

3. Relación entre fósforo agregado y fósforo extractable en pasturas de Trébol Blanco y *Lotus Corniculatus* instaladas sobre distintos suelos

Quincke, A.¹; Cuadro, R.²; Giorello, D.²; Bermúdez, R.³

INTRODUCCIÓN

Conocer la relación entre dosis de P agregado como fertilizante y el aumento en el P extractable del suelo al momento de su aplicación, significa conocer la eficiencia inicial del fertilizante a agregar para cada suelo en particular. Castro *et al.* (1981b) y Bordoli (1998) denominan a esta relación “equivalente fertilizante” (EF).

En Uruguay Castro *et al.* (1981a) citan valores de EF, utilizando el método de P-Bray, que variaron entre 5.1-12.8 kg P₂O₅/ha para superfosfato y 7.5-37.0 kg P₂O₅/ha para hiperfosfato, dependiendo del tipo de suelo. Por su parte Castro *et al.* (1981b), utilizando el método de P-resinas, mencionan que se necesitan entre 5 y 10 kg P₂O₅/ha para superfosfato y entre 7 y 12 kg P₂O₅/ha para aumentar 1 mg P/kg en el suelo, dependiendo del grupo de suelo a refertilizar. Investigaciones realizadas por las Universidades de Entre Ríos y de la República del Uruguay determinaron que se requieren aplicaciones al voleo de 10 a 30 kg de P₂O₅ por hectárea (aplicado como superfosfato triple) para aumentar el P-Bray en 1 mg P/kg al año de la aplicación (Quintero *et al.*, 1997).

Uruguay tiene una alta variabilidad de suelos y la información existente sobre el tema está muy sesgada hacia suelos del litoral oeste. El nivel de información disponible en las otras regiones del país es bajo, por lo que es necesario la realización de estudios en dichas regiones.

El presente capítulo se refiere específicamente al objetivo de estimar el equivalente ferti-

zante para diferentes suelos de uso pastoril en Uruguay utilizando superfosfato triple y fosforita natural como fertilizantes fosfatados. Esto implica, en otras palabras, determinar la dosis de fósforo (kg P₂O₅ / ha) que sería necesario aplicar para aumentar el P extractable en 1 mg P/kg al momento que se fertiliza. La profundidad de muestreo a la cual refieren los resultados es 0-7.5 y 0-15cm, al igual que los resultados presentados en los demás capítulos de esta publicación.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó con la información generada en la red de experimentos de fertilización fosfatada de pasturas de INIA (Capítulo 1), sobre pasturas de *Trifolium repens* ‘Estanzuela Zapicán’ (TB) y *Lotus corniculatus* ‘San Gabriel’ (LC). Se usaron los datos de los 14 sitios ubicados sobre diferentes suelos de las principales zonas pecuarias del país. La descripción detallada de las propiedades físico-químicas de los suelos se presentan en el Cuadro 1.2 del Capítulo 1.

Se utilizaron los tratamientos 1, 3, 4, 11 y 12 (Cuadro 3.1) para evaluar los dos tipos de fuentes de P: superfosfato triple (ST 0-46/47-0) y fosforita natural de Argelia (FN 0-10/29-0), aplicados en 2 dosis iniciales y sin refertilización. La fertilización fue hecha en otoño al voleo, junto con la siembra de las pasturas. El muestreo de suelos se realizó durante los cuatro años posteriores, a dos profundidades: 0-7.5 y 7.5-15cm. El valor de análisis de suelo para la profundidad 0-15cm fue calculado como el promedio de las dos profundidades determinadas.

¹ Ing. Agr. PhD., Programa Nacional de Investigación en Pasturas y Forrajes. INIA La Estanzuela.

² Ing. Agr., Programa Nacional de Investigación en Pasturas y Forrajes. INIA Tacuarembó.

³ Ing. Agr. MPhil., hasta 2015 Programa Nacional de Investigación en Pasturas y Forrajes. INIA Treinta y Tres.

