

4. Eficiencia relativa de la fertilización con fosforita natural respecto a superfosfato

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

INTRODUCCIÓN

La fosforita natural (FN) o roca fosfórica es la materia prima que la industria utiliza en la producción de las fuentes solubles, por lo que su precio es menor que el de los fertilizantes solubles. Debido a que la FN contiene P en forma no soluble, es necesario considerar que el P no se libera en forma inmediata. Por lo tanto, generalmente se espera una menor respuesta vegetal si se compara con fuentes solubles como el superfosfato triple (ST).

La Eficiencia Relativa (ER) de la FN es una