

FERTILIZACION FOSFATADA DE PASTURAS EN IMPLANTACION EN SUELOS DE ENTRE RIOS (ARGENTINA)

C E QUINTERO, N G BOSCHETTI, R A BENAVIDEZ

Facultad de Ciencias Agropecuarias UNER - Paraná. Entre Ríos. C.C. 24 (3100) ARGENTINA

PHOSPHORUS FERTILIZATION AT SOWING OF PASTURES IN ENTRE RIOS SOILS (ARGENTINA)

Pelluderts and Vertic Argiudolls occupy most of the area of the Entre Ríos Province. These soils are characterized by P deficiency which has become evident in the responses to phosphate fertilization of crops and pastures. The objective of this study was to obtain a method of diagnosis and recommendation for phosphorus fertilization in pastures based in soil testing. The work was carried out on pastures under rotatory grazing in farmers fields and with different P rates. Dry matter production of controls was significantly associated with extractable-P (Bray 1) at sowing [PE]. There was significant increase in forage production upon fertilization. The critical level was 12 mg kg⁻¹ of PE, below which there is a high probability of yield response. Fertility classes were fixed as: very low, low, medium, high, very high; class limits were 4.9, 10.2, 14.9 and 23.1 mg kg⁻¹ of PE respectively. A multiple model was adjusted which explains 73% of yield variation to fertilization according to the variables: P rates and extractable-P. The quantity of fertilizer required [FR] to increase the soil test to 23 mg kg⁻¹ and the yield at 90% of maximum can be calculated according to: $FR = (23 - PE) 0.422^{-1}$.

Key words: Pastures-Phosphorus-Fertilization-Diagnosis- Yield model-Calibration

INTRODUCCION

En la Provincia de Entre Ríos el área de suelos vertisólicos (Argiudoles vérticos y Peludertes) representa un 51% de su superficie (3,15 Mha) (PNUD/FAO/INTA 1980). Una de las características más importantes de estos suelos es la baja disponibilidad de fósforo (Barreca, Tasi 1984) propia del material que les dió origen. Su aptitud es agrícola-ganadera a ganadera, con rotación de cultivos anuales, verdeos 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 (Berardo 1976) y Sudoeste Bonaerense (Loewy 1993) como así también en la República Oriental del Uruguay (Castro *et al.* 1981).

Hasta el momento no se dispone de suficiente información local para realizar una adecuada valoración de la fertilidad fosfatada del suelo y asesorar a cerca de la cantidad de fertilizante a adicionar, puesto que no está debidamente cuantificado el efecto de las distintas variables de sitio, ni calibrado el análisis de suelo. El objetivo del presente trabajo fue establecer bases para un diagnóstico de fertilidad fosfatada del suelo a los fines de hacer recomendaciones de fertilización en pasturas.

MATERIALES Y METODOS

En el periodo comprendido entre los años 1987-1993 se llevaron adelante 12 ensayos de fertilización fosfatada sobre pasturas en campos de productores. Las praderas estuvieron compuestas por alfalfa (*Medicago sativa*) o lotus (*Lotus corniculatus*), como leguminosa principal o base, y festuca (*Festuca arundinacea*), como gramínea principal; consociadas, según el caso, con trébol rojo (*Trifolium pratense*), trébol blanco (*Trifolium repens*), pasto ovido (*Dactylis glomerata*), cebadilla (*Bromus catarticus*) y/o raygrass (*Lolium sp.*). Se aplicaron distintas dosis de superfosfato triple de calcio en el momento de la siembra (0-8-16-32-48-64 kg de P ha⁻¹) distribuidas al voleo e incorporadas superficialmente. Sin embargo el número de tratamientos se incrementó a 10 para 7 ensayos y a 11 para los otros 5 debido a que se contempló la posibilidad de evaluar la respuesta a la refertilización, tema que no es analizado en este trabajo. 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 previo al ingreso de los animales al lote. Se consideró como primer año de producción al periodo comprendido desde la siembra hasta el otoño siguiente (marzo-abril). Se analizó la producción total de materia seca obtenida en 3 a 7 cortes. Los sitios experimentales se localizaron sobre suelos con características vérticas (Peludertes árgicos 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. Los análisis químicos efectuados se detallan en la Tabla 1. A los tres meses de aplicado el fertilizante se hizo otro muestreo para determinar solamente el fósforo extraíble en cada parcela.