Cuadro 3.1. Descripción de tratamientos de fertilización fosfatada (kg P₂O₅/ha) usados para el cálculo de Equivalente Fertilizante.

Tratamiento	Fertilización inicial * (kgP ₂ O ₅ /ha)	Tipo de fertilizante
1	0	-
3	120	Supertriple
4	240	Supertriple
11	120	Fosforita natural
12	240	Fosforita natural

* Estos tratamientos no recibieron refertilizaciones posteriores.

El equivalente fertilizante refiere a la dosis de P necesaria para elevar el P extractable en 1 mg P/kg luego de la fertilización. Para el cálculo del EF se realizaron los siguientes pasos:

1. Para los años subsiguientes al año de fertilización, se calculó el incremento debido a la fertilización como la diferencia respecto al tratamiento testigo correspondiente (mismo año, sitio y bloque);
2. Aplicar transformación logarítmica a esta variable;
3. Realizar regresión lineal de esta variable transformada en función de los años de muestreo;
4. Registrar el intercepto y retransformar a escala natural (mg P/kg). Es la estimación del incremento debido a la fertilización al momento de la fertilización;
5. Calcular el EF dividiendo la dosis aplicada (120 ó 240 kg P₂O₅ ha⁻¹) entre el intercepto retransformado (mg P/kg).

Se realizaron un total de 648 regresiones (para las combinaciones de sitio, especie, fuente de P, dosis de P, método de P extractable y profundidad de muestreo), y resultó que el EF fue estadísticamente significativo en 477 regresiones (p-valor para el intercepto menor a 0.05). Los valores resultantes de EF fueron sometidos a un análisis de varianza para evaluar efectos de sitio, especie, fuente de P, dosis de P, método de P extractable y profundidad de muestreo. Los resultados que se reportan son las medias de EF estimadas con el modelo lineal del análisis de varianza.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El sitio, la fuente, el método de P extractable y la profundidad de muestreo afectaron el EF en este estudio. Por el contrario, ni la especie forrajera (TB o LC), ni la dosis inicial (120 ó 240 kg P₂O₅ ha⁻¹) tuvieron efectos sobre el valor de EF. Se presentan los resultados de los equivalentes fertilizantes para los 14 sitios, las dos fuentes (supertriple y fosforita natural), los tres métodos (P-Bray, P-resinas y P-cítrico) y las dos profundidades de muestreo (0-7,5 y 0-15 cm; respectivamente cuadros 3.2 y 3.3). Además, para una discusión más general y a modo de resumen, en el cuadro 3.4 se presentan los promedios de EF para todos los sitios, agrupados por fuente de P, método y profundidad.

La mayor profundidad de muestreo implica necesariamente un mayor EF. Esto es por la mayor masa de suelo en la que se determina el aumento de P extractable. Asumiendo la densidad aparente del suelo, es posible calcular el EF teórico que tendría un suelo si la totalidad del P agregado permanece en forma extractable (y en el estrato de muestreo). Para una densidad aparente 1,25, este valor mínimo de EF sería 2,15 y 4,3 kg P₂O₅ ha⁻¹/ mg P kg⁻¹, para las profundidades 0-7,5 y 0-15cm, respectivamente.

Los valores estimados de EF por tipo de fuente (Cuadro 3.4.) difieren de los reportados por Castro *et al.* (1981b), donde los mayores EF eran para FN y menores para ST. Esto puede tener una o más de

