

## RENTABILIDAD DE LA FERTILIZACION: ALGUNOS ASPECTOS A CONSIDERAR

Fernando García\*

### Introducción

Evaluaciones de la rentabilidad de explotaciones agropecuarias generalmente indican que las empresas más rentables se caracterizan por presentar menores costos, altos rendimientos y mayor atención al manejo de suelos y cultivos. Estas condiciones caracterizan a los productores más eficientes y de mejor manejo empresarial. La fertilización forma parte integral del manejo rentable de los cultivos. En este artículo se discuten algunos aspectos de importancia acerca del manejo rentable de esta práctica agronómica.

### Principios económicos básicos de la fertilización

Para alcanzar una mayor rentabilidad se debe invertir más tiempo evaluando distintas situaciones y buscando información que ayude a tomar decisiones correctas. Siempre es importante, no solamente cuando los precios de los granos son bajos, basar las decisiones de manejo de nutrientes en principios científicos probados. Un principio científico probado es aquel que puede ser reproducido en distintas situaciones. La investigación en fertilidad de suelos y fertilización de cultivos se ha desarrollado durante mucho tiempo y ha establecido principios básicos, evaluados por diversos investigadores en muchas situaciones. A continuación se presentan algunos conceptos básicos que deben tenerse en cuenta para evaluar la rentabilidad de la fertilización.

### Costos e ingresos asociados con el uso de fertilizantes

Los análisis económicos precisos deben considerar todos los costos e ingresos asociados con la fertilización (Tabla 1). Al calcular los costos debe tenerse en cuenta que hay insumos que deben amortizarse en un período mayor al año. Este sería el caso del muestreo de suelos y análisis para nutrientes de baja movilidad como fósforo (P) y potasio (K) que pueden ser evaluados cada dos o tres años. Lo mismo sucede con el costo de aplicaciones de reposición para cubrir requerimientos nutricionales de más

ABRIL 2000

No. 39

## CONTENIDO

	Pág.
Rentabilidad de la fertilización: Algunos aspectos a considerar	1
Deficiencia de Ca en tomate ( <i>Lycopersicon esculentum</i> L.)	7
Manejo de nutrientes en agricultura por sitio específico en cultivos tropicales	9
Reporte de investigación reciente	14
Cursos y Simposios	15
Nuevo servicio de INPOFOS	15
Publicaciones de INPOFOS	16

Editor: Dr. José Espinosa

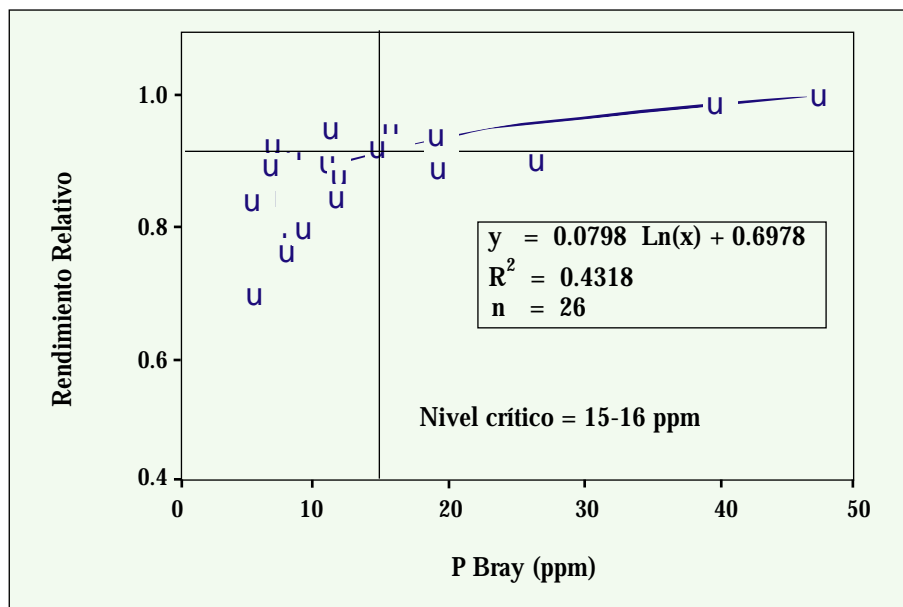
Se permite copiar, citar o reimprimir los artículos de este boletín siempre y cuando no se altere el contenido y se cite la fuente y el autor.

