



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES**  
**CURSO MANEJO Y CONSERVACIÓN DE SUELOS**

**MATERIAL TEÓRICO**  
**INGENIERÍA FORESTAL**

**UNIDAD DIDÁCTICA D8 (Anexo)**  
***Fertilidad Química***

**2018**



## ÍNDICE

<b>CONCEPTOS PARA LA TOMA DE DECISIÓN DE LA FERTILIZACIÓN .....</b>	<b>- 3 -</b>
<b>EFICIENCIA AGRONÓMICA DE LA FERTILIZACIÓN (<math>E_f</math>).....</b>	<b>- 4 -</b>
<b>EFICIENCIA MÍNIMA (<math>E_{fm}</math>).....</b>	<b>- 5 -</b>
<b>RENDIMIENTO RELATIVO (RR).....</b>	<b>- 5 -</b>
<b>RESPUESTA .....</b>	<b>- 5 -</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>- 7 -</b>

## CONCEPTOS PARA LA TOMA DE DECISIÓN DE LA FERTILIZACIÓN

Existen diferentes criterios para decidir una fertilización. Uno de ellos es el *propósito de mantener, o aún aumentar, la fertilidad del suelo* con un criterio conservacionista, más allá del efecto sobre un cultivo en una campaña determinada. Para lograr este objetivo deben seguirse distintas estrategias de acuerdo al nutriente en consideración. Si se trata de un nutriente de alta movilidad en el suelo, como por ejemplo el N, la fertilización no será eficiente, pues el N del fertilizante no usado por el cultivo tiene altas probabilidades de perderse en las aguas de drenaje. Usar la estrategia de la fertilización nitrogenada con este objetivo acarrearía seguramente problemas ambientales de contaminación de acuíferos. En este caso debe propiciarse un balance positivo de la materia orgánica y con el aumento de la misma, aumentará la reserva nitrogenada. Si en cambio, el nutriente es de escasa movilidad, como por ejemplo el P, la fertilización es una herramienta sumamente útil para el logro del cometido. Es así que existe vasta experimentación en Argentina para calcular dosis de mantenimiento y construcción de la fertilidad fosforada.

En la Figura 15 se ilustra el incremento del P disponible en función de la dosis de P a través del fertilizante para diferentes situaciones de fijación (Rubio et al, 2007)

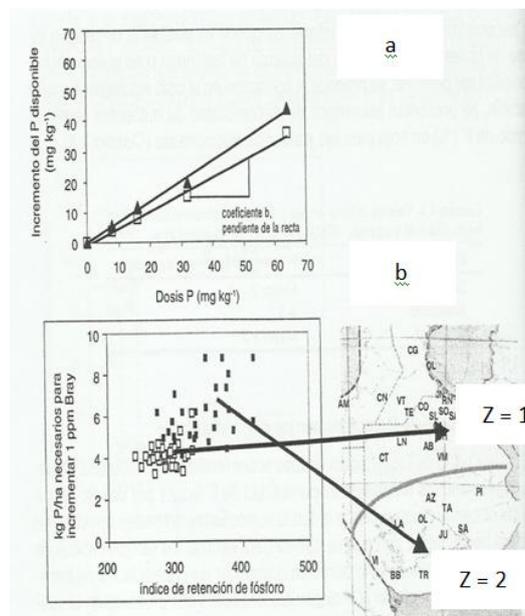


Figura 15. Incremento de la disponibilidad de P en función de la dosis (a), dosis necesaria para lograr el aumento de 1 ppm P según el índice de retención del elemento en 2 zonas del ámbito pampeano (Z: 1 y 2) (b).

Es así que los autores proponen el uso de las siguientes ecuaciones para establecer la cantidad de P necesario para incrementar 1 ppm de P en el suelo:

$$\text{Dosis (kg P/ha)} = 0,1 \text{ densidad (t/m}^3\text{)} * \text{prof. (cm)}/\text{coef. } b$$

Siendo:

$$\text{Coeficiente } b = 0,45369 + 0,00356 \text{ PBray (ppm)} + 0,16245 \text{ Z} - 0,00344 \text{ arcilla (\%)}$$

Las ecuaciones muestran que para una misma profundidad y densidad, cuanto más bajo es el contenido de P (Bray) y mayor el contenido de arcilla, mayor es la dosis necesaria, particularmente en los suelos de la zona z:2.

