

## RECOMENDACIONES DE FERTILIZACION FOSFORICA PARA TRIGO EN SUELOS DEL SUDOESTE BONAERENSE (ARGENTINA)

M M RON, T LOEWY

Departamento de Agronomía. UNS. (8000) Bahía Blanca, Argentina. INTA Bordenave. (8187) Bordenave, Provincia de Buenos Aires, Argentina

### PHOSPHORUS FERTILIZATION RECOMMENDATIONS FOR WHEAT IN SOILS OF SOUTHWESTERN BUENOS AIRES (ARGENTINA)

The objective of this paper was to develop a model that contributes to making recommendations by predicting yield response, profit and optimal rates of phosphorus fertilizer. Between 1983 and 1992, 12 fertilization experiments were established on farmers plots in the area of Bordenave, Argentina. This study was based on wheat yield and yield response to phosphorus applied as triple superphosphate. For each site, a function of the form  $y = b_0 + b_1 P^{0.5} + b_2 P$  (1) was fitted, in which  $y$  denotes yield and  $P$  the fertilizer rate in  $\text{kg ha}^{-1}$ . Dependent variables used ( $A_1$  and  $B_2$ ) were calculated from eq. (1). Independent variables were: soil pH, organic matter (MO) and extractable phosphorus (PE). A dummy variable of soil texture (M) was also used. Yield response to phosphorus rates used ( $A_1$ ) depended mainly on PE and texture. The curvature for response to phosphorus ( $B_2$ ) was related to texture. Maximum yields were not reached for the group of finer textured soils. In this group predicted maximum net returns are higher for a rate of  $16 \text{ kg P ha}^{-1}$ , when PE is below  $7$  and  $8 \text{ mg kg}^{-1}$  for a price ratio (R) of 15 and 12. For the other group (mostly sandy loam texture) a recommendation chart was derived. Optimal rates ranged from  $18$  to  $5 \text{ kg P ha}^{-1}$  for soils with  $5$  to  $11 \text{ mg kg}^{-1}$  of PE and for  $R = 12$  to  $18$ .

**Key words:** Wheat - Phosphorus fertilization - Model - Optimal rate

### INTRODUCCION

El Sudoeste Bonaerense abarca unas 3,5 Mha. El trigo es el principal cultivo de cosecha. Si se incluye el SE de La Pampa, la superficie de siembra oscila en el millón de hectáreas por año. Los rendimientos medios varían entre  $1.500$  y  $1.800 \text{ kg ha}^{-1}$ , según zonas, configurando una producción global modesta con limitados márgenes de ganancia. El nitrógeno y el fósforo son los nutrimentos del suelo con mayores deficiencias comprobadas (Loewy, Seewald 1980, Loewy, Puricelli 1982). Dentro de un esquema de mejoramiento de la tecnología básica del trigo, la fertilización mantiene un rol insustituible para revertir los problemas mencionados. Actualmente se cuenta con una descripción general de la potencialidad del cultivo en las diferentes áreas y recomendaciones para fertilización nitrogenada (Loewy, Ron 1995). Hay además, métodos de diagnóstico de fertilidad fosfórica y modelos para predecir la respuesta del trigo a  $16 \text{ kg P ha}^{-1}$  (Ron, Loewy 1990). Estos no permiten predecir la respuesta a dosis menores, que podrían resultar convenientes por razones económicas y ambientales. El objetivo de este trabajo fue desarrollar un modelo para el SO de la Provincia de Buenos Aires que contribuya a mejorar las recomendaciones, prediciendo la respuesta, el beneficio económico y las dosis óptimas de fósforo.

### MATERIALES Y METODOS

#### Suelos y Ensayos

Entre 1983 y 1992 se implantaron 12 ensayos de fertilización en trigo, dentro de lotes pertenecientes a productores del área. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con parcela dividida en franjas. Más detalles metodológicos se describen en otro trabajo (Loewy 1996). En este estudio se usaron los resultados de rendimiento a distintos niveles de superfosfato triple (SPT) aplicados en la línea de siembra. El rango de dosis empleado fue de  $0$  a  $120 \text{ kg de producto ha}^{-1}$  a excepción de 1992 ( $0$  a  $90 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Cada dato correspondió a la media de  $9$  ó  $12$  subparcelas ( $3$  subtratamientos de fertilización nitrogenada  $\times 3$  ó  $4$  bloques). Algunas propiedades de los suelos se muestran en la Tabla 1. Se incluyó una variable de sitio que representa dos grupos de textura: franco arenosa a gruesa y franco a fina. Para simplificar las llamaremos media y fina. Los ensayos se ubicaron, respectivamente, en áreas de suborden Ustol y Udol.

