la respuesta a la fertilización fosforada. En la región bajo estudio, la importancia del análisis se ve incrementada por el escaso aporte de P proveniente de la mineralización de la materia orgánica, lo que hace al P intercambiable mineral, medido por Bray I, la principal vía de aporte al sistema.

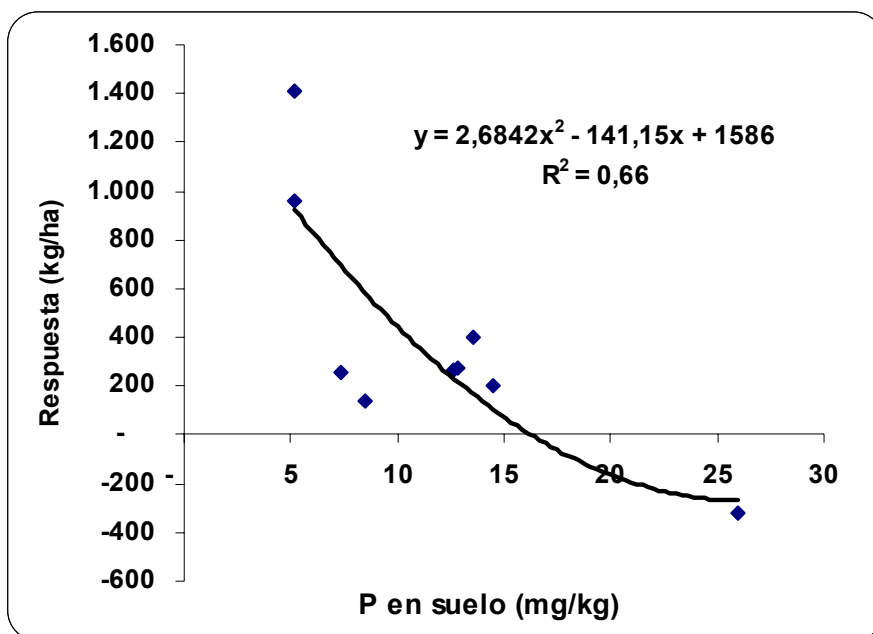


Figura 2.a

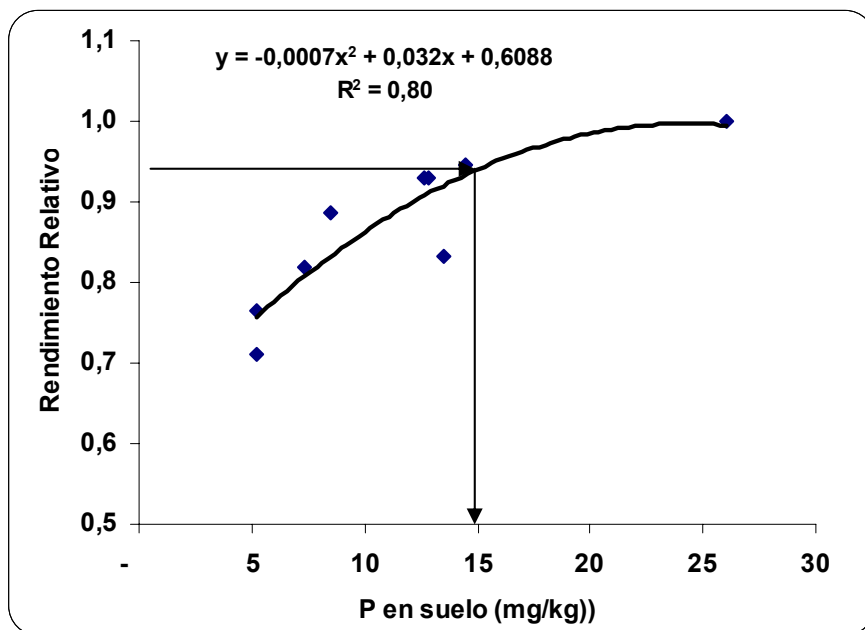


Figura 2.b

Figura 2: Relación entre a) respuesta a la fertilización fosforada media de todas las dosis y b) rendimiento relativo del testigo en comparación a la media de los tratamientos fertilizados y el nivel de P Bray en trigo. Ensayos del norte, centro y oeste de Buenos Aires. Años 2008 y 2009.