Una dosis de mantenimiento también podría establecerse a través de saldar la exportación que realizan las cosechas:

$$\text{Dosis (kg P/ha)} = \text{Producción de grano (kg/ha)} * \% \text{ P grano} * \% \text{índice de cosecha de P}$$

Si se pretendiera incrementar la fertilidad, debiera agregarse mayor dosis a la obtenida por este cálculo.

Un segundo propósito al analizar la posibilidad de fertilizar el suelo, es el meramente *económico de la campaña*. Es decir se utiliza un insumo (fertilizante) y se analiza la rentabilidad de su empleo.

Puede ocurrir que el suelo presente deficiencia de un nutriente y que por lo tanto el agregado de fertilizante aumente el rendimiento, pero por una relación poco favorable de precios relativos de la campaña insumo/producto, no se gane dinero, es decir el precio del producto x incremento de producción es < costo de la práctica.

Es necesario entonces, definir algunos conceptos que permiten analizar la conveniencia económica:

### ***EFICIENCIA AGRONÓMICA DE LA FERTILIZACIÓN (Ef)***

Incremento de producción en relación al uso de una unidad del insumo para una dosis dada. Por ejemplo: 13 kg de trigo/kg de N aplicado (para una dosis de 50 kg N/ha). Debe especificarse la dosis, pues en general al aumentar la dosis se reduce la eficiencia por unidad de fertilizante.

$$Ef = \frac{\text{rendimiento del lote fertilizado (kg/ha)} - \text{rendimiento del lote no fertilizado (kg/ha)}}{\text{dosis (kg nutriente/ha)}}$$

Esta eficiencia también puede calcularse en función del contenido del nutriente en el suelo, de la misma manera, para una dosis de fertilización dada.

Una curva característica de eficiencia puede ser la que se muestra en la Figura 16, donde se aprecia que a medida que el suelo posee mayor cantidad de P extractable por el método de Bray-Kurtz, la respuesta en incremento de producción por kg de nutriente agregado como fertilizante disminuye. Esto se debe a la ley de los rendimientos no proporcionales.

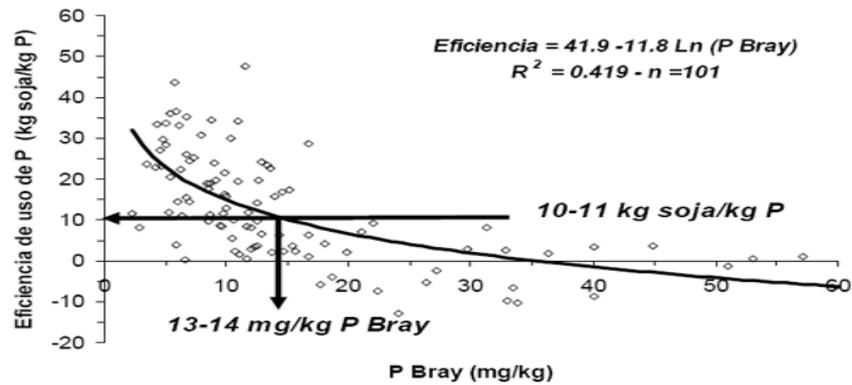


Figura 16. Eficiencia de uso de fósforo (P) en soja en función del contenido de P Bray en el suelo para 101 ensayos en la Región Pampeana Argentina (1996-2004).

Elaborado a partir de información de INTA, Proyecto INTA Fertilizar, FA-UBA, FCA-UNER y CREA Sur de Santa Fe.

### **EFICIENCIA MÍNIMA (E<sub>fm</sub>)**

Mínimo incremento de rendimiento necesario para pagar el costo del fertilizante puesto en el campo y su aplicación.

$$E_{fm} = \frac{\text{costo kg fertilizante (puesto en el campo) y su aplicación}}{\text{precio del kg de producto (descontados gastos de comercialización y cosecha)}}$$

En la Figura 16 se muestra que para obtener una eficiencia de 10 kg de soja/kg P o superior, el valor del P-Bray del suelo debe ser igual o menor a 13-14 ppm. Si esa fuera la eficiencia mínima del año (10 kg de soja para pagar 1 kg de P), se obtendría rédito de la práctica solo en los casos en los que el valor de P en el suelo fuera < 13-14 ppm..