Se calibró el método de Bray y Kurtz 1 modificado, siguiendo la metodología propuesta por Cate & Nelson (1965) para determinar dos clases con distinta probabilidad de respuesta. Además se ajustó un modelo continuo para establecer más de dos clases de fertilidad. Para esto se trabajó con el rendimiento relativo (porcentaje de rendimiento máximo: $\%Máx=Y/Ymáx$) y el PE cuantificado a los tres meses de la fertilización (PE3M). Para el análisis de regresión se definieron como variables dependientes al rendimiento y a la respuesta absoluta (RTA=fertilizado-testigo), de las cuales se registraron 125 casos promedio de 3 observaciones cada uno. Las variables independientes utilizadas se detallan en la Tabla 1. Para la selección de las variables a incluir en el modelo se tuvieron en cuenta los coeficientes de correlación parcial, el criterio de selección estadístico de stepwise y el mayor r^2 ajustado (Draper y Smith, 1981). Se presentan los modelos de mejor ajuste.

RESULTADOS Y DISCUSION

Diagnóstico de fertilidad

El PE a la siembra fue la variable que más se relacionó con la producción de materia seca (MS) sin fertilizante, no siendo significativa la fecha de siembra ni la disponibilidad de nitrógeno (N-NO₃), (Tabla 2).

La regresión ajustada entre el PE y la producción de materia seca fue significativa ($P>0,005$) (Ecuación 1). No sólo se evidencia una alta asociación entre las variables sino que además se observa un importante incremento en la producción (280 kg ha⁻¹) por cada aumento unitario de PE. Esta relación debería dejar de ser lineal a valores más altos de PE.

$$MS \text{ testigos (kg ha}^{-1}\text{)} = 2141 + 280 PE \quad n=36 \quad r^2=0,52 \quad (1)$$

También Moron (1981) encontró una relación lineal entre el PE a la siembra y la producción de MS total en 4 años, en un rango similar de PE.

La cantidad de fósforo extraíble a la siembra se relacionó directa y significativamente con la fracción orgánica del suelo (MO y NT) e inversamente con la calidad de la misma (C/N). Esto implica que suelos bien dotados y balanceados en MO mineralizarían mayores cantidades de P, aunque esta situación no se observó para los nitratos. Las fechas de siembra tardías afectaron más a la disponibilidad de N que a la de P. El P mineralizado en el barbecho permanecería retenido dentro del pool lábil mientras que el N se perdería de la superficie por algún mecanismo.

El rango de PE observado fue lo suficientemente amplio para estos suelos (Tabla 1). Los valores están bien

Tabla 1. Variables analizadas y características de los suelos estudiados

Variable (notación)	Método (unidad)	Media	Mín.	Máx.
Fósforo extraíble (PE)	Bray-Kurtz 1 (mg kg ⁻¹)	8,8	3,6	14,5
Materia Orgánica (MO)	Walkey-Black (%)	3,51	2,29	4,70
Nitrógeno total (NT)	Kjeldhal. (%)	0,180	0,109	0,268
Nitrógeno de Nitratos (N-NO ₃)	Harper (mg kg ⁻¹)	12,3	4,8	21,9
Reacción del suelo (pH)	Potenciometría -	6,8	5,5	8,2
Relación C/N (C/N)	Cálculo -	11,5	7,1	14,5
Dosis de fósforo (P)	Volco (kg ha ⁻¹)	30,4	8	64
Fecha de siembra (FCHA)	Post. 1ºmarzo (día)	75	34	129
Fósforo a 3 meses (PE3M)	Bray-Kurtz 1 (mg kg ⁻¹)	18,3	4,3	41,7
Rendimiento (REND)	(kg ha ⁻¹)	6615	3126	10711
Respuesta absoluta (RTA)	(kg ha ⁻¹)	2592	-15	6180