\* Artículo adaptado por el Dr. Fernando García de: Murrell S., y R. Munson. 1999. Phosphorus and potassium economics in crop production. *Better Crops with Plant Food* 83 (3):28-32. El Dr. García es Director de la oficina para el Cono Sur de INPOFOS. E-mail: fgarcia@ppi-ppic.org

de un cultivo. La Tabla 2 presenta ejemplos de algunos costos anuales asociados con la fertilización y su posible amortización.

El cálculo de los ingresos generados por la fertilización se realiza a partir del incremento en rendimiento obtenido. Estudios de campo a largo plazo han demostrado que el análisis de suelos es un importante indicador para determinar la probabilidad de respuesta a la fertilización. A partir de estos estudios se ajustan curvas de calibración que permiten determinar niveles de disponibilidad de nutrientes óptimos para la producción de cultivos (Figura 1). Estas curvas de calibración relacionan el análisis de suelos, los rendimientos esperados y las probabilidades de respuesta. Las curvas se generan a partir de la respuesta del cultivo a niveles de fertilización en estudios conducidos en numerosos sitios y bajo diferentes niveles de disponibilidad inicial de los nutrientes.

En la Figura 1, la curva de calibración ajusta la relación entre el rendimiento relativo de maíz y el nivel de P disponible en el suelo (P analizado con Bray 1). Los



**Figura 1. Rendimiento relativo de maíz en función del nivel de P disponible (Bray 1) en el sudeste de Buenos Aires (Argentina). Datos de 26 sitios-años de García y colaboradores (EEA INTA-FCA Balcarce).**

rendimientos relativos para un sitio y año específico se calculan dividiendo el rendimiento promedio del tratamiento sin fertilizar por el rendimiento promedio del tratamiento fertilizado con dosis no limitantes para la producción del cultivo. Esta relación se convierte en un porcentaje que se relaciona con el nivel de disponibilidad del nutriente en el sitio, de manera que cada sitio-año genera un punto en la curva de calibración.

La Figura 1 muestra también el nivel crítico de disponibilidad del nutriente. El nivel crítico indica un nivel particular de nutriente en el suelo. A contenidos del nutriente menores al nivel crítico la probabilidad de respuesta es mayor. A valores mayores del nivel crítico no se espera que la disponibilidad del nutriente limite los rendimientos.

Utilizando una curva de calibración como la de la Figura 1 se puede estimar la respuesta en rendimiento. Así, si consideramos un suelo con un análisis de suelo

**Tabla 1. Ingresos y costos asociados con la fertilización.**

Costo	Ingresos
Muestreo de suelos	Mayor rendimiento
Análisis de suelos	Mejoras de calidad
Fertilizante	
Aplicación	
Gastos adicionales (por mayor rendimiento) de cosecha, secado y almacenaje	

**Tabla 2. Ejemplo de cálculos de costos anuales asociados con la fertilización.**

Actividad	Costo US \$	¿Amortizable?	Años de amortización	Costo anual US \$
Muestreo	1 por ha	si	4	0.25
Análisis de suelo para pH, P, K	20 por muestra	si	2	10
Fertilizante (P, K)	1.6 por kg P	si	2	0.8 por kg P
Aplicación	7 por ha	si	2	3.50
Adicional de cosecha	Variable	no	-	
Adicional de transporte y almacenaje	0.11-0.21 por ton	no	-	
Adicional de secado	0.9-1.0 por ton	no	-	
Adicional de almacenaje	Variable	no	-	

de 6 ppm P Bray, la respuesta esperada a la aplicación de P es de 16%. Para un rendimiento objetivo de 9000 kg/ha, esta respuesta será de 1440 kg/ha ( $9000 \text{ kg/ha} \times 0.16$ ).

### Ingresos por fertilización no relacionados con incrementos de rendimiento

Los beneficios de la fertilización con nutrientes como P y K no se limitan al incremento en rendimiento. Estos nutrientes también mejoran la calidad del producto. Algunos beneficios de la aplicación de P y K se presentan en la Tabla 3.

En general, estos beneficios son difíciles de cuantificar. Por ejemplo, muy pocas veces se tiene en cuenta la calidad en la evaluación económica de la

fertilización. La Figura 2 muestra los efectos de la fertilización fosfatada en la nodulación de soya en un ensayo realizado en el Oeste de Buenos Aires (Argentina).