Si en la abscisa de la función en lugar de P-Bray se pusiera dosis, la función sería del mismo tipo, es decir curvilínea descendente. Por esta razón cuando se reduce la dosis se obtiene más rédito por unidad de nutriente aplicado, aunque si se está trabajando por sobre la eficiencia mínima, la ganancia total será menor. Es por ello que en campañas donde la eficiencia mínima es alta por precios bajos de los productos y/o altos de los insumos, es conveniente reducir las dosis para asegurarse que la práctica sea rentable, por el contrario, en años favorables puede aumentarse la dosis, porque a pesar de obtener menos ganancia por cada kg adicional de nutriente aplicado, el incremento seguirá siendo rentable. Esto tiene límites, pues los cultivos pueden llegar a situaciones de no incremento de producción y hasta de toxicidad, según lo describe la ley de rendimientos no proporcionales.

### **RENDIMIENTO RELATIVO (RR)**

Rendimiento del cultivo sin fertilizar en relación al rendimiento máximo ante un valor de nutriente en el suelo, o una dosis de fertilizante o la suma de ambos. Ejemplo: RR=0,8 para un suelo con 15 ppm de P Bray no fertilizado, lo que quiere decir que si no se fertiliza se obtendrá el 80% del rendimiento máximo que podría ser obtenido con una correcta fertilización.

### **RESPUESTA**

Incremento total de producción para el total de dosis de fertilizante usado, en relación a la cantidad de nutriente en el suelo. Ejemplo: Respuesta = 500 kg de soja/30 kg P fertilizante en un suelo con 10 ppm de P Bray.

En la Figura 17 se ilustran ambos conceptos.

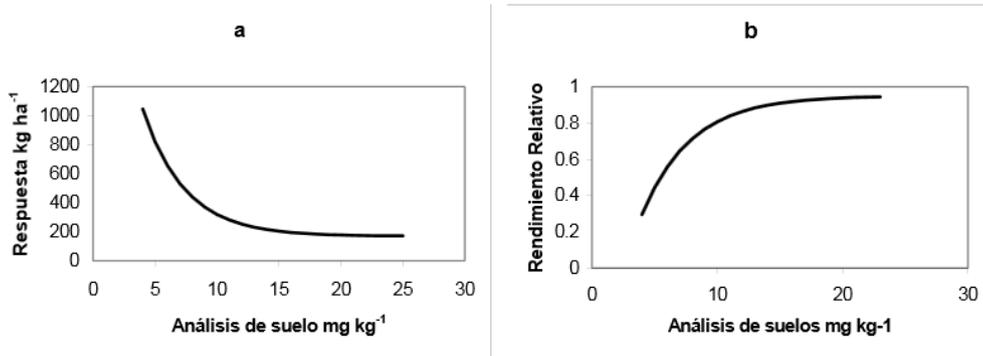


Figura 17. Relación entre la respuesta a la fertilización (a) o el rendimiento relativo (b) y el análisis de suelo.

En la Figura 18 se muestran gráficas de rendimiento relativo de maíz en función de la suma de nutriente en el suelo + fertilizante, analizados con el método estadístico de “modelo lineal y meseta”.