Los rendimientos de los tratamientos al voleo y en banda se distribuyen de manera uniforme alrededor de una relación 1:1, indicando que ambas formas de localización muestran un comportamiento similar. La tendencia no está afectada por la dosis de P aplicada. (Figura 3).

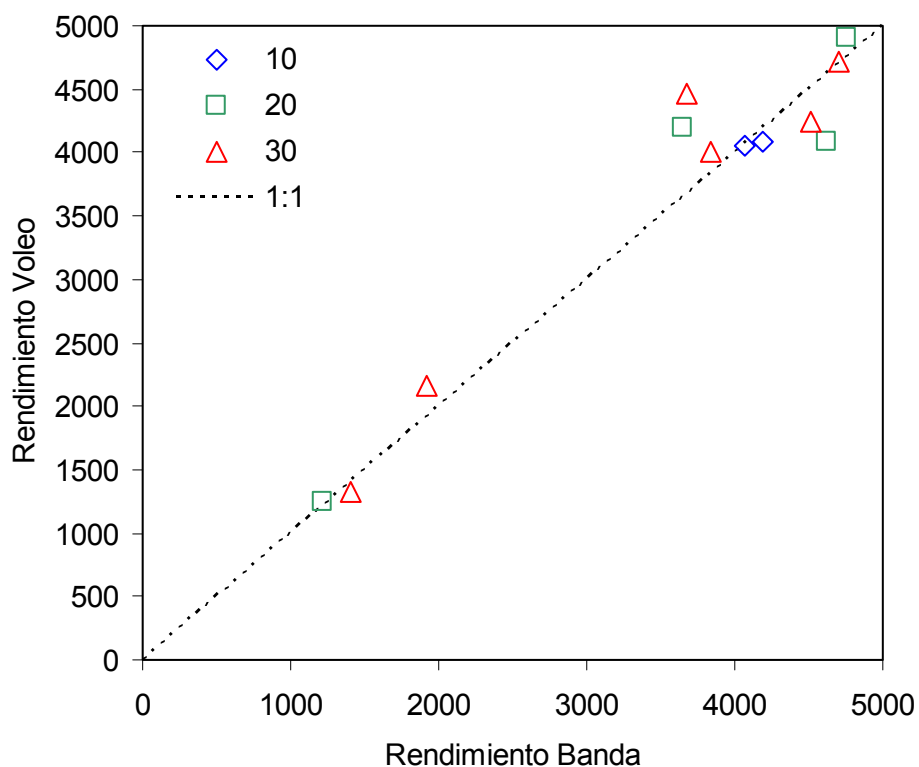


Figura 3: Relación entre el rendimiento de los tratamientos con aplicaciones al voleo y localizado en banda. Los puntos alineados en torno a la relación 1:1 indican ausencia de diferencias entre ambas formas de localización.

Estadísticamente, se pudieron establecer trece comparaciones a través de contrastes combinando sitio y dosis (Figura 4.a). Sólo en dos de estas combinaciones se registraron diferencias entre formas de localización, a favor de aplicaciones en banda. Estas se produjeron en los sitios Pergamino 2 y Bolívar, sitios de textura contrastante y valores medios de P en suelo (Tabla 2). Como promedio de toda la red, la respuesta a la aplicación de P al voleo fue de  $600 \text{ kg ha}^{-1}$ , mientras que en P localizado el incremento alcanzó a  $740 \text{ kg ha}^{-1}$  (Figura 4.b).