las siguientes explicaciones. En el presente estudio se utilizó roca fosfórica de origen Gafsa, que se caracterizaría por ser más "blanda" o reactiva, en comparación con fosforitas de otros orígenes que se han utilizado. Esta mayor reactividad de la fosforita (respecto a estudios anteriores) resultaría en una mayor solubilización en el suelo, y -por lo tanto- en un menor EF. Además, la aplicación del fertilizante sin incorporación mecánica (es decir al voleo en superficie) resultaría en un mayor contacto del fertilizante con un suelo levemente más ácido ubicado en la capa más superficial. Esto también aumentaría la solubilización de la fosforita. Por otro lado, resultados de la presente publicación muestran que el P proveniente de la fuente soluble puede enriquecer el segundo estrato de muestreo (7.5-15 cm), lo cual no ocurre para la fosforita. En este proceso de movilización, el P podría ser objeto de fijación y resultar en un mayor EF. Por último cabe aclarar que el EF para la fosforita con el método P-Bray sería más alto que para ST, en virtud de la baja sensibilidad de este método respecto a FN, como se comenta en el siguiente párrafo.

El equivalente fertilizante presentó una alta variabilidad debida al suelo (o sitio). Para el **método Bray** y fertilización con ST, los valores de EF variaron entre 35 y 7 kg P_2O_5 /ha para 0-7,5 cm y entre 23 y 10 para 0-15 cm. Cuando el fertilizante aplicado fue FN, la mayoría de las regresiones para la estimación de equivalente fertilizante resultaron no significativas estadísticamente. Este resultado era esperable, considerando que el P-Bray es poco sensible para detectar efectos en suelo cuando se utilizan fuentes no solubles. Similares resultados fueron reportados por Castro *et al.* (1981a). Para el **método de resinas** se reporta el EF para ambas fuentes. Para la fertilización con ST, los valores de EF variaron entre 30 y 4 kg P_2O_5 /ha para 0-7,5 cm y entre 40 y 8 para 0-15 cm. Para la fertilización con FN, los valores de EF variaron entre 12 y 2 kg P_2O_5 /ha para 0-7,5 cm y entre 20 y 5 para 0-15 cm. En promedio

para todos los sitios, el EF para el ST fue más alto que para la FN (14 vs 5 kg P_2O_5 /ha para 0-7,5cm, y 20 vs 10 kg P_2O_5 /ha para 0-15cm). Esto indica que el método resinas tendría una mayor capacidad para extraer el P que proviene de la fosforita, comparado al proveniente de la fuente soluble. Por último, para el **método de ácido cítrico**, también se observa una variación importante en los valores de equivalente de fertilizante para los diferentes suelos estudiados. Para la fertilización con ST, los valores de EF variaron entre 19 y 5 kg P_2O_5 /ha para 0-7,5 cm y entre 30 y 8 para 0-15 cm. Para la fertilización con FN, los valores de EF variaron entre 20 y 3 kg P_2O_5 /ha para 0-7,5 cm y entre 24 y 7 para 0-15 cm. En promedio para todos los sitios, el EF para el ST fue más alto que para la FN (11 vs 8 kg P_2O_5 /ha para 0-7,5cm, y 18 vs 11 kg P_2O_5 /ha para 0-15cm). En este aspecto el P-cítrico tuvo un comportamiento similar a P-resinas, aunque menos consistente entre sitios.

Algunos sitios en particular se destacan por presentar un EF relativamente bajo para FN solamente. Estos suelos corresponden por ejemplo a los sitios de Pan de Azúcar, Palo a Pique, Isla Patrulla y Florida. Los mismos, se destacan por presentar tenores bajos de Ca intercambiable (menos de 6 meq/100g) y un pH menor o igual a 5,7. El sitio de Rincón presentó consistentemente un EF bajo, tanto para ST como para FN. Coincidentemente, este sitio también tiene bajo pH y bajo Ca.

Estudios anteriores indican que el EF puede depender también del nivel de P inicial en el suelo. Los suelos más empobrecidos tendrían un EF más alto, en comparación con suelos que se mantienen con niveles de P superiores a 16 mg kg^{-1} (Gutiérrez *et al.*, 2002). En el presente estudio, todos los sitios tuvieron historia sin fertilización fosfatada (excepto Ombúes y Palmitas), y por lo tanto se encontraban con baja disponibilidad inicial de P. Por lo tanto, es probable que el EF de estos suelos disminuya, una vez que son fertilizados periódicamente (Pérez Sababria *et al.*, 1981; y Rubio *et al.*, 2008).