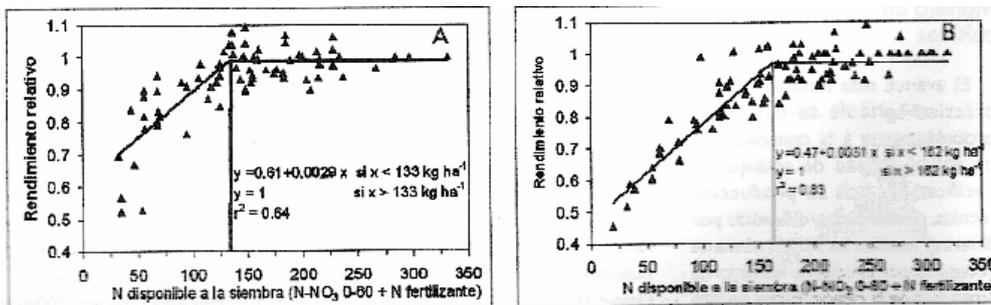


Figura 18. Relación entre el rendimiento relativo de maíz y la suma de nutriente en el suelo + fertilizante. A. maíces con rendimiento < 95 qq/ha, B: > 95 qq/ha (Salvagiotti et al., 2004; Martínez y Cordone, 2007).

Cuando no es posible ajustar funciones continuas como las que ilustran en los gráficos precedentes, puede utilizarse el procedimiento estadístico de Cate y Nelson para establecer un umbral a partir de cuyo valor no es conveniente fertilizar (Figura 19). Se trata de dividir estadísticamente el gráfico en 4 cuadrantes, de manera que los cuadrantes superior derecho e inferior izquierdo no contengan puntos para la variable dependiente “respuesta”, o el superior izquierdo e inferior derecho para la variable “rendimiento relativo”, cuando se grafican los resultados de las redes de ensayos. Es así que la línea vertical señala la concentración del nutriente en el suelo a partir de cuyo valor no es aconsejable fertilizar, valor que es denominado “umbral”. En la Figura 19 el umbral es 10 mg/kg. Valores < 10 tendrán respuesta a la fertilización, y viceversa, valores > 10 no la tendrán (a). O paralelamente, valores > 10 mg/kg tendrán RR cercano al máximo y no justificarían la fertilización, mientras que valores < 10 si la justificarán (b).

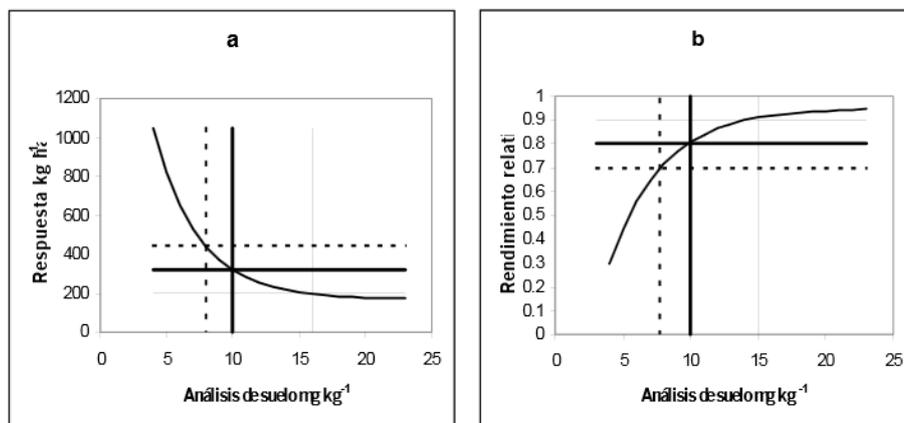


Figura 19. Método de Cate y Nelson para las variables “respuesta” (a) y “rendimiento relativo” (b) en relación a la concentración de nutriente en el suelo.

