

CALIBRACIÓN DE FÓSFORO EXTRAÍBLE (BRAY-KURTZ N° 1) PARA PRADERAS MIXTAS EN SUELOS DE ENTRE RÍOS, ARGENTINA¹

Calibration of extractable P (Bray-Kurtz N° 1) for grass-legume pastures in soils of Entre Ríos, Argentina

César Quintero G.², Graciela Boschetti A.² y René Benavidez Q.²

SUMMARY

Pelluderts and Vertic argiudols occupy most of the area in Entre Ríos. These soils are characterized by P deficiency and susceptibility to erosion.

The objective of this study was to calibrate the analysis of available phosphorus (Bray-Kurtz N° 1) for pastures in soils Pelludert and Vertic argiudols of Entre Ríos, Argentina.

The work was carried out on pastures under rotation grazing in farmers' fields and with different P doses.

The "critical level" was 12 mg kg⁻¹ of extractable-P, below which there is a high probability of response. Classes of fertility were fixed as: very low, low, medium, high, very high; with limits of 4.9, 10.2, 14.9 and 23.1 (mg kg⁻¹), respectively.

Key words: phosphorus, calibration, soil test, pastures, fertilization, Argentina.

INTRODUCCIÓN

En la provincia de Entre Ríos (Argentina) el área de suelos "vertisólicos" (Argiudoles vérticos y Peludertes) representa un 51% de su superficie (3.150.000 ha) (PNUD/FAO/INTA, 1980). Una de las características más importantes de estos suelos es la baja disponibilidad de fósforo (Barreca y Tasi, 1984) propia del material que les dio origen. Su aptitud es agrícola-ganadera a ganadera, con rotación de cultivos anuales, verdes (praderas suplementarias de invierno) y praderas plurianuales (Tasi, 1988).

Las especies pratenses, sobre todo las leguminosas, son exigentes en fósforo, encontrándose respuestas significativas a la fertilización fosfatada en esta zona (Quintero *et al.* 1993), en el sudeste bonaerense (Berardo, 1976) y en la República Oriental del Uruguay (Castro *et al.*, 1981).

Si bien se han presentado resultados preliminares (Quintero *et al.*, 1993), hasta el momento no está debidamente calibrado el análisis de fósforo disponible del suelo para pasturas. En el proceso de calibración se busca encontrar experimentalmente la relación entre el valor del análisis de suelo y la respuesta del cultivo a un nutriente en cuestión, bajo condiciones prácticas diversas (Black, 1993). El término calibración incluye un ajuste de escala y la determinación de errores de un método, que aplicado al diagnóstico de fertilización, implica evaluar modelos continuos y discontinuos con distintas variables dependientes e independientes a fin de obtener la cuantificación empírica del comportamiento del sistema suelo-planta, para un nutriente y un cultivo determinado (Valenzuela *et al.*, 1993).

El objetivo del presente trabajo fue calibrar el análisis de fósforo extraíble (Bray-Kurtz N° 1), para praderas artificiales de leguminosas y gramíneas, en suelos Peludertes y Argiudoles vérticos de Entre Ríos (Argentina).

MATERIALES Y MÉTODOS

En el período comprendido entre 1987-1993 se llevaron adelante 12 ensayos de fertilización fosfatada sobre pasturas en campos de productores.

¹Recepción de originales: 23 de junio de 1995.

Los autores agradecen a los productores y técnicos que colaboraron con la red de ensayos.

²Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Entre Ríos, Casilla de Correos 24 (3100), Paraná, Entre Ríos, Argentina.

Las praderas estuvieron compuestas por alfalfa (*Medicago sativa*) o lotus (*Lotus corniculatus*), como leguminosa principal o base, y festuca (*Festuca arundinacea*), como gramínea principal; asociadas, según el caso, con trébol rojo (*Trifolium pratense*), trébol blanco (*Trifolium repens*), pasto ovillo (*Dactylis glomerata*), cebadilla (*Bromus catarticus*) y/o "ray grass" (*Lolium* sp).