Cuadro 3.2. Equivalente fertilizante (EF) en kg P_2O_5 /ha para la **profundidad de muestreo de 7.5 cm** según el tipo de fertilizante (superfosfato triple o fosforita) y el método de análisis de fósforo (Bray, resinas o ácido cítrico).

Sitio	Zona agroecológica	Superfosfato Triple			Fosforita Natural	
		Bray	Resinas	Cítrico	Resinas	Cítrico
Isla Patrulla	Sierras no rocosas del Este	18	23	15	6	-
Pan de Azúcar	Sierras rocosas del Este	35	30	19	7	4
Rincón de Ramírez	Bajos del Este	7	-	10	2	6
Palo a Pique	Lomadas del Este	18	20	15	4	4
Glencoe	Vertisol de basalto profundo	16	9	11	3	10
Tambores	Brunosol de basalto profundo	10	5	8	5	8
Tres Puentes	Sedimentarios del Noreste	15	21	14	12	11
Sauce Cañote	Bajos del Noreste	13	11	7	5	6
Trinidad	Sedimentos gravillosos / Cristalino	10	8	6	-	5
Florida	Cristalino	12	22	11	10	3
La Carolina	Sedimentos / Cristalino	14	12	11	3	6
Ombúes	Litoral Oeste / Libertad	7	4	5	3	8
Palmitas	Litoral Oeste / Cretáceo	12	8	14	6	20
Young	Litoral Oeste / Fray Bentos	10	9	8	5	8

Cuadro 3.3. Equivalente fertilizante (EF) en kg P₂O₅/ha para la **profundidad de muestreo de 15 cm** según el tipo de fertilizante (superfosfato triple o fosforita) y el método de análisis de fósforo (Bray, resinas o ácido cítrico).

Sitio	Zona agroecológica	Superfosfato Triple			Fosforita Natural	
		Bray	Resinas	Cítrico	Resinas	Cítrico
Isla Patrulla	Sierras no rocosas del Este	21	40	29	12	8
Pan de Azúcar	Sierras rocosas del Este	-	40	30	13	8
Rincón de Ramírez	Bajos del Este	10	12	11	-	-
Palo a Pique	Lomadas del Este	21	30	27	9	8
Glencoe	Vertisol de basalto profundo	23	14	17	10	15
Tambores	Brunosol de basalto profundo	18	12	10	7	16
Tres Puentes	Sedimentarios del Noreste	23	39	29	20	17
Sauce Cañote	Bajos del Noreste	17	14	10	6	8
Trinidad	Sedimentos gravillosos / Cristalino	14	13	12	5	7
Florida	Cristalino	22	-	-	14	7
La Carolina	Sedimentos / Cristalino	-	15	-	-	8
Ombúes	Litoral Oeste / Libertad	12	8	8	5	12
Palmitas	Litoral Oeste / Cretáceo	18	14	22	13	24
Young	Litoral Oeste / Fray Bentos	13	12	10	6	10

Cuadro 3.4. Valores promedio de equivalente fertilizante (EF) para todos los sitios, para superfosfato triple (ST) y fosforita natural (FN), según métodos de análisis de P en el suelo y profundidad de muestreo.

	Profundidad	Bray I	Resinas	Cítrico
Super triple	0-7,5 cm	15 e	15 de	11 cd
	0-15 cm	17 ef	20 f	16 e
Fosforita natural	0-7,5 cm	-	5 a	7 ab
	0-15 cm	-	9 bc	11 c

* EF= kg P₂O₅/ha para aumentar 1 mg P/kg de P en el suelo al momento de la fertilización.