### Mayores rendimientos disminuyen los costos de producción por unidad de rendimiento

Al presentarse dificultades financieras, los productores tratan de bajar los costos fijos y variables. Los costos fijos son más inflexibles y no hay muchas oportunidades para reducirlos. Sin embargo, los costos fijos pueden ser manejados mejorando la eficiencia con decisiones que disminuyan gastos, tales como el mantenimiento adecuado en lugar de la compra de equipos nuevos. Muchos productores buscan

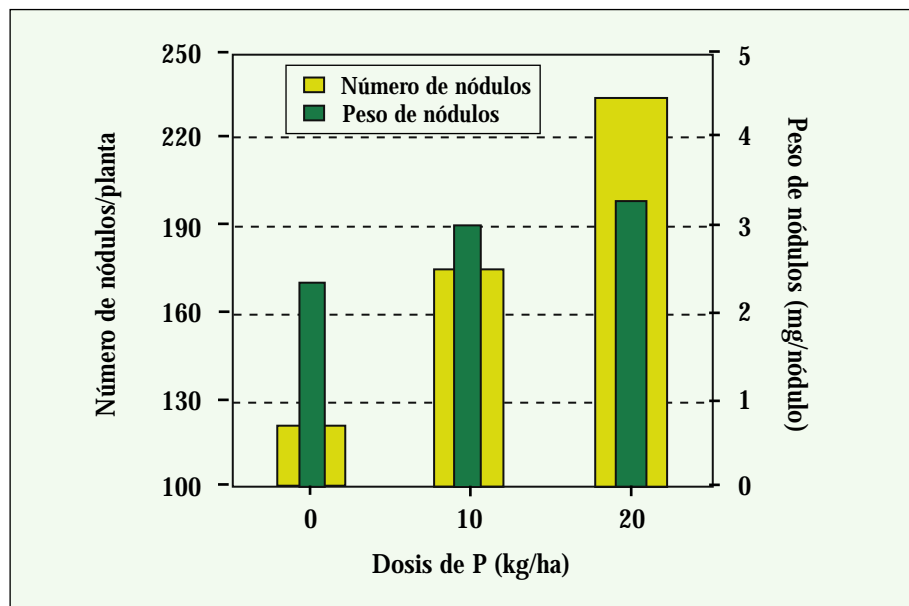
reducir costos variables y uno de ellos es la reducción del uso de fertilizantes. La alternativa de disminuir los costos variables reduciendo el uso de fertilizantes debe ser cuidadosamente considerada. El uso apropiado de fertilizantes puede resultar en incrementos de rendimiento que ayudan a diluir los costos fijos y variables en más toneladas por unidad de área, disminuyendo el costo total de producción por tonelada. La reducción de los costos por tonelada indica que la empresa está operando de forma más eficiente, una característica de las explotaciones más rentables.

El cálculo de los costos por tonelada requiere no solamente de los costos del fertilizante, sino también de todos los costos fijos, indirectos o de explotación y de los costos directos asociados con el establecimiento y el manejo del cultivo en particular. Los costos promedio de producción pueden ser obtenidos de cada finca, o de asociaciones de productores, cooperativas, etc.

Como ejemplo, la Tabla 4 muestra los costos de producción por tonelada de trigo para el tratamiento testigo sin fertilizar y para el tratamiento fertilizado con 22 kg/ha de P, bajo distintos niveles de disponibilidad de P (Bray I) en ensayos de fertilización conducidos en 1996 y 1997 en Balcarce (Buenos Aires, Argentina) por Berardo y colaboradores (1998b). Los costos por tonelada se estimaron dividiendo los costos totales de producción por las toneladas obtenidas en cada tratamiento y situación. En los costos totales se incluyeron los costos fijos o indirectos para una explotación típica del área y los costos variables correspondientes. El precio de trigo considerado fue de US\$70 descontando los gastos de comercialización. El precio del