Se aplicaron distintas dosis de superfosfato triple (20% de P) en el momento de la siembra (0-8-16-32-48-64 kg ha⁻¹ de P) distribuidas al voleo e incorporadas superficialmente. El diseño estadístico utilizado fue en bloques completos aleatorizados, con tres repeticiones, en parcelas de 15 m² dentro del gran cultivo.

Se determinó la materia seca producida por corte a una altura de 5 a 7 cm, en una superficie de 4,5 m².

Las parcelas de los ensayos recibieron el manejo habitual, con pastoreo rotativo, cosechándose el forraje de éstas, previo al ingreso de los animales al predio.

Se consideró como primer año de producción al período comprendido desde la siembra hasta el otoño siguiente (marzo-abril). Se analizó la producción total de materia seca obtenida en tres a siete cortes.

Los sitios experimentales se localizaron sobre suelos con características vérticas (Peludertes y Argiudoles vérticos); textura del horizonte Ap franco-arcillo-limosa.

Se realizó un muestreo de suelo al momento de la siembra a una profundidad de 0 a 10 cm. La caracterización química de los doce suelos se detalla en el Cuadro 1, los análisis se realizaron según Jackson (1976). A los tres meses de aplicado el fertilizante se hizo otro muestreo para determinar solamente el fósforo extraíble (Pe).

Se calibró el método de Bray y Kurtz N° 1 (1945) modificado (AACS, 1991), siguiendo la metodología propuesta por Cate y Nelson (1965), para determinar dos poblaciones con distinta probabilidad de respuesta. Además, se ajustó un modelo continuo correlacionando el rendimiento relativo (porcentaje de rendimiento máximo: %Máx = $Y/Y_{máx}$) con el Pe cuantificado a los tres meses de la fertilización (Pe3M) y se establecieron límites de clase arbitrarios para subdividir en más de dos categorías. Las ventajas y desventajas de la utilización de una expresión relativa del rendimiento son ampliamente discutidas

por Colwel *et al.* (1988), Raij (1992) y Black (1993). La confrontación del rendimiento con el nivel de Pe alcanzado posteriormente a la fertilización, también fue utilizada por Freire *et al.* (1979) y Cajuste *et al.* (1992) para establecer los niveles críticos en soja y maíz, respectivamente.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se aprecia en el Cuadro 1 el rango de Pe observado fue lo suficientemente amplio para estos suelos. Los valores estuvieron bien espaciados, en escala creciente, con diferencias entre puntos sucesivos menores a los 2 mg kg⁻¹.

CUADRO 1. Características de los suelos analizados

TABLE 1. Characteristics of analyzed soils

Propiedad (notación)	Método (unidad)	Media	Mín.	Máx.
Fósforo extraíble (Pe)	Bray-Kurtz N° 1 (mg kg ⁻¹)	8,8	3,6	14,5
Materia Orgánica (MO)	Walkley-Black (%)	3,51	2,29	4,70
Nitrógeno total (Nt)	Kjeldahl (%)	0,180	0,109	0,268
Nitratos (NO ₃)	Harper (mg kg ⁻¹)	54,5	21,2	97,0
Reacción del suelo (pH)	Agua (1:2,5)	6,8	5,5	8,2

El propósito de la calibración es describir los resultados del análisis de suelo en una terminología fácilmente entendible y simplificar la interpretación, para hacer recomendaciones de fertilización, ubicando a los suelos en categorías de respuesta (Dahnke y Olson, 1990).

El método gráfico de Cate y Nelson (1965) permite determinar un "nivel crítico", por debajo del cual existe una alta probabilidad de una amplia respuesta a la fertilización (Figura 1). Este nivel se ubicó en torno a los 12 mg kg⁻¹ de Pe y es similar al publicado por Berardo (1976), quien encontró, para praderas en Molisoles del sudeste bonaerense, que el efecto de la fertilización puede ser mínimo o dudoso cuando los valores de Pe son iguales o superiores a 10-12 mg kg⁻¹. Por otra parte, Baethgen y Pérez (1981), en un Molisol de Uruguay, encontraron un nivel crítico inferior, entre 8 y 10 mg kg⁻¹, para un ensayo donde analizaron la producción a lo largo de cuatro años.