CONCLUSIONES

- Los valores de equivalente fertilizante dependen del tipo de fuente fosfatada utilizada. En promedio, para los tres métodos evaluados, los EF para ST fueron mayores que para FN.
- La gran variación encontrada en los valores de EF para los diferentes suelos estudiados, muestra la necesidad de efectuar un manejo diferencial de la fertilización fosfatada en función del tipo de suelo, para poder corregir los valores de P al nivel óptimo de la pastura sembrada.
- El método P-Bray no permite detectar los cambios en el P extractable cuando se usa FN.

BIBLIOGRAFÍA

- BARROW, N** 1985. Comparing the effectiveness of fertilizers. *Fertilizer Research*, 8: 85-90.
- BARROW, N.; BOLAND, M.** 1990. A comparison of methods of measuring the effect of level of application on the relative effectiveness of two fertilizers. *Fertilizer Research*, 26: 1-10.
- BAETHGEN, W.; PÉREZ, J.M.** 1981. Efecto residual de la fertilización fosfatada en una rotación agrícola-ganadera. En: Fertilización de pasturas, INIA La Estanzuela. Montevideo: CIAAB. cap. 1, p. 1-17. (Miscelánea; 37)
- BOLAN, N.; WHITE, R.; HEDLEY, M.** 1990. A review of the use of phosphate rocks as fertilizers for direct application in Australia and New Zealand. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 30(2): 297-313.
- BOLLAND M; LEWIS, D.; GILKES, J.; HAMILTON, J.** 1997. Review of Australian phosphate rock research. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 37(8): 845-859.
- BOSCHETTI, N.; QUINTERO, C.; BENAVIDEZ, A.** 1996. Residualidad del fertilizante fosfatado en pasturas consociadas en Entre Ríos (Argentina). *Ciencia del suelo*, 14: 20-23.
- BORDOLI, M.** 1998. Fertilización fosfatada de pasturas. En: JORNADA DE ACTUALIZACIÓN TÉCNICA EN PASTURAS (Concepción del Uruguay, Argentina, 13 nov. 1998). Concepción del Uruguay: INTA.
- CASANOVA, O.; BARBAZAN, M.; BARRRETO, P.** 2014. Tecnologías de fertilizantes. Curso de fertilidad de suelos. Facultad de Agronomía. UDELAR. http://portal.fagro.edu.uy/docs/uensenia/programas/fertilidad_suelos/manejo.pdf
- CASTRO, J.L.; ZAMUZ, E.M. DE; BARBOZA, S.** 1981. Fertilización de pasturas en el Litoral Oeste del Uruguay. *Investigaciones Agronómicas (CIAAB)*, 2 (1): 56-67.
- CASTRO, J.L, ZAMUZ, E.M. DE; OUDRI, N.** 1981. Guía para fertilización de pasturas. En: Fertilización de pasturas, INIA La Estanzuela. Montevideo: CIAAB. cap. 8, p. 1-15. (Miscelánea; 37)
- COX, F.** 1994. Predicting increases in extractable phosphorus from fertilizing soils of varying clay content. *Soil Science*, 58(4): 1249-1253.
- ESCUADERO, J; MORÓN, A.** 1978. Caracterización de la capacidad de fijación de fósforo de distintos suelos del Uruguay. Tesis Ing. Agr., Montevideo (UY), Facultad de Agronomía, Universidad de la República. 100 p.
- GARCÍA F.; PICONE, L.** 2004. Dinámica y manejo de fósforo en siembra directa. En: *Informaciones Agronómicas* N° 55. Instituto de la potasa y el fosforo: p.1-5.
- GUTIÉRREZ, F; SCHEINER, J; MOYANO, J; LAVADO, R.** 2002. Cambios en la disponibilidad de fósforo del suelo por el agregado de fertilizante. En: CONGRESO ARGENTINO DE LA CIENCIA DEL SUELO (18o., 2002, Puerto Madryn, Argentina). [CD-Rom]
- MALLARINO, A.; PRATER, J.** 2007. Corn and soybean grain yield, P removal, and soil-test responses to long-term phosphorus fertilization strategies. En: PROCEEDING ANNUAL INTEGRATED (19o., Ames, Iowa, USA). Crop Management Conference, Ames, Iowa State University, p. 241-254.
- MALLARINO, A.** 2009. Long term phosphorus user studies and How They Effect Recommendation Philosophies. North Central Extension-Industry Soil Fertility Conference. Des Moines, IA. v. 25. p. 5-12.