#### Desarrollo del modelo

Se utilizó el método propuesto por Colwell (1994). El mismo provee una base científica y estadística para analizar la respuesta a un rango de dosis y su relación con variables de sitio. Para cada ensayo se ajustó una ecuación del tipo:

$$y = b_0 + b_1 P^{0.5} + b_2 P \quad (1)$$

donde  $y$  es rendimiento y  $P$ , dosis de fósforo en  $\text{kg ha}^{-1}$ .

A partir de los coeficientes de la ecuación (1) se calcularon las variables de rendimiento  $A_1$  y  $B_2$ .  $A_1$  corresponde al efecto lineal de respuesta al fertilizante fosfórico y es igual a  $a$ , de la siguiente ecuación:

$$y = a_0 + a_1 P^{0.5} \quad (2)$$

$B_2$  es la curvatura para la respuesta ( $b_2$  de la ecuación 1). Los datos experimentales correspondieron a ensayos con dosis diferen-

tes entre años. Como  $A_1$  depende de las dosis se estimó su valor con la siguiente ecuación:

$$A_1 = b_1 + b_2 \times h \quad (3)$$

donde  $h = 4,04$  para  $P = 0, 6, 12$  y  $18 \text{ kg ha}^{-1}$ . Este procedimiento se basa en el supuesto de que las estimaciones de  $b_1$  y  $b_2$  no varían sustancialmente con la variación de dosis entre sitios (Colwell *et al.* 1988). Para obtener las ecuaciones del modelo de respuesta se hicieron regresiones para  $A_1$  y  $B_2$  vs las variables de sitio (Tabla 1). Se seleccionaron aquéllas que mejor contribuyeron a explicar las variaciones de  $A_1$  y  $B_2$  de acuerdo a distintos criterios estadísticos.

#### Aplicación del modelo

El modelo se utilizó para la predicción de las variables de rendimiento, extrapolando combinaciones de fósforo extractable (PE) y textura no representadas en los casos observados. A partir de las variables  $A_1$  y  $B_2$  estimadas se calcularon los coeficientes  $b_1$  y  $b_2$  de la ecuación (1). Con éstos es posible predecir la respuesta al fósforo aplicado y calcular la dosis óptima económica (DOE), por el procedimiento de cálculo diferencial corriente:

$$DOE = [0,5 b_1 / (R - b_2)]^2$$

donde  $R$  es el costo de 1 kg P aplicado, expresado en kg de trigo.

#### Validez del modelo

Se comparó la respuesta estimada por el modelo con la observada en 13 ensayos no incluidos en este trabajo. En once casos la dosis fue de  $16 \text{ kg P ha}^{-1}$  (Ron, Loewy 1990). En los dos restantes (datos no publicados) se tomó la respuesta a dos dosis: 10 y  $15 \text{ kg P kg ha}^{-1}$ .

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Respuesta a fósforo y su relación con variables de sitio

Las variables de rendimiento se muestran en la Tabla 2. Los valores de  $A_1$  representan la eficiencia de las dosis de fósforo utilizadas. Como la ecuación (1) tiene base  $P^{0,5}$ , se debe dividir por su promedio: 2,54. Las eficiencias calculadas de esta manera, constituyen el resultado de un ajuste para las diferentes dosis. El promedio de  $A_1$  para los ensayos correspondió a  $37 \text{ kg trigo kg}^{-1} \text{ P}$ , valor similar a los informados para otra zona (Barberis *et al.* 1987).

Del análisis de  $A_1$  y  $B_2$  surge que hubo un patrón distinto de respuesta, para los dos tipos de textura, no atribuible a diferencias en el contenido de PE. Los suelos de textura media tuvieron  $A_1$  casi 2,5 veces mayor, en promedio y valores de  $B_2$  negativos en 5 de los 6 casos. Se obtuvieron respuestas aún a las dosis más bajas y rendimientos cercanos a los máximos, con las dosis mayores. El panorama fue opuesto para el grupo de textura fina. La respuesta fue escasa o nula, para las dosis menores y hubo incrementos no decrecientes con el aumento de dosis ( $B_2$  positivos). Esta diferencia se atribuye a que los últimos, frecuentemente, retienen mayor proporción del fósforo agregado (Ron *et al.* 1995). Tres de estos sitios están analizados en otro estudio (Loewy 1996).