Tabla 2. Matriz de correlación. Se analiza la información de las parcelas testigo de todos los ensayos

VARIABLES	PE	MO	NT	N-NO ₃	pH	C/N	FCHA
MO	0,36						
NT	0,63	0,70					
N-NO ₃	0,19	0,36	0,32				
pH	-0,13	0,17	0,07	0,09			
C/N	-0,45	0,19	-0,56	-0,04	0,09		
FCHA	-0,37	-0,20	-0,13	-0,61	0,03	-0,04	
Mat.Seca	0,72	0,43	0,56	0,18	-0,03	-0,29	-0,19

Signific. n=36 P> 0,05= 0,33 P> 0,01= 0,42

NO= Materia Orgánica, NT= Nitrógeno total, N-NO= Nitrógeno en nitratos,
C/N= Relación carbono/nitrógeno, FCHA= Fecha de siembra

espaciados, en escala creciente, con diferencias entre puntos sucesivos siempre menores a los 2 mg kg⁻¹.

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. Este se ubica en torno a los 12 mg kg⁻¹ de PE (Figura 1) y es similar al publicado por Berardo (1976), quien encontró, para praderas en el 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 Perez (1981), en 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. 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, Bozzano 1981, Lavado 1992).

En los ensayos con menos de 12 mg kg⁻¹ de PE la fertilización produjo respuestas significativas en la producción de forraje. Se observó un incremento de 24% con 8 kg y de 90% con 64 kg de P por ha (Tabla 3). Por encima de los 12 mg kg⁻¹ la respuesta no superó el 27% aún con la dosis más alta.

Se logró ajustar satisfactoriamente un modelo continuo (Ecuación 2), estableciéndose las clases de fertilidad muy bajo (MB), bajo (B), medio (M), alto (A), muy alto (MA). Los límites de clase propuestos son 4,9, 10,2, 14,9 y 23,1 mg kg⁻¹ de PE que corresponden a los niveles arbitrarios de 50, 70, 80, y 90 % del rendimiento máximo (Figura 2). Estos valores son coincidentes con los propuestos por Darwich (1992). Las ventajas y desventajas de la utilización de una expresión relativa del rendimiento son

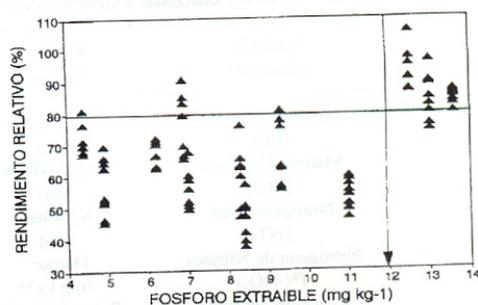


Figura 1. Método gráfico de Cate y Nelson (1965) Fósforo extraíble a la siembra

Tabla 3. Respuesta a la fertilización fosfatada. Media de 9 ensayos debajo del nivel crítico (12 mg kg⁻¹)

Dosis (kg P ha ⁻¹)	0	8	16	32	48	64
REND (kg ha ⁻¹)	4094	5086	6162	7321	7757	7780
RTA (kg ha ⁻¹)	-	992	2068	3227	3663	3686