**Tabla 3. Beneficios de la aplicación.**

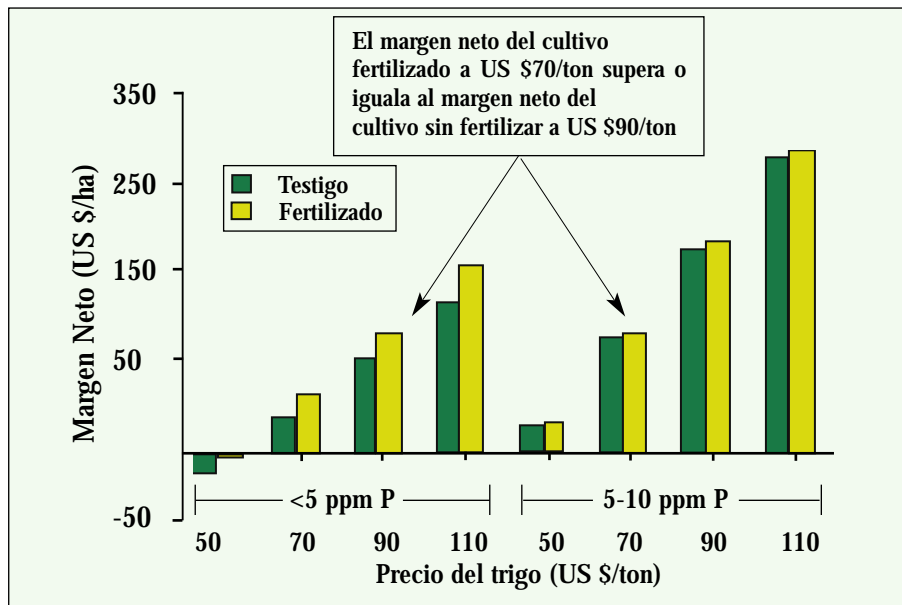
Fósforo	Potasio
Mayor nodulación de leguminosas Mejor eficiencia de uso del agua	Mayor nodulación de leguminosas Mayor resistencia a condiciones de estrés
Mayor resistencia a enfermedades Mejor calidad	
Maduración más rápida Mayor crecimiento radicular	Mayor desarrollo de granos Mayor eficiencia de uso de nitrógeno



**Figura 2. Efecto de la fertilización fosfatada en la nodulación de soya (Díaz Zorita et al., 2000).**

**Tabla 4. Costo por tonelada de trigo producido en el tratamiento testigo y en el tratamiento fertilizado (22 kg/ha P) bajo distintos niveles de P disponible (Bray 1). Adaptado de Berardo et al., 1998b.**

P. Bray ppm	Costo por tonelada de trigo	
	Fertilizado	Testigo
>5	43.9	56.2
5-10	43.2	50.7
10-15	42.4	45.8
15-20	41.7	41.7
20-25	41.0	38.3
>25	40.3	35.4



**Figura 3. Márgenes netos de trigo para distintos tratamientos de fertilización (testigo, fertilizado) y precios de grano (50, 70, 90 y 110 US\$ por tonelada descontados gastos de comercialización) en suelos con menos de 5 ppm y de 5-10 ppm P Bray I. Adaptado de Berardo et al. (1998b).**

fertilizante fue de 1.6 US\$/kg P. Los resultados demuestran que la fertilización fosfatada disminuye los costos por tonelada de grano con respecto al tratamiento testigo para niveles de P ubicados por debajo de 20 ppm, que es el nivel crítico observado en el estudio.

### Precios y fertilización

Con frecuencia se afirma que el precio del producto tiene mayor efecto sobre la rentabilidad que la obtención de altos rendimientos. Si se analiza con cuidado se puede observar que por el contrario, en muchas oportunidades, el obtener rendimientos altos compensa las caídas de precios y permite mantener niveles de rentabilidad

aceptables. La Figura 3, utilizando los datos de Berardo et al. (1998b), muestra los márgenes netos por hectárea obtenidos en los tratamientos testigo y fertilizado para distintos precios de trigo (50, 70, 90 y 110 US\$ por tonelada de trigo, descontados los gastos de comercialización), y en dos situaciones de disponibilidad de P del suelo (menos de 5 ppm y 5-10 ppm P Bray I). A niveles de P menores de 5 ppm, los márgenes netos son superiores para el tratamiento fertilizado a US\$70 que para el tratamiento testigo a US\$90. Para niveles de P de 5 a 10 ppm, los márgenes netos de US\$70 no difieren de US\$90. Bajo estas condiciones, es más rentable la

aplicación de nutrientes que los incrementos de precios de trigo del orden del 28%. Por supuesto, la mayor rentabilidad se observa con el tratamiento fertilizado a US\$110.