El modelo de respuesta a fósforo consiste en 2

Tabla 1. Variables de sitio continuas y discreta utilizadas para las regresiones

Sitio	Año	PE	pH	MO	M
Cabildo	1983	6,0	6,30	2,27	1
Cabildo	1984	5,0	6,21	2,21	1
C. Suárez	1985	11,0	6,40	3,60	0
Pigüé	1985	10,0	6,30	3,21	0
B. Hondo	1985	10,0	6,60	2,50	1
Bahía Blanca	1989	8,0	6,20	2,20	1
Meridiano (a)	1989	9,0	6,35	1,85	1
Meridiano (b)	1989	8,5	6,30	2,00	1
Cascada	1990	7,2	5,83	3,81	0
Cascada	1991	11,2	6,00	4,14	0
Cascada	1992	6,4	6,44	2,84	0
Azopardo	1992	11,0	6,33	2,26	0
Promedio	8,6	6,27	2,74		
Desvío estándar	4,5	0,04	0,59		

PE: fósforo extraíble (Bray y Kurtz) ( $\text{mg kg}^{-1}$ ), pH potenciométrico en agua 1:2,5, MO: materia orgánica (Walkley y Black), M = 1 textura media o gruesa, M = 0 textura fina

Tabla 2. Variables de rendimiento

Sitio	Año	$A_1$	$B_2$
Cabildo	1983	198	-3,5
Cabildo	1984	164	-12,3
C. Suárez	1985	50	1,0
Pigüé	1985	25	3,9
B. Hondo	1985	115	-3,5
Bahía Blanca	1989	91	-43,0
Meridiano (a)	1989	128	13,9
Meridiano (b)	1989	93	-19,2
Cascada	1990	62	4,4
Cascada	1991	25	16,4
Cascada	1992	123	31,9
Azopardo	1992	35	36,4
Promedio		93	2,2
Desvío estándar		56	21,7

ecuaciones (Tabla 3). La variable  $A_1$  dependió esencialmente de PE, dentro de cada grupo textural. El uso del análisis de suelo es la herramienta clásica para la predicción de la respuesta (Johnson 1991). Para  $B_2$ , la ecuación muestra el promedio de cada textura, ya que no se cuenta con mucha información sobre las características de este coeficiente (Colwell *et al.* 1988).



Tabla 3. Modelo de la respuesta a la fertilización fosfórica

$$A_1 = 198 - 15,3 PE + 51,8 M \quad r^2 = 81 \% \quad r^2_{aj} = 77 \% (5)$$

$$B_2 = 15,6 - 26,9 M \quad r^2 = 42 \% \quad r^2_{aj} = 36 \% (6)$$

PE= fosforo extractable, M= textura, A<sub>1</sub> = efecto lineal de respuesta, B<sub>2</sub>= curvatura de la respuesta

**Recomendaciones de dosis de fósforo**

Para los suelos de textura media se calculó la DOE a distintos valores de PE y R (Tabla 4). Con estas relaciones de precios la sensibilidad de la DOE es comparativamente baja, en particular cuando PE es cercano a 10 mg kg<sup>-1</sup>. El cálculo de DOE no fue posible en suelos de textura fina (B<sub>2</sub> positivo). El gráfico de la ganancia neta predicha, para dos niveles de fósforo y tres R diferentes (Figura 1), contribuye a la elección de la dosis: 16 kg P ha<sup>-1</sup> para PE menor a 7 y 8 mg kg<sup>-1</sup>, con R de 15 y 12, respectivamente. Si R = 18, la dosis mayor sólo es preferible por debajo de 6 mg kg<sup>-1</sup> de PE. De la Tabla 4 y la Figura 1 se deducen las siguientes recomendaciones 1) dosis de alrededor de 16 kg P ha<sup>-1</sup> son adecuadas para suelos con PE de 5 a 7 mg kg<sup>-1</sup>. 2) para PE de 8 a 11 mg kg<sup>-1</sup>, las mayores ganancias se obtienen con dosis menores en suelos de textura media y no se recomienda fertilización en los de fina.

**Validez del modelo**

Los valores estimados por el modelo se basan mayormente en la ecuación de regresión para A<sub>1</sub> y corresponden a la respuesta media, para distintos valores de PE. De la comparación de la respuesta media predicha con la observada en casos puntuales, surge que la diferencia es de ± 100 kg trigo ha<sup>-1</sup> en los sitios con PE entre 7 y 9 mg kg<sup>-1</sup> y mayor en los extremos del rango estudiado (Figura 2). Esta observación es coherente con la varia-

Tabla 4. Dosis óptima económica (DOE) de fósforo (kg ha<sup>-1</sup>) para suelos de textura media y distintas relaciones de precios (R).