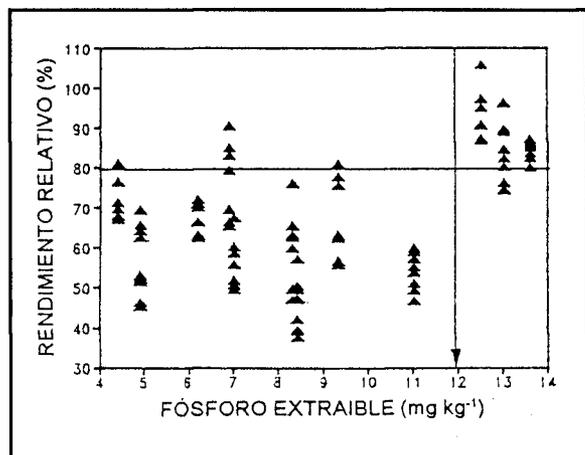


FIGURA 1. Nivel crítico de P Bray-Kurtz Nº 1 en pasturas (Cate y Nelson, 1965).

FIGURE 1. Critical level of P Bray-Kurtz Nº 1 in pastures (Cate and Nelson, 1965).

Esto podría deberse a que se agrupa la información del primer año con la de los años siguientes donde un sistema radical más profundo permite explorar un gran volumen de suelo logrando una buena producción con menores tenores de Pe (Baethgen y Bozzano, 1981, Lavado, 1992). Por lo tanto, debería hablarse de un "nivel crítico" para la fertilización inicial, a la siembra, y de otro valor, más bajo, para las refertilizaciones anuales.

Se logró ajustar satisfactoriamente un modelo continuo que relaciona el rendimiento relativo al máximo con el fósforo extraído (Ecuación I). Se establecieron las clases de fertilidad muy baja (MB), baja (B), media (M), alta (A), muy alta (MA), cuyos límites de clase propuestos son 4,9; 10,2; 14,9 y 23,1 mg kg⁻¹ de Pe, los cuales corresponden a los niveles arbitrarios de 50, 70, 80, y 90% del rendimiento máximo, respectivamente (Figura 2). Estos valores son coincidentes con los propuestos por Darwich (1992), quien hace una valoración agronómica del nivel de Pe para praderas de la región pampeana Argentina, determinando las clases: muy bajo de 0 a 5, bajo de 6 a 10, medio de 11 a 15 y medio alto de 15 a 20 mg kg⁻¹ de Pe.

$$\%Máx = - 15,0 + 36,0 \times Pe3M^{\frac{1}{2}} - 2,95 \times Pe3M \quad (\text{Ecuación I})$$

Todos los coeficientes son significativos ($P \leq 0,01$) y la ecuación con $R^2 = 0,59$.

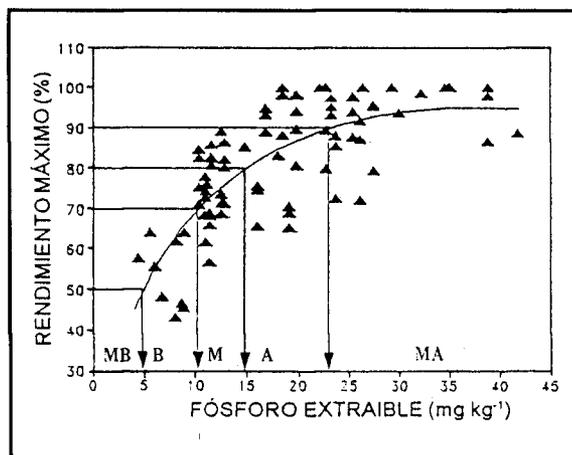


FIGURA 2. Clases de fertilidad para pasturas. MB: muy baja, B: baja, M: media, A: alta, MA: muy alta.

FIGURE 2. Class of fertility for pastures. MB: very low, B: low, M: medium, A: high, MA: very high.

Los promedios de producción observados para cada clase se presentan en el Cuadro 2.