REND: Rendimiento RTA: respuesta

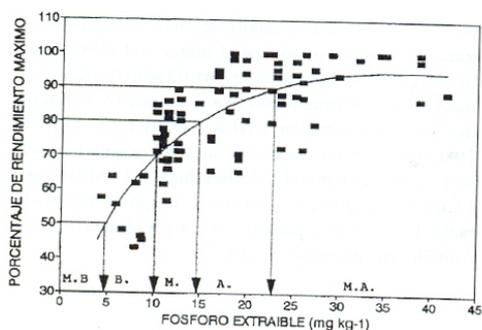


Figura 2. Clases de fertilidad obtenidas a partir del modelo continuo (Ecuación 1). Fósforo extraíble a los tres meses de fertilizado

ampliamente discutidas por Colwel *et al.* (1988), Rajj (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. Los promedios de producción observados para cada clase fueron los indicados en la tabla 4.

$$\%Máx = -15.0 + 36.0 PE3M^{1/2} - 2.95 PE3M \quad r^2=0,59 \quad (2)$$

Si bien las bases para la división en clases son consideradas subjetivas y arbitrarias (Dahnke, Olson 1990) resultan coherentes con los rendimientos observados y prácticas a los fines del diagnóstico (Tabla 4).

Tabla 4. Clases de fertilidad. Valores medios observados

Clase de Fertilidad	PE3M (mg kg ⁻¹)	Materia Seca (kg ha ⁻¹)
- Muy baja	4,3	3182
- Baja	8,4	4321
- Media	11,8	6067
- Alta	19,4	6976
- Muy alta	29,6	7112

Tabla 5. Coeficientes de correlación parcial

Variable	PE	MO	NT	N-NO ₃	pH	C/N	P	Fcha
REND	0,38	0,56	0,47	0,36	0,16	0,03	0,52	-0,26
RTA	-0,16	0,25	0,05	0,31	0,10	0,22	0,54	-0,18
Signif.	n= 125		r	0,05= 0,17		r	0,01= 0,23	

REND: Rendimiento, RTA: respuesta, PE= Fósforo extraíble
MO= Materia orgánica, NT= Nitrógeno total, N-NO₃= Nitrógeno en Nitrato

La dosis de P se relacionó muy significativamente con el rendimiento y la respuesta, explicando esta sola variable el 35% de su variabilidad (Ecuación 3).

Llama la atención que la respuesta absoluta no se relacione significativamente con el PE mientras que una expresión relativa del rendimiento (%Máx) lo haga aceptablemente. De acuerdo a lo manifestado por Rajj (1992), las correlaciones obtenidas entre la producción relativa y la disponibilidad del nutriente son poco o menos afectadas por factores edáficos, climáticos o de manejo, como puede haber ocurrido en esta experiencia. Se observó un mayor rendimiento y respuesta en suelos de buena fertilidad natural, bien provistos de NO₃, reduciéndose la misma con el atraso en la fecha de siembra (Tabla 5). Se seleccionaron 2 variables que explicaron el 73% de la variación de la respuesta a la fertilización en los ensayos evaluados (4). El análisis de los residuales indicó que no existe evidencia de un mal ajuste.

$$RTA = 34,0 + 118 P - 1,1 P^2 \quad n = 125 \quad r^2=0,35 \quad (3)$$

$$REND = -22100 + 122 P - 1,12 P^2 + 17000 PE^{1/2} - 2620,2 PE \quad n = 115 \quad r^2=0,73 \quad (4)$$

P: Dosis de fertilizante (kg ha⁻¹)

PE: Fósforo extraíble (mg kg⁻¹)

Todos los coeficientes son significativos (P>0,01)

La respuesta de la pastura a dosis de fertilizantes se ajustó mejor a un modelo cuadrático. Sin embargo Baethgen y Perez (1981) utilizaron un modelo lineal y uno cúbico, cuando se incluyó la dosis más alta (175 kg P ha⁻¹). Arocena *et al.* (1981) ajustaron modelos lineares y cuadráticos satisfactoriamente, para praderas consociadas en distintos suelos del Uruguay. El modelo obtenido es considerado descriptivo del comportamiento del rendimiento, dentro del rango observado en las variables (Tabla 1).

Recomendación de fertilización

Si el objetivo es producir en un óptimo, la dosis a aplicar será aquella que permita alcanzar un nivel de Pe en el suelo que no limite significativamente el rendimiento.