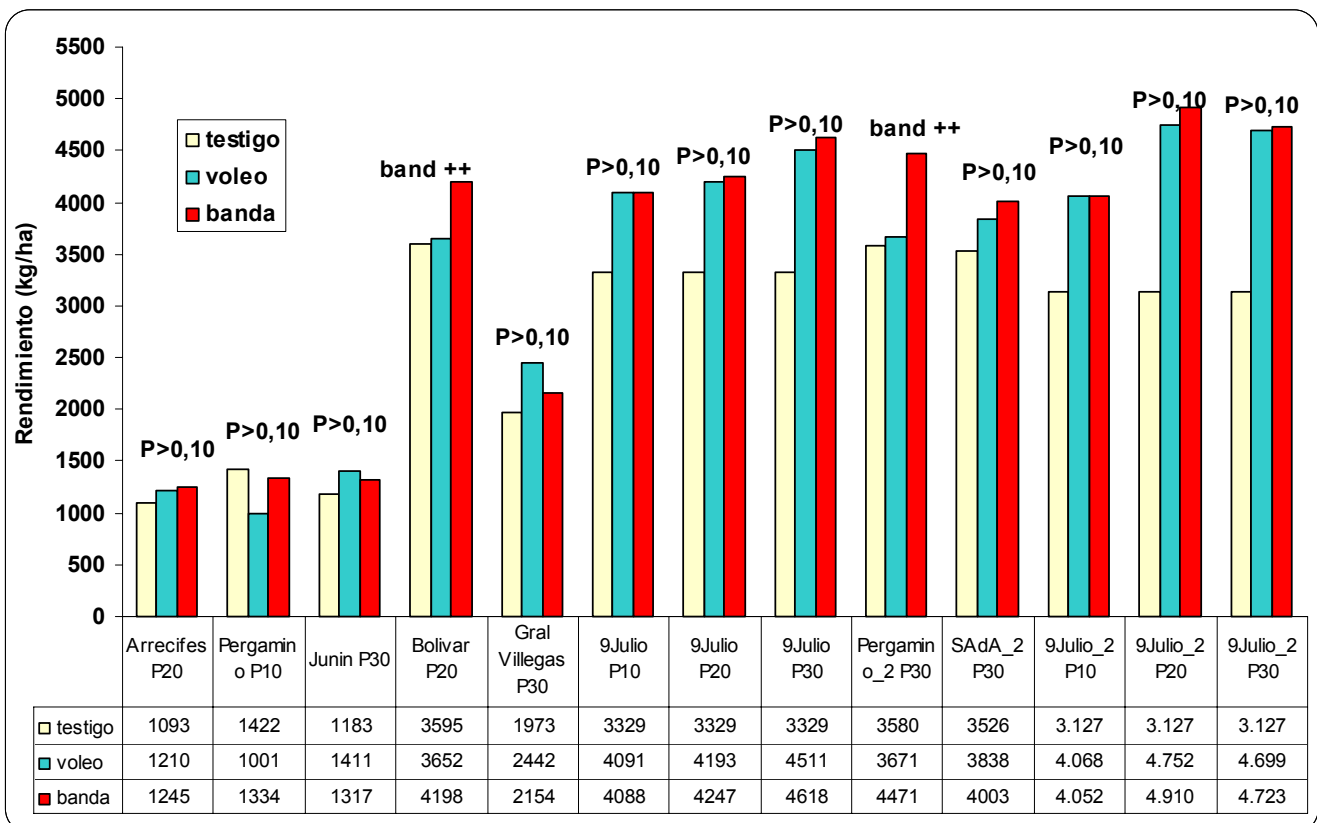


Figura 4.a

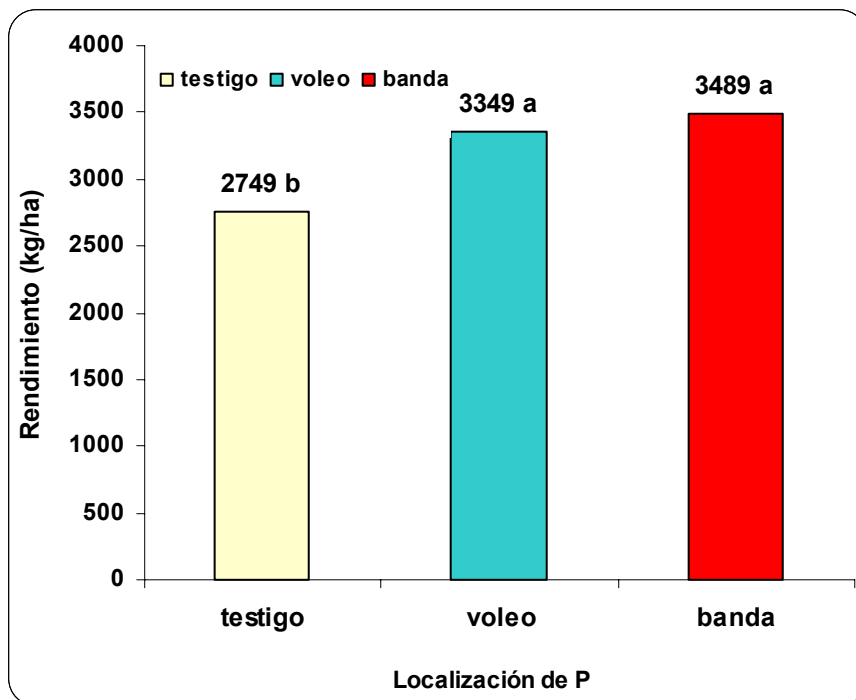


Figura 4.b

Figura 4: Producción de grano de diferentes formas de localización de fósforo en trigo, producto de a) diferentes combinaciones de sitio-dosis y b) promedio de todas las situaciones evaluadas. Letras distintas sobre las columnas representan diferencias significativas entre tratamientos ( $P < 0,05$ ). Años 2008 y 2009.

Cabe destacar que este análisis de esta red se fundamenta en el concepto de suficiencia, consistente en establecer umbrales críticos de respuesta a la fertilización en base a la eficiencia de uso del nutriente con el objetivo de maximizar el beneficio económico. Esto no contempla la reposición de

las cantidades de nutrientes exportadas con los granos, aspecto relevante para la sustentabilidad de los sistemas productivos.

Algunos de los ensayos de 2008 fueron conducidos bajo condiciones de estrés hídrico severo, como sucediera en Arrecifes, Pergamino, Junín y General Villegas (Tabla 1), de lo cual dan cuenta sus rendimientos (Figura 4.a). Esto constituye un fuerte condicionante al uso eficiente de los nutrientes. Sin embargo, en algunas de estas localidades igualmente se pudo verificar respuesta significativa a la fertilización, demostrando la importancia del P como factor de estabilidad en los rendimientos. Ambientes extremadamente desfavorables como los verificados en Arrecifes, Pergamino o Junín durante el primer año de ensayos impedirían la expresión de respuesta a la fertilización, cualquiera fuera el nutriente evaluado. Gutiérrez Boem y Thomas (1998), en ensayos con estrés hídrico moderado, mencionan independencia entre respuesta a la fertilización fosforada en trigo y disponibilidad hídrica.

