

CALIBRACION DEL METODO DE BINGHAM PARA TRIGO EN EL S.O. BONAERENSE

RON, M.M.⁽¹⁾, S.G. DE BUSSETTI⁽¹⁾ y T. LOEWY⁽²⁾

Recibido: 17/10/95

Aceptado: 10/08/97

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue 1) calibrar el método de Bingham (P en extracto acuoso, P_w) para trigo en el S.O. bonaerense y 2) comparar los resultados con la calibración hecha para el P extraíble por Bray y Kurtz (BK), para los mismos suelos.

Se trabajó con muestras provenientes de 24 ensayos de fertilización nitrofosfórica en trigo. Como variable dependiente se utilizó la respuesta a 16 kg ha^{-1} de P (superfosfato triple) aplicados en la línea de siembra, en parcelas sin limitaciones de nitrógeno (ΔY). Las variables independientes fueron el P_w y variables "dummy" de textura y precipitaciones.

Se obtuvieron valores de P_w entre 0.09 y 0.46 mg kg^{-1} , con un promedio de 0.28 y desviación estándar de 0.10 . Se halló un valor límite (V.L.) de 0.28 mg kg^{-1} de P_w para dividir los suelos en dos grupos con distinta probabilidad de respuesta. Para los suelos de textura franco-fina se determinó un V.L. de 0.18 mg kg^{-1} de P_w .

Los modelos lineales simples en función de P_w y sus transformaciones (recíproca, raíz cuadrada y cuadrática) explicaron alrededor de un 30 % de las variaciones de la respuesta. Cuando se excluyeron los dos casos de suelos arenosos (gruesa, G) este valor subió al 40 %.

Las ecuaciones con P_w hicieron una mejor descripción de la respuesta en los suelos de textura franca a franco fina. Esto se atribuyó a que el factor de disponibilidad que más limitaría la expresión del rendimiento en estos suelos es la intensidad, reflejada en P_w . Inversamente BK fue ligeramente superior para los de textura franco gruesa (media, M) probablemente por su mayor sensibilidad a poder de sorción.

En un modelo múltiple, la adición de la variable M aumentó sensiblemente el coeficiente de determinación. Para mejorarlo se incorporó un criterio de agrupación ulterior, según las precipitaciones durante la estación de crecimiento (ENH). Así se obtuvo para los sitios de textura media y fina una ecuación con R^2 de 81.6 % en comparación con 76.2 % para BK.

En general, las ecuaciones con P_w mostraron residuales menores que para BK. El método de Bingham constituye una alternativa interesante para diagnosticar la fertilidad fosfórica para el cultivo de trigo en los suelos de la zona.

Palabras clave: P en extracto acuoso, P extraíble, fertilización fosfórica, trigo.

BINGHAM'S METHOD CALIBRATION FOR WHEAT SOUTH WEST OF BUENOS AIRES (ARGENTINA)

SUMMARY

The objective of this paper was to 1) calibrate Bingham's method (water soluble P , P_w) for wheat in the south west of Buenos Aires Province (Argentina) and 2) compare the results with the calibration for extractable P by Bray and Kurtz (BK) for the same soils.

Twenty four soil samples from experiments of N-P fertilisation were used. The dependent variable was yield response to 16 kg P ha^{-1} (as triple superphosphate) banded with the seed in plots

¹Dpto. de Agronomía - UNS - 8000 Bahía Blanca
²E.E.A. Bordenave - INTA - 8187 Bordenave

where nitrogen was not limiting (ΔY). Independent variables were P_w , BK, soil texture and rainfall.

P_w values ranged from 0.09 to 0.46 mg kg⁻¹, with an average of 0.28 and standard deviation of 0.10. A value of 0.28 was found to separate the soils in two classes with different probability of yield response. A further limit of 0.18 mg kg⁻¹ was found for the finer textured soils.

Simple lineal models as a function of P_w or P_w transformations (inverse, square root, quadratic) accounted for about 30 % of variations in yield response. When the two sandy soils (coarse texture, G) were not included in the regression R^2 increased to 40%.

Equations with P_w gave a better description of yield response for the finer textured soils (F). This was attributed to the fact that the yield limiting availability factor in these soils would be low intensity reflected in P_w . Conversely BK gave slightly better models for the "medium" textured soils probably due to the sensitivity of this method to P sorption.