Este valor puede estimarse a partir de la ecuación (2) o de la Figura 2. Por ejemplo para producir un 90% del máximo el nivel de PE en el suelo debe alcanzar un valor próximo a 23 mg kg^{-1} . Además es necesario conocer la relación que existe entre el P aplicado y el incremento en la disponibilidad de P en el suelo producido por el fertilizante. Esta relación es generalmente lineal (Novais 1979, Moron, Perez 1981, Arocena *et al.* 1981) y para los datos obtenidos en esta experiencia se ajustó la ecuación (5). El grado de ajuste observado indica que se trata de suelos de similar capacidad buffer de fosfatos.

$$PE = -0,283 + 0,4215 P \quad r^2 = 0,73 \quad (5)$$

PE = PE3M - PE (Diferencia entre el PE a los tres meses y el PE inicial)

P = Dosis de fertilizante (kg ha^{-1})

Para establecer la dosis de recomendación (DR) en una situación determinada se puede recurrir a la siguiente relación (Peaslee 1978, Alvarez 1982).

$$DR = \frac{23,1 - PE}{0,422} \quad (6)$$

Donde 23,1 es el límite superior de la clase de fertilidad alta, con el que se alcanza el 90% de la máxima producción; PE es el fósforo extraíble del caso en cuestión y 0,422 es la pendiente de la recta que relaciona el fósforo adicionado con el fósforo recuperado por el extractor a los tres meses de aplicado el fertilizante. Una metodología similar fué propuesta por Castro *et al.* (1981) para la fertilización de praderas en el Uruguay. Si se pretende mayor eficiencia física y probablemente económica, se puede calcular la dosis de recomendación para 80 % Máx ($14,9 \text{ mg kg}^{-1}$). De esta manera se ahorrarían aproximadamente 20 kg P ha^{-1} con sólo una reducción del 10% en el rendimiento.

La información aportada constituye una primera aproximación a los fines de realizar un adecuado diagnóstico de fertilidad fosfatada y hacer recomendaciones de fertilización de pasturas en implantación, sobre suelos vertisólicos de Entre Ríos. Es necesario investigar más en profundidad el efecto de otras variables de sitio así como la respuesta esperada en los años siguientes y el efecto de las refertilizaciones, dado que los modelos presentados no son extrapolables para éstos casos.

AGRADECIMIENTOS

A los productores y técnicos que colaboraron en la red de ensayos. A O Valenzuela por la orientación y las sugerencias brindadas. A C J Vesco por su participación

en el reconocimiento y clasificación de los suelos. Este trabajo fue desarrollado en el marco del proyecto de Investigación Diagnóstico de Fertilidad fosfórica y evaluación de la recuperación física, química y biológica del suelo en rotación UNER-CONICET-CAFPTA, 1986-1995. En las etapas iniciales del mismo han participado MC Benintende, MS Benintende, D. Mistrorigo, J Vicentin, Y Querchi, L Tasara, C Troppini. Los resultados de estas participaciones se han presentado oportunamente en congresos de la AACCS.