PE (mg kg <sup>-1</sup> )	DOE (kg P ha <sup>-1</sup> )		
	R = 12	R = 15	R = 18
5	18 +	17	14
6	18 +	15	12
7	16	13	10
8	14	11	9
9	11	9	7
10	9	7	6
11	7	6	5

+ El modelo cubre hasta 18 kg ha<sup>-1</sup>, el cálculo indicó DOE mayores. PE= fosforo extractable

ción del desvío estándar de una recta de regresión e implica que las diferencias observadas responden a la variabilidad natural de la población (Steel, Torrie 1992). El riesgo de pérdida económica que puede ocurrir cuando la media estimada supera en más de 100 kg de trigo ha<sup>-1</sup> a la respuesta obtenida, se considera poco probable en sitios con PE menor a 7 mg kg<sup>-1</sup>. Para suelos de textura media con PE mayor a 9 mg kg<sup>-1</sup>, las dosis recomendadas representan una inversión menor en el fertilizante. Debe tenerse en cuenta, además, que en el cálculo económico no se ponderó el efecto residual del fertilizante (Ron, Loewy 1987). El presente modelo se desarrolló sobre promedios de subparcelas con y sin agregado de nitrógeno. Se descarta, no obstante, la aplicación aislada de fósforo, en suelos con baja fertilidad nitrogenada (Loewy 1990). El aporte fosfórico frecuentemente adquiere significación a través de su interacción con el nitrógeno (Selles *et al.* 1992).

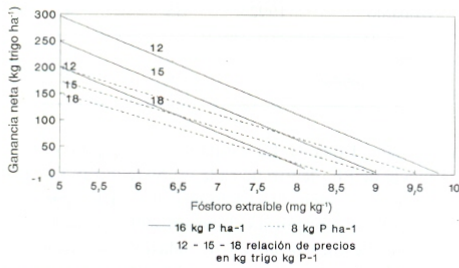


Figura 1. Ganancia predicha para suelos de textura fina y dos dosis de fósforo

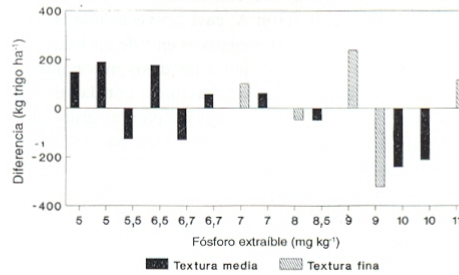


Figura 2. Diferencia entre la respuesta predicha y la observada

## REFERENCIAS

- Barberis L A, Duarte G, Sfeir A, Marban L, Vázquez M. 1987. Respuesta del trigo a la fertilización fosforada en la Pampa Arenosa Húmeda y su predicción. *Ciencia del Suelo* 5:166-174
- Colwell J D. 1994. Estimating fertilizer requirements. A quantitative approach. CAB International. Oxon. UK. Cap. 8
- Colwell J D, Suhet A R, van Raij B. 1988. Statistical procedures for developing general soil fertility models for variable regions. CSIRO Div. of Soils. Div. Report No. 93 68 pág.
- Johnson G V. 1991. General model for predicting crop response to fertilizer. *Agron. J.* 83:367-363
- Loewy T. 1990. Fertilización nitrogenada en trigo en el S.O. bonaerense. I Respuesta física y diagnóstico. *Ciencia del Suelo* 8:47-56
- Loewy T. 1996. Fertilización nitrofosfórica del trigo en Argiudoles típicos de Coronel Suárez (Buenos Aires - Argentina). *Ciencia del Suelo*. 14: 12-15
- Loewy T, Seewald H A. 1980. Fertilidad nitrogenada para trigo en suelos del SO bonaerense. IX Reunión Argentina de la Ciencia del suelo II:533-36
- Loewy T, Puricelli C. 1982. Disponibilidad de fósforo en suelos del área de la EEA Bordenave. Informe Técnico N0. 28, 16 p. INTA Bordenave
- Loewy T, Ron M M. 1995. Nitrogen fertilization recommendations for wheat in southwestern Buenos Aires (Argentina). *Commun. in Soil Science & Plant Anal.* 26:2041-2050
- Ron M M, Loewy T. 1987. Efecto residual de la fertilización fosfórica en trigo sobre un Haplustol típico. *Ciencia del Suelo* 5: 65-70
- Ron M M, Loewy T. 1990. Fertilización fosfórica del trigo en el S.O. bonaerense. I Modelos de la respuesta. *Ciencia del Suelo* 8:187-194
- Ron M M, Bussetti S G de, Loewy T. 1995. Uso de un índice de sorción como complemento del P extraíble en la fertilización del trigo. *Ciencia del Suelo* 13:35-37
- Selles F, Zentner R P, Read D W L, Campbell C A. 1992. Prediction of fertilizer requirements for spring wheat grown on stubble in southwestern Saskatchewan. *Can. J. Soil Sci.* 72:229-241
- Steel R G D, Torrie J H. 1992. *Bioestadística: Principios y procedimientos*. McGrawHill. 253 pag.