En los ensayos cuyo valor de fósforo disponible fue menor al nivel crítico (12 mg kg⁻¹) la fertilización fosfatada produjo respuestas significativas en la producción de forraje. Se observó un incremento en el rendimiento de 20% con 8 kg y de 97% con 48 kg ha⁻¹ de P (Cuadro 3). La eficiencia de utilización del fertilizante disminuyó al aumentar la dosis, superando los 100 kg de materia seca por kg de P con dosis inferiores a 32 kg ha⁻¹ de P. Cuando la disponibilidad de P estuvo por encima de los 12 mg kg⁻¹, la respuesta no superó el 27% aún con la dosis más alta y la eficiencia no sobrepasó los 40 kg de materia seca por kg de P.

CUADRO 2. Clases de fertilidad. Valores medios observados

TABLE 2. Class of fertility. Average value observed

Clase	Pe (mg ha ⁻¹)	Materia seca (kg ha ⁻¹)
Muy baja	4,3	3.182
Baja	8,4	4.321
Media	11,8	6.067
Alta	19,4	6.976
Muy alta	29,6	7.112

CUADRO 3. Respuesta a la fertilización fosfatada considerando una media de 9 ensayos bajo el nivel crítico (12 mg kg^{-1}) y 3 ensayos con más de 12 mg kg^{-1} de Pe

TABLE 3. Response to phosphate fertilization considering an average of 9 trials below the critical level (12 mg kg^{-1}) and 3 trials over 12 mg kg^{-1} of Pe

Dosis P (kg ha^{-1})	Respuesta al P (kg ha^{-1})		Respuesta al P (%)	
	< 12	> 12	< 12	> 12
8	832	-129	20	-2
16	2.043	614	50	11
32	3.227	1.024	79	18
48	3.863	1.333	94	23
64	3.730	1.571	91	27

La categorización realizada, tanto por el método discontinuo como el continuo, permitió diferenciar, por un lado, a dos poblaciones con distinta probabilidad de respuesta y por el otro, determinar niveles o clases de fertilidad para pasturas. El fósforo extraído por Bray-Kurtz N° 1 correlacionó significativamente con una expresión relativa del rendimiento, considerando que este método es adecuado para valorar la fertilidad fosfatada de los suelos, en condiciones similares a las ensayadas.

RESUMEN

La mayoría de los suelos de Entre Ríos (Argentina) están clasificados como Peludertes y Argiudoles vérticos. Estos suelos se caracterizan por la deficiencia en fósforo y la susceptibilidad a la erosión.

El objetivo de este estudio fue calibrar el análisis de fósforo extraíble (Bray-Kurtz N° 1) para praderas artificiales, en suelos de Entre Ríos. El trabajo fue realizado sobre pasturas asociadas de leguminosas y gramíneas, en campos de productores, en los que se aplicaron distintas dosis de P.

El "nivel crítico" encontrado fue de 12 mg kg^{-1} , por debajo del cual existe una alta probabilidad de respuesta a la fertilización fosfatada. Se establecieron las clases de fertilidad muy baja, baja, media, alta y muy alta; cuyos límites de clase son 4,9; 10,2; 14,9 y 23,1 mg kg^{-1} de P extraíble, respectivamente.

Palabras claves: fósforo, calibración, análisis de suelo, pasturas, fertilización, Argentina.