REFERENCIAS

- Alvarez VH. 1982. Efecto de los factores cantidad, intensidad y capacidad amortiguadora de fosfatos en la evaluación del fósforo disponible de suelos derivados de cenizas volcánicas de la Meseta Tarasca. Edo. Michoacán. Chapingo México, Colegio de Postgraduados. 300 P. (Tesis Doctoral)
- Arocena M, Allegri M, Castro E, Formoso F. 1981. Fertilización inicial y anual de pasturas en la zona noreste del Uruguay. Estación experimental La Estanzuela. Miscelánea N° 37. Uruguay
- Baethgen W, Bozzano A. 1981. Efecto comparativo de la fertilización inicial y las refertilizaciones en alfalfa y trébol blanco. Estación experimental La Estanzuela. Miscelánea N° 37. Uruguay
- Baethgen W, Perez J. 1981. Dinámica del fósforo en la productividad de una pastura convencional. Estación experimental La Estanzuela. Miscelánea N° 37. Uruguay
- Barreca M, Tasi H. 1984. Contenido de fósforo en los suelos comprendidos al oeste del Río Gualaguay en la provincia de Entre Ríos. Publicación técnica N° 9. EEA. Paraná. INTA. Berardo A. 1976 Método de diagnóstico para la fertilización fosfatada de pasturas en los suelos del sudeste bonaerense. IDIA Suplemento N° 33. P. 337-350
- Black CA. 1993. Soil Fertility Evaluation and Control. Ed. Lewis. Florida USA. P 342-426
- Cajuste LJ, Alvarez VH, Laird RJ. 1992. Evaluation of chemical extractants for assessing phosphate availability in volcanic ash soil. Commun Soil Sci. Plant Anal. 23(17-20), 2189-2206
- Castro J, Zamuz E, Oudri N. 1981. Guía para fertilización de pasturas. Estación experimental La Estanzuela. Miscelánea N°37. Uruguay
- Cate R, Nelson L. 1965. A rapid method for correlation of soil test analyses with plants response data. International soil testing. Technical bulletin N°1. North Carolina State University Agricultural Experiment Estation, Raleigh
- Colwel JD, Suhet AR, Raij B. 1988. Statistical procedures for developing general soil fertility models for variable regions CSIRO, Division of soil. Divisional report N°93. Australia. P62-66
- Dahnke WC, Olson RA. 1990. Soil test correlation, calibration, and recommendation. Ed. Westerman RL. Soil testing and plant analysis. Third edition. SSSA Book Series n°3. Madison, Wisconsin, USA. P 45-71
- Darwich N. 1992. Fertilización de praderas. I° Congreso mundial sobre producción, utilización y conservación de forrajes empleados en la alimentación de la ganadería vacuna. GENERAR. P.77-86

- Draper N, Smith H. 1981. Applied Regression Analysis. John Wiley and Sons, Inc. New York. Cap.6 p. 294-352
- Freire FM, Novais RF, Braga JM, Franca GE, Santos HL, Santos PR. 1979. Adubacao fosfatada para a cultura da soja (*Glycine max*) baseada no fósforo "disponível" em diferentes extratores químicos e no "fator capacidade". R. Bras. Ci. Solo. 3:105-111
- Lavado R, 1992. La fertilidad del suelo y la producción forrajera. 1º Congreso mundial sobre producción, utilización y conservación de forrajes empleados en la alimentación de la ganadería vacuna. GENERAR. P.77-86
- Loewy t. 1993. Fertilización fosfórica de praderas mixtas en el S.O. Bonaerense. Actas XIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mendoza. P 125
- Moron A, Perez J. 1981. Dinámica del fósforo en la productiva de una pastura convencional. Estación experimental La Estanzuela. Miscelánea N° 37. Uruguay
- Novais RF, Kamprath EJ. 1979. Fósforo recuperado em tres extratores químicos como funcao do fósforo aplicado no solo e do Fator Capacidade. R. Bras. Ci. Solo. 3:41-46
- Peaslee DE. 1978. Relationships between relative crop yields, soil test phosphorus levels, and fertilizer requirements for phosphorus. Comm. Soil Sci. and Plant Analysis. 9:429-442
- PNUD/FAO/INTA. 1980. Suelos y erosión de la provincia de Entre Ríos. Tomo I. Serie relevamiento de recursos naturales N° 1. EEA. Paraná. INTA
- Quintero CE, Boschetti NG, Benavidez RA. 1993. Respuesta a la fertilización fosfatada en pasturas. Actas XIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Mendoza. P 119-120
- Raij B. 1992. Algumas reflexoes sobre análise de solo para recomendacao de adubacao. XX Reuniao Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutricao 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. Serie relevamiento de recursos naturales N° 5. EEA. Paraná. INTA