## Conclusiones

El cultivo de trigo respondió incrementando significativamente sus rendimientos por el agregado de P en cinco de nueve ensayos. El máximo rendimiento se alcanzó con la dosis de 20 kgP ha<sup>-1</sup>, siendo las eficiencias observadas de 33,7, 21,1 y 11,7 kg trigo kg P<sup>-1</sup> para la dosis de 10, 20 y 30 kg Pha<sup>-1</sup>, respectivamente.

La respuesta a la fertilización estuvo fuertemente asociada a la disponibilidad inicial de P y poco asociada al rendimiento del cultivo o la magnitud de las precipitaciones, demostrando la utilidad del análisis de suelo como criterio de decisión.

Aún en un cultivo de invierno bajo restricción de precipitaciones, la aplicación de P al voleo incrementó los rendimientos. La aplicación en banda alcanzó un diferencial de 140 kg ha<sup>-1</sup>, pero no modificó la tendencia general de respuesta. Los rendimientos de los tratamientos localizados y al voleo se agruparon en torno a una relación 1:1

El P es un elemento primordial para la producción de gramíneas invernales. La actualización de herramientas de diagnóstico y la evaluación permanente de nuevas alternativas tecnológicas es un aspecto relevante con el fin de sostener elevados niveles de rendimiento a través del tiempo.

## Bibliografía

CASSMAN, K.G. 1999. Ecological intensification of cereal production systems: Yield potential, soil quality, and precision agriculture. *Proceedings of the National*.

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.

GUTIERREZ, BOEM F.H. y G. THOMAS. 1998. Phosphorus nutrition affects wheat response to water deficit. *Agronomy Journal* 90: 166-171.