### Beneficios a largo plazo de la fertilización fosfatada y potásica

Se ha mencionado el efecto de P y K a largo plazo. El P y K aplicados con los fertilizantes reaccionan en el suelo y pasan a formar parte, en proporciones variables según el tipo de suelo, de la fracción disponible para los cultivos. Este efecto a largo plazo es también conocido como efecto residual. La Tabla 5 muestra los efectos residuales de aplicaciones de 44 y 88 kg/ha de P (equivalentes a 220 y 440 kg/ha de superfosfato triple) sobre la respuesta en rendimiento de trigo y la evolución de los niveles de P (Bray I) a lo largo de 7 años desde las aplicaciones iniciales. Como se observa, el efecto residual sobre el rendimiento es de largo plazo, superior a 5 años, por lo que limitando los plazos de amortización de P y K a corto plazo resulta en estimaciones conservadoras de los retornos económicos.

### Manejo del riesgo

Hay tres tipos básicos de riesgo que los productores enfrentan en un programa de fertilización:

1. Que la aplicación de fertilizantes no sea rentable.
2. Que los niveles de disponibilidad de nutrientes sean limitantes para el rendimiento.
3. Que los niveles de disponibilidad de nutriente no sean suficientemente altos para compensar errores o tiempos económicamente difíciles (flexibilidad reducida).

La Figura 4 muestra como estos riesgos se relacionan con los niveles de disponibilidad de nutrientes en el suelo. A baja disponibilidad existen menores riesgos de que la fertilización no sea rentable, pero mayores riesgos de que los rendimientos sean limitados por la baja disponibilidad o por errores de manejo.

Niveles de fertilidad medios, basados en calibraciones generales, requieren que el muestreo haya sido cuidadosamente realizado y que el lote tenga niveles de disponibilidad uniformes (la variabilidad del campo tiene gran efecto en los resultados del análisis). Además, los niveles medios de disponibilidad requieren aplicaciones anuales de fertilizantes, o al menos aplicaciones suficientes como para cubrir los requerimientos del cultivo. El mejorar los niveles de disponibilidad de medios a altos evita errores y reduce el riesgo de que los contenidos de nutrientes en el suelo sean limitantes para el rendimiento. Además, los productores que han mejorado los niveles de nutrientes en sus suelos pueden dejar de aplicar P o K un año para reducir costos. Sin embargo, el mejoramiento de la disponibilidad de nutrientes a niveles altos aumenta el riesgo de que los beneficios en rendimiento no cubran los costos de fertilización. Cada productor debe tener en cuenta los riesgos asociados con los distintos niveles de disponibilidad y tomar las decisiones basándose en los riesgos que decida aceptar.

### Manejo de los niveles de los nutrientes en el suelo

El análisis de suelos constituye una herramienta básica para realizar estimaciones razonables de respuestas a la fertilización y, como se vio previamente, es

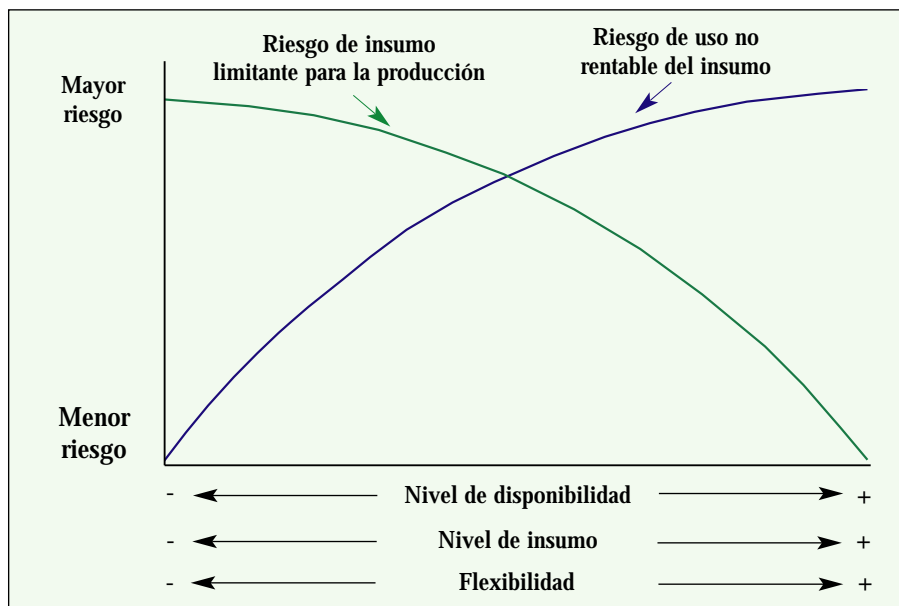
**Tabla 5. Efectos residuales de una aplicación de 44 y 88 kg/ha P en los rendimientos de trigo y el nivel de P disponible (Bray I). Adaptado de Berardo et al. (1998a).**