In multiple regressions, addition of texture variable M greatly increased determination coefficient. To improve it, a further variable was included to group growing seasons in 'normal or wet' and 'dry' (ENH). Thus, an equation with a determination coefficient of 81.6 % was obtained for sites of fine or medium texture. The equivalent equation using BK had an R^2 of 76.2 %.

In general, equations with P_w had smaller residuals than for BK. Bingham's method is an interesting alternative for fertility diagnosis and fertiliser recommendations for wheat in the area.

Key words: water soluble P, extractable P, P fertilisation, wheat.

INTRODUCCION

La primera evaluación del P edáfico en el SO bonaerense se realizó en 1982, detectando deficiencias en un 50 % de los 4 millones de hectáreas relevadas (Loewy y Puricelli, 1982). En los años subsiguientes, las deficiencias fueron creciendo, a favor de una baja o nula restitución de las sucesivas remociones.

Actualmente la fertilización se está intensificando, particularmente en el trigo, presentando el desafío de responder a criterios de sostenibilidad. Sólo el empleo racional del fósforo arroja un beneficio consistente, tanto desde el punto de vista ambiental como económico (Sharpley y Menzel, 1987). Al respecto toda mejora en la precisión del diagnóstico resulta conveniente.

Las plantas absorben el fósforo de la solución del suelo, donde se encuentra en concentraciones muy bajas (factor intensidad). Así es que el elemento se repone, sucesivamente, a partir de la fase sólida (factor capacidad). Ambos factores determinan la disponibilidad para las plantas y deberían ser reflejados, en alguna medida, por los extractantes químicos.

Numerosos estudios, a nivel nacional e internacional, revelan que las recomendaciones que contemplan la capacidad reguladora de P superan los meros análisis con extractantes (Bolaño de Daniel, 1984; Kuo, 1990). De hecho es probable que la amplia difusión del método de Bray y Kurtz

se deba a su probada sensibilidad a la capacidad reguladora (Mendoza, 1989). En esta línea varios autores han intentado índices estimativos compatibles con laboratorios de rutina (Bolland *et al.*, 1994; López Camelo, 1989; Ron *et al.*, 1994).

Otro enfoque es el estudio del factor intensidad, a partir de la extracción con agua o soluciones salinas diluidas. Algunos autores afirman que el método de Bingham (P en extracto acuoso, P_w) da la mejor medida del P inmediatamente disponible a los cultivos y está bien relacionado con el estado nutricional del P (Fixen y Grove, 1990).

En 42 suelos del SO bonaerense se encontró correlación altamente significativa entre P_w y el método estándar Bray y Kurtz (BK). Los dos métodos exhibieron un comportamiento similar para explicar la variación de la respuesta a la fertilización (Bussetti *et al.*, 1996). Esta evidencia plantea la posibilidad de emplearlo, parcial o totalmente, en análisis de rutina. Con esta hipótesis el objetivo de este trabajo fue 1) calibrar el método de Bingham para trigo en el SO bonaerense y 2) comparar los resultados con la calibración hecha para BK para los mismos suelos.

MATERIALES Y METODOS

Ensayos y suelos

Se emplearon 24 ensayos de fertilización en trigo, realizados entre 1982 y 1992, en suelos de la zona. El diseño fue de bloques completos al azar con parcela

dividida en franjas y unidad experimental de 34 m². El estudio se basó en la respuesta a 16 kg de P ha⁻¹, con superfosfato triple, sin limitaciones de nitrógeno.

Los suelos pertenecían a los subórdenes ustoles (12) y udoles (12), con textura predominante franco-gruesa y franco-fina, respectivamente. Para simplificar, se las denominó media (M) y fina (F). En los udoles se incluyeron dos sitios de suelos arenosos (textura gruesa, G), característicos del norte del área. Otras propiedades de los sitios de ensayo se muestran en el Cuadro N° 1.

Análisis químico

Se determinó el fósforo en extracto acuoso (P_w) agitando el suelo con agua (1:10) y separando por centrifugación (Bingham, 1949).

Análisis estadístico

En la calibración del método se utilizó la respuesta a 16 kg de P ha⁻¹ como variable dependiente (ΔY). Las variables independientes fueron el P_w, BK y variables "dummy" (Cuadro N° 2). Se usaron modelos discontinuos y continuos. En los primeros se hallaron valores que separan clases con distinta probabilidad de respuesta (Nelson y Anderson, 1977).

Para los modelos continuos se hicieron regresiones simples y múltiples. Las regresiones simples entre la respuesta y P_w o BK se desarrollaron para el conjunto de

los suelos y por grupo textural. Se compararon estadísticamente las pendientes y niveles (Steele y Torrie, 1988). En las regresiones múltiples se incorporaron variables "dummy" para incluir los valores en un solo modelo y mejorar la explicación de la respuesta.

Mayor información sobre los experimentos y métodos de análisis estadísticos puede encontrarse en trabajos anteriores (Ron y Loewy, 1990, 1996).

RESULTADOS

a) Características del parámetro determinado

Los promedios y rangos de los valores de P_w determinados se muestran en el Cuadro N° 3. Este parámetro estuvo asociado positivamente (P = 0,1 %) con el método BK (r = 0,77).

b) Modelos discontinuos

El método gráfico y de análisis de varianza coincidieron en un valor límite de 0,28 mg/kg de P_w para dividir los suelos en dos grupos con distinta probabilidad de respuesta (Cuadro N° 4). Estas dos clases fueron confirmadas como significativamente diferentes, a niveles superiores a 0,01 %, por un test "t" (Nelson y Anderson, 1977).

Considerando los grupos texturales por sepa-

Cuadro N° 1 Algunas propiedades de los sitios de ensayo

Propiedad	Not.	Prom.	Min.	Máx.	D.E.
Materia Org.(%)	M.O.	3,08	1,85	5,17	0,89
pH	pH	6,39	5,83	7,25	0,33
P Bray y Kurtz (mg kg ⁻¹)	BK	11,1	5,0	24,0	4,45
Índice de Sorción(%)	IS	50,3	18,0	97,7	19,9
pH: potenciométrico en agua 1:2,5					

Índice de Sorción: determinado según Ron *et al.*, 1995

Cuadro N° 2 Características de algunas variables utilizadas

Variable	Not.	Prom.	Mínimo	Máximo	D. Est.
Respuesta (kg/ha)	ΔY	298	-70	645	234
Textura media	M				
gruesa	G		Variables "dummy"		
fina	F				
Estación de crec. normal o húmeda	ENH		1: corresponde 0: no corresponde		

Cuadro N° 3 Fósforo soluble en agua (P_w) en los suelos estudiados

Textura	n	Máximo	Mínimo	Promedio	D. est.
Gruesa	2	0.46	0.46	0.46	0
Media	1	20,20	0.41	0.28	0,08
Fina	1	00,09	0.38	0.24	0,09
TOTAL	2	40.09	0.46	0.28	0.10

Cuadro N° 4 Clases con distinta probabilidad de respuesta a la fertilización fosfórica.

Clases		Alta probabilidad de respuesta	Baja probabilidad de respuesta
Número de casos		15	9
P_w mg kg ⁻¹	Rango	0,09 a 0,27	0,29 a 0,46
	Prom ± D.E.	0,21 ± 0,01	0,39 ± 0,02
ΔY kg ha ⁻¹	Rango	0 a 645	- 70 a 374
	Prom ± D.E.	410 ± 203	112 ± 154

Cuadro N° 5 Regresiones simples entre ΔY y P_w o BK según grupos texturales. Modelos con textura gruesa excluida (n = 22)

Grupos			$\Delta Y = a + b BK$				$\Delta Y = a + b P_w$			
n	prom ΔY	prom BK	R ² %	a	b	prom P_w	R ² %	a	b	
M	12	393	11,2	72,9	798	-36,1	0,28	66,7	1049	-2339
F	101	91	10,1	54,8	853	-65,6	0,24	82,4	666	-2019
T	22	301	10,7	42,6	687	-36,0	0,26	40,3	750	-1727

M y F : ver cuadro 2

Cuadro N° 6: Coeficientes de los modelos de la respuesta a la fertilización con 16 kg ha⁻¹ de P (superfosfato triple). Modelos con textura gruesa excluida (n = 22)

N°	Coef. Ind.	Variables independientes				Coeficiente determinación	
		BK	P_w	M	ENH	R ² %	R ² aj %
1	592	-40,0		247		68,9	65,7
2	702		-2175	301		77,3	74,9
3	397	-43,3		309	231	78,2	74,5
4	559		-2217	341	154	81,6	78,5

M y ENH : ver cuadro 2

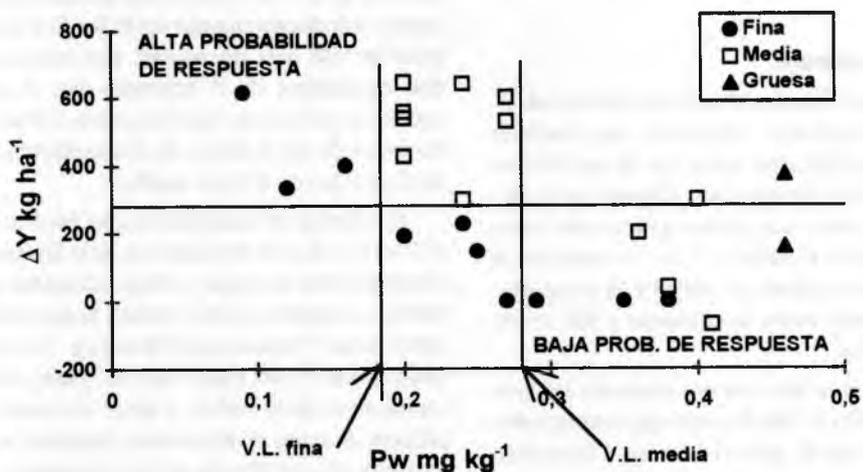
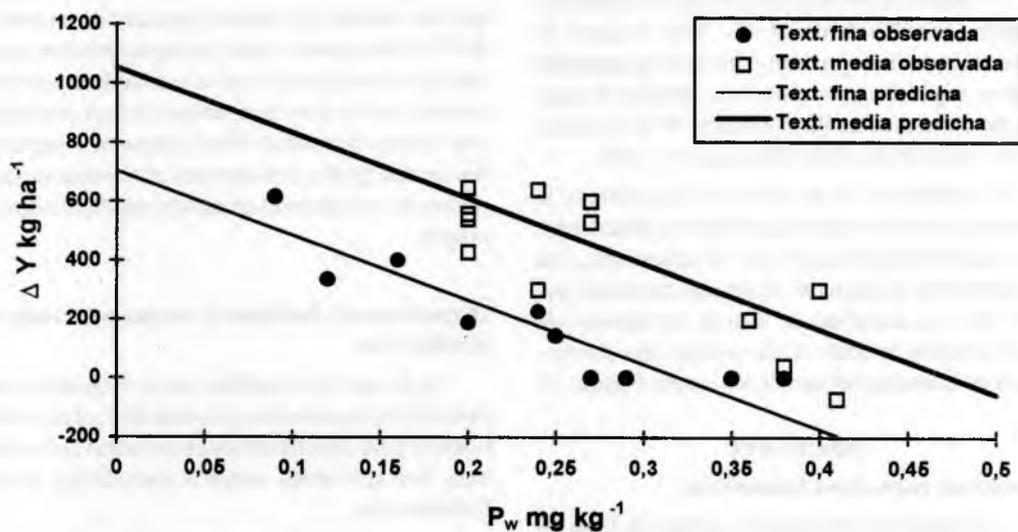


Figura 1. Valor límite grupo textural



Años normales o húmedos

Figura 2. Respuesta observada y predicha (modelo 4) a la fertilización fosfórica (16kg de P ha^{-1}) según P_w y textura

rado, el V.L. determinado es adecuado para los suelos de textura media, mientras que para los de fina correspondería tentativamente uno de 0,18 mg kg⁻¹ (Figura 1).

c) Modelos continuos

Los modelos lineales simples en función de P_w y sus transformaciones - recíproca, raíz cuadrada y cuadrática - explicaron alrededor de un 30 % de las variaciones de la respuesta. Cuando se excluyeron los dos casos con textura gruesa este valor ascendió al 40 % (Cuadro N° 5). La relación se mantuvo aproximadamente lineal y el comportamiento fue similar entre la respuesta y BK en los casos estudiados.

Cuando se consideraron por separado los grupos texturales M y F, BK dio una mejor explicación de la respuesta que P_w para el primero, y lo inverso ocurrió para el segundo (Cuadro N° 5). En ambos casos la diferencia entre pendientes no fue significativa y sí lo fue la de nivel, justificando el uso de esta propiedad como variable "dummy" en las regresiones múltiples.

La adición al modelo simple de la variable M aumentó sensiblemente el R². Para mejorar la explicación se incorporó un criterio de agrupación ulterior, según las precipitaciones durante la estación de crecimiento. En el Cuadro N° 6 se muestran las ecuaciones obtenidas para P_w y BK.

Del análisis de los modelos de la respuesta y la comparación entre valores predichos y observados (para cada modelo) surgió que las ecuaciones con P_w mostraron, en general, residuales menores que para BK. La ecuación de mayor coeficiente de determinación (modelo 4) dio predicciones cercanas en un buen porcentaje de los casos (Figura 2).

DISCUSION

Relaciones capacidad-intensidad

La discusión sobre estas relaciones se basa en el uso de las determinaciones de P_w e IS. En un trabajo anterior se informa sobre la relación entre capacidad reguladora de fósforo y el IS (Bussetti *et al.*, 1996). Asimismo, si bien el agua extrae entre 10 a 100 veces más que el P presente en la solución

del suelo (Mengel, 1985), el P_w refleja la intensidad.

De acuerdo con estos parámetros, los suelos de las zona presentan características contrastantes en cuanto a la disponibilidad del P: los de textura fina tendrían una baja intensidad, con mayor capacidad reguladora de P mientras que lo opuesto sucedería para los de textura gruesa. Otras combinaciones de los factores de disponibilidad se darían para los de textura media.

En el grupo textural fino la capacidad de reponer el P en la solución del suelo no sería limitante para el rendimiento del trigo. La baja intensidad de estos suelos, en cambio, podría reducir la expresión productiva con P_w menores a 0,18 mg kg⁻¹. Lo expuesto explica que P_w sea mejor que BK para predecir la respuesta en estos suelos. A pesar de contar con un número de casos relativamente reducido, se puede extender esta conclusión al área de estudio, ya que este grupo textural es bastante homogéneo.

No ocurre lo mismo con los suelos de textura media en los que el espectro de IS es más amplio. Algunos suelos de este grupo se asemejan a los de textura gruesa y la deficiencia ocurre más frecuentemente debido a la menor capacidad de reposición del P. Existen otros casos (no representados en este trabajo), como los de suelos con deficiencias muy severas, en los que se combinan la baja intensidad con la baja capacidad. Para equiparar o superar a BK en este grupo, con texturas relativamente heterogéneas, se requieren estudios más detallados del mismo.

Diagnóstico de fertilidad y recomendaciones de fertilización

Dado que los modelos de la respuesta están desarrollados para una sola dosis de P, el uso de los mismos para consideraciones económicas es limitado. Son aplicables, empero, para definir o no la fertilización.

Los valores de P_w obtenidos son bajos o medios de acuerdo a los niveles informados para cereales en California. El V.L. encontrado de 0,28 mg kg⁻¹ coincide prácticamente con el que separa esas dos categorías (Bingham, 1961).

Los V.L. hallados de 0,28 y 0,18 mg kg⁻¹ para textura media y fina se corresponden con los de 10,5 y 8,5 mg kg⁻¹ determinados en trabajos anteriores para BK (Ron y Loewy, 1990 y 1996). El diagnóstico de fertilidad en suelos de alta y baja probabilidad de respuesta coincidió en los 24 casos.

En cuanto a las dosis a aplicar se pueden extrapolar las calculadas para BK en los suelos deficientes de textura fina (Ron y Loewy, 1996). El modelo desarrollado indica aplicaciones de alrededor de 16 kg ha⁻¹. Para una estimación de la respuesta a esa dosis, basada en la determinación de P_w, es factible utilizar las ecuaciones del Cuadro N° 6.

CONCLUSIONES

La calibración de P_w en clases de probabilidad de respuesta determinó V.L. de 0,28 y 0,18 mg kg⁻¹ para suelos de textura media (franco-gruesa) y fina (franco-fina) que se corresponden con los de 10,5 y 8,5 mg kg⁻¹ de BK. Los modelos continuos con P_w

mostraron, en general, residuales menores y mayor coeficiente de determinación que los equivalentes para BK.

P_w presentó ventajas sobre BK para el diagnóstico en los suelos de textura fina. En este grupo, la baja intensidad (P_w < 0,18 mg kg⁻¹) constituye un factor limitante en la productividad del cultivo.

En suelos de textura media BK fue ligeramente superior a P_w probablemente por su mayor sensibilidad a poder de sorción. Para mejorar el diagnóstico en este grupo se requieren estudios más detallados.

El método de Bingham constituye una alternativa interesante para diagnosticar la fertilidad fosfórica requerida por el cultivo de trigo, en los suelos de la zona.

AGRADECIMIENTOS

Trabajo fue subsidiado por el Dpto. de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur.

BIBLIOGRAFIA

- BINGHAM, F.T. 1949 Soil test for phosphate. *California Agr.* 3:11-14
- BINGHAM, F.T. 1961 Chemical soil tests for available phosphorus. *Soil Sci.* 94:87-95
- BOLLAND, M.D.A., I.R. WILSON and D.G. ALLEN 1994 Effect of P Buffer capacity and P retention index of soils on soil test P, soil test P calibrations and yield response curvature. *Aust. J. Soil Res.* 32:503-17
- BOLAÑO de DANIEL, A. 1984. Determinación de la capacidad reguladora y concentración ajustada de fósforo en suelos de la región pampeana. *Ciencia del Suelo* 2:99-106.
- BUSSETTI, S.G. de, M.M. RON y T. LOEWY 1996 Evaluación de métodos de análisis de fósforo en suelos del S.O. bonaerense. *Ciencia del Suelo* 14:100-103.
- FIXEN, P.E. and P. L. CARSON 1978. Relationship Between Soil Test and Small Grain Response to P Fertilization in Field Experiments. *Agr. J.* 70: 838 -844.
- FIXEN, P.E. and J.H. GROVE 1990 Testing Soils for Phosphorus. En "Soil testing and plant analysis" ed. R.L. Westerman. Soil Science Society of America. Madison. Wisconsin.
- KUO, S. 1990 Phosphate sorption implications on phosphate soil tests and uptake by corn. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54:131-5
- LOEWY T. y C.A. PURICELLI 1982 Disponibilidad de fósforo en suelos del área de la EEA Bordenave. *Informe Técnico* N° 28. 16 p.
- LÓPEZ CAMELO, L.G. de 1989 Indices de sorción de fósforo y su relación con algunas propiedades de los suelos. *Ciencia del Suelo* 7: 43-50
- MENDOZA, R.E. 1989 Different performances of soil phosphate tests for reflecting the effects of buffering capacity on uptake of native phosphate with time. *Plant and Soil* 113:13-19

- MENGEL, K. 1985 Dynamics and availability of mayor nutrients in soils. *Adv. Soil Science* 2:65-131.
- NELSON, L.A. and R.L. ANDERSON 1977 Partitioning of soil test-crop response probability. 'Soil testing: Correlating and interpreting the analytical results' *ASA Special publication* No. 29 pp 19-38.
- RON, M.M. y T. LOEWY 1990 Fertilización fosfórica del trigo en el S.O. bonaerense. I Modelos de la respuesta. *Ciencia del Suelo* 8:187-194
- RON, M.M., S.G. de BUSSETTI y T. LOEWY 1995 Uso de un índice de sorción para la fertilización fosfórica del trigo. *Ciencia del Suelo* 13:35-37.
- RON, M.M. y T. LOEWY 1996 Recomendaciones de fertilización fosfórica para trigo en suelos del S.O. bonaerense (Argentina). *Ciencia del Suelo* 14:16-19
- SHARPLEY, A.N. and R.G. MENZEL 1987 The impact of soil and fertilizer phosphorus in the environment. *Adv. Agron.* 41: 296-324
- STEELE, R.G.D. and J.H. TORRIE 1988 *Bioestadística: Principios y Procedimientos*. Cap. 10 MacGraw Hill