MALLARINO, A. 2013. Manejo nutricional para alta productividad de cultivos e impacto ambiental reducido. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*, 12: 7-14.

MORÓN, A. 1996. El fósforo en los sistemas productivos: dinámica y disponibilidad en el suelo (I). En: Morón, A.; Martino, D.; Sawchik, J. (eds.). *Manejo y fertilidad de suelos*, INIA La Estanzuela. Montevideo: INIA. p. 37-44. (Serie Técnica; 76)

MORÓN, A. 2002. Posibles usos de fosforitas para mejoramientos de pasturas en zonas ganaderas tradicionales en Uruguay. En: Risso, D.F.; Montossi, F. (eds.). *Mejoramientos de campo en la región de Cristalino: Fertilización; Producción de carne de calidad y persistencia productiva*, INIA Tacuarembó. Montevideo: INIA. p. 97-113. (Serie Técnica; 129)

PÉREZ SANABRIA, J.; CASTRO, J.L.; MANZINI, E. 1981. Calibración de métodos de análisis para determinar la fertilización fosfatada del trigo. *Investigaciones Agronómicas (CIAAB)*, 2 (1): 74-79.

QUINTERO C.; BOSCHETTI, N.; BENAVIDEZ, R. 1997. Efecto residual y refertilización fosfatada de pasturas implantadas en Entre Ríos, Argentina. *Ciencia del Suelo*, 15: 1-5.

QUINTERO, E.; BOSCHETTI, G.; BENAVIDEZ R. 1999. Phosphorus Retention in Some Soils of the Argentinian Mesopotamia. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 30(9 y 10): 1449-1461.

REYNAERT, E.; CASTRO, J. 1968. Eficiencia relativa de tres fertilizantes fosfatados en la fertilización inicial de pasturas. *Boletín Técnico (CIAAB)*, 7:1-24.

RISSE, D.; MORÓN; A.; ZARZA, A. 2002. Fuentes y niveles de fósforo para mejoramientos de campos en la región de cristalino. En: Risso, D.F.; Montossi, F. (eds.). *Mejoramientos de campo en la región de Cristalino: Fertilización; Producción de carne de calidad y persistencia productiva*, INIA Tacuarembó. Montevideo: INIA. p. 115-151. (Serie Técnica; 129)

RUBIO; G.; CABELLO, M.; GUTIÉRREZ, F. 2008. Estimating available soil phosphorus increases after phosphorus additions in Mollic soils. *Soil Science*, 72(6):1721-1727.

RUSSELL, J. S. 1977. Evaluation of residual nutrient effects in soils. *Australian Journal of Agricultural Research*, 28(3): 461-475.

ZAMALVIDE, J.; CASANOVA, O.; GENTA, H.; MALLARINO, A. 1975. Evolución del comportamiento de cinco métodos para estimar fósforo disponible en suelos del Uruguay. Tesis Ing Agr., Montevideo (UY), Universidad de la República, Facultad de Agronomía. 55 p.

ZAMUZ, E.M. DE; CASTRO, J. 1974. Evaluación de métodos de análisis de suelo para determinar fósforo asimilable. *Boletín Técnico (CIAAB)*, 15:1-15.

ZAMUZ, E.M. DE; CASTRO, J. 1981. Comparación de métodos para estimar fósforo disponible en suelos con diferentes fertilizaciones previas. *Investigaciones Agronómicas (CIAAB)*, 2: 8-15.