Año	Incremento en rendimiento de trigo		Nivel de P disponible (P Bray)		
	44 P	88 P	Testigo	44 P	88 P
	----- kg/ha -----		----- ppm -----		
1989	1161	1073	10	16	22
1990	719	974	9	14	17
1991	718	994	11	12	15
1992	612	935	8	11	14
1993	681	746	7	9	10
1994	717	914	8	10	11
1995	279	444	9	11	12

**Tabla 6. Remoción promedio de N, P y K en granos de maíz, trigo, soja y girasol.**

Cultivo	N	P	K
	----- kg/ton grano -----		
Maíz	15	3	4
Trigo	20	4	3
Soya	60 <sup>1</sup>	7	19
Girasol	24	4	7

<sup>1</sup> La fijación simbiótica de N aporta una importante cantidad de N en soya.



**Figura 4. Relación entre los tipos de riesgo y los niveles de disponibilidad de nutrientes en el suelo (D. Leikam, com. pers.).**

importante para el manejo del riesgo. El análisis de suelos es una práctica de manejo de bajo costo en base a la cual se toman decisiones de alto costo.

Es importante recordar que cuando cosechamos un cultivo estamos removiendo o exportando nutrientes del lote. La Tabla 6 muestra la remoción promedio de nitrógeno (N), P y K en distintos cultivos.



La remoción de nutrientes del campo por los cultivos reduce su disponibilidad en el suelo (Tabla 4). Es interesante notar que la disponibilidad de P y K en el suelo disminuye más rápidamente cuando los niveles de disponibilidad iniciales son más altos, por lo tanto, aquellos productores que manejan niveles de disponibilidad elevados y decidan saltar una aplicación de P y/o K deberán monitorear cuidadosamente los cambios que se produzcan para asegurarse que no se afecten los rendimientos.

### Interacciones entre nutrientes

Los efectos de los nutrientes sobre los cultivos son interactivos, generándose beneficios superiores con la aplicación conjunta que con la aplicación individual de cada uno de ellos. De la interacción entre nutrientes surge el concepto de Fertilización Balanceada que no es más que el suministro simultáneo de todos los nutrientes necesarios para alcanzar un determinado rendimiento. Los datos de la Tabla 7 proveen un ejemplo de interacción nitrógeno-fósforo-azufre (S) en maíz. La aplicación conjunta de los tres nutrientes resulta en el mayor rendimiento y la mayor rentabilidad (margen neto).

### Conclusión

Es posible manejar la rentabilidad del sistema considerando otros factores y no solamente a través de la reducción de costos. Se pueden obtener mayores beneficios por medio de:

1. Planificación a largo plazo
2. Análisis de suelos periódico

**Tabla 7. Rendimientos de maíz y márgenes netos con diferentes tratamientos de fertilización NPS. Información: Est. San Marcelo, Juelen S.A.-U.T.E., Teodelina (Santa Fe).**

Tratamiento	Rendimiento kg/ha	Margen neto US\$/ha
Testigo	5695	-
NP	9782	170
NS	9395	175
NPS	10562	209

3. Fertilización específica por lote y cultivo
4. Desarrollo de base de datos.

### Referencias

- Berardo A. y F. Grattone. 1998a. Efecto de la aplicación de P y de su residualidad sobre la producción de trigo (8 años). Actas IV Congreso Nacional de Trigo. EEA INTA-FCA Balcarce. Mar del Plata, Argentina.
- Berardo A., F. Grattone y G. Borrajo. 1998b. Efecto de la forma de aplicación del P sobre la producción de trigo. Actas IV Congreso Nacional de Trigo. EEA INTA-FCA Balcarce. Mar del Plata, Argentina.
- Díaz Zorita M., G. Grosso, M. Fernandez Caniggia y G. Duarte. 2000. Efectos de la ubicación de un fertilizante nitrógeno-fosfatado en la producción de soja en siembra directa. Ciencia del Suelo. En prensa.
- Murrell S. y R. Munson. 1999. Phosphorus and potassium economics in crop production. Parts 1, 2 and 3. Better Crops with Plant Food. No. 3, p. 20-31. Potash and Phosphate Institute. Norcross, Georgia, EE.UU.