---

## BIBLIOGRAFÍA

---

- Álvarez R., G. Rubio, C. Álvarez y R. Lavado. 2012. Fertilidad de suelos. Caracterización y manejo en la Región Pampeana. Ed. Facultad Agronomía. Buenos Aires. 538 p.
- Álvarez R., P. Prystupa, M. Rodríguez & C. Álvarez. 2012. Fertilización de cultivos y pasturas, Diagnóstico y recomendación en la Región Pampeana. Ed. FAUBA, Buenos Aires. 623 p.
- Barbieri y H. Echeverría. 2004. Efecto de la colocación de P sobre el crecimiento y micorrización arbuscular espontánea del cultivo de trigo. [CD rom]. Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, 19, Paraná, 22-25, junio 2004. AACs. Paraná, Entre Ríos, Argentina.
- Bertsch F. 1998. La fertilidad de los suelos y su manejo. Ed. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. Costa Rica. 160 p.
- Bianchini A. 2003. Localización de fósforo en siembra directa. Simposio «El fósforo en la agricultura argentina». Rosario, 8 y 9 de mayo de 2003. INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina.
- Bordoli, J.M., A. Quincke y A. Marchessi. 2004. Fertilización fosfatada de trigo en siembra directa. [CD rom]. Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, 19, Paraná, 22-25 Junio 2004. AACs. Paraná, Entre Ríos, Argentina.
- Darwich N. 2006. Manual de Fertilidad de Suelos y Uso de Fertilizantes. Ed. Fertilizar Asoc. Civil. Mar del Plata, Argentina. 289 p.
- Díaz Zorita M. 1996. Fertilidad de suelos y Fertilización. Curso de capacitación y actualización para profesionales. Estación Experimental INTA Villegas.
- Echeverría H. y F. García. 2007. Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. Ed. INTA. ISBN 987-521-192-3. 525 p. 2ª reimpresión. Argentina.
- Ferreira M. y M. Pessoa da Cruz. 1991. Micronutrientes na Agricultura. Ed. Associação Brasileira para pesquisa da potasa e do fosfato, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, Piracicaba, Brasil. 734 p.
- Fuentes Yagüe J. 1999. Manual Práctico sobre Utilización del Suelo y Fertilizantes. Coeditado por el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación de España y Ediciones Mundi Prensa. Madrid. España.
- Gudelj, V., C. Galarza, P. Vallone y B. Massiero. 2001. Fitotoxicidad por fertilización en la línea en siembra directa de trigo. Informaciones Agronómicas Cono Sur 10:12-13.
- Kass D. 2007. Fertilidad de Suelos. Ed. Universidad Estatal a Distancia. Costa Rica. 233 p.
- Kiehl E. 1993. Fertilizantes organominerales. Piracicaba. Brasil.
- Malavolta E., G. Vitti y S. Oliveira. 1989. Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações. Ed. Associação Brasileira para Pesquisa da Potasa e do Fosfato, Piracicaba, Brasil, 201 p.
- Mallarino, A.P. 2003. Manejo de fósforo y potasio para maíz y soja en zonas húmedas. XI Congreso Nacional de AAPRESID. Rosario, 26-29 de agosto de 2003. AAPRESID. Rosario (Santa Fe). Argentina.
- Marschner H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants, Ed. Academic Press, Cambridge, Gran Bretaña, 889 p.
- Mazzarino M., Satti P. 2012. Compostaje en la Argentina. Experiencias de producción, calidad y uso. Universidad Nacional de Río Negro. 349 p.
- Melgar R. y M. Díaz Zorita. 2008. Fertilización de cultivos y pasturas. 2ª Ed. Ed. Hemisferio Sur. Buenos Aires, 569 p.
- Melgar R. y M. Torres Dugan. 2005. Comercio y abastecimiento moderno de fertilizantes. Ed. Hemisferio Sur S.A. Buenos Aires. Argentina. 196 p.

- Melgar, R. y M. Camozzi (eds). 2002. Guía de fertilizantes, enmiendas y productos nutricionales. 2ª. Ed. INTA-Fertilizar. EEA INTA Pergamino. Argentina.
- Mengel K. y E. Kirkby. 2000. Principios de Nutrición Vegetal, Ed. Instituto internacional de la Potasa, Basilea, Suiza, 4º Ed., 1º Ed. en español, 607 p.
- Mortvedt, J., L. Murphy y R. Follet. 1999. Fertilizer technology and application. Meister Pub. Co. Willoughby, Ohio. USA.
- Ribamar Pereyar J. y B. da Faria. 1995. Fertilizantes: Insumo Básico para Agricultura e Combate á Fome. Ed. EMBRAPA, CPATSA, SBCS. Petrolina, Brasil. 273 p.
- Schepers, J.S. 2002. Manejo de nitrógeno: Nuevas tecnologías para el manejo y diagnóstico de la fertilización nitrogenada. Congreso Nacional de AAPRESID, 10, Rosario, 13-16 de agosto de 2002. AAPRESID. Rosario (Santa Fe), Argentina.