LITERATURA CITADA

- AACS-ASOCIACIÓN ARGENTINA de la CIENCIA del SUELO. 1991. Programa de Métodos Analíticos de Referencia. PROMAR. p.: 20-27.
- BAETHGEN, W. y BOZZANO, A. 1981. Efecto comparativo de la fertilización inicial y las refertilizaciones en alfalfa y trébol blanco. Estación Experimental "La Estanzuela". Uruguay. Miscelánea N° 37. s/p.
- BAETHGEN, W. y PÉREZ, J. 1981. Dinámica del fósforo en la productividad de una pastura convencional. Estación Experimental "La Estanzuela". Uruguay. Miscelánea N° 37. s/p.
- BARRECA, M. y TASI, H. 1984. Contenido de fósforo en los suelos comprendidos al oeste del río Gualeguay en la provincia de Entre Ríos. Estación Experimental Agropecuaria. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Paraná. Publicación técnica N° 9.
- BERARDO, A. 1976. Método de diagnóstico para la fertilización fosfatada de pasturas en los suelos del sudeste bonaerense. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Suplemento N° 33. p.: 337-350.
- BLACK, C.A. 1993. Soil fertility evaluation and control. Ed. Lewis. Florida, USA. p.: 342-426.
- BRAY, R.H. and KURTZ, L.T. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Science 59: 39-45.
- CAJUSTE, L.J., ÁLVAREZ, V.H. and LAIRD, R.J. 1992. Evaluation of chemical extractants for assessing phosphate availability in volcanic ash soil. Communications in Soil Science and Plant Analysis 23(17-20): 2.189-2.206.
- CASTRO, J., ZAMUZ, E. y OUDRI, N. 1981. Guía para fertilización de pasturas. Estación experimental "La Estanzuela". Uruguay. Miscelánea N° 37. s/p.

- CATE, R. and NELSON, L. 1965. A rapid method for correlation of soil test analyses with plants response data. International soil testing. North Carolina State University Agricultural Experiment Estation, Raleigh. Technical bulletin Nº 1.
- COLWEL, J.D., SUHET, A.R. and RAIJ, B. 1988. Statistical procedures for developing general soil fertility models for variable regions. CSIRO, Division of soil. Australia. Divisional report Nº 93. p.: 62-66.
- DAHNIKE, W.C. and OLSON, R.A. 1990. Soil test correlation, calibration, and recommendation. Ed. Westerman RL. Soil testing and plant analysis. Third edition. SSSA Book Series Nº 3. Madison, Wisconsin, USA. p.: 45-71.
- DARWICH, N. 1992. Fertilización de praderas. GENERAR S.A. I Congreso mundial sobre producción, utilización y conservación de forrajes empleados en la alimentación de la ganadería vacuna. Buenos Aires, Argentina. p.: 77-86.
- FREIRE, F.M., NOVAIS, R.F., BRAGA, J.M., FRANCA, G.E., SANTOS, H.L. y SANTOS, P.R. 1979. Adubação fosfatada para a cultura da soja (*Glycine max*) baseada no fósforo "disponível" em diferentes extratores químicos e no "fator capacidade". Revista Brasileira de Ciência do Solo 3: 105-111.
- JACKSON, M.L. 1976. Análisis químico de suelos. Ed. Omega SA. Barcelona, España. p.: 91-310.
- LAVADO, R. 1992. La fertilidad del suelo y la producción forrajera. GENERAR S.A. I Congreso mundial sobre producción, utilización y conservación de forrajes empleados en la alimentación de la ganadería vacuna. Buenos Aires, Argentina. p.: 77-86.
- PNUD/ FAO/ INTA. 1980. Suelos y erosión de la provincia de Entre Ríos. Tomo I. Serie relevamiento de recursos naturales Nº 1. Estación Experimental Agropecuaria. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Paraná, Argentina. p.: 105.
- QUINTERO, C.E., BOSCHETTI, N.G. y BENAVIDEZ R.A. 1993. Respuesta a la fertilización fosfatada en pasturas. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. XIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mendoza, Argentina. p.: 119-120.
- RAIJ, B. 1992. Algumas reflexes sobre análise de solo para recomendação de adubação. Sociedade Brasileira Ciência do Solo. XX Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutriao de Plantas. Brasil. p.: 71-87.
- TASI, H., 1988. Carta interpretativa de suelos. Aptitud y uso actual de las tierras en la provincia de Entre Ríos. Estación Experimental Agropecuaria. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Paraná. Serie relevamiento de recursos naturales Nº 5. Argentina.
- VALENZUELA, O.; GALLARDO, C. y KAHN, N. 1993. Calibración del fósforo extraíble para el cultivo de lino (*Linum usitatissimum*) en suelos de la provincia de Entre Ríos. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. XIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mendoza, Argentina. p.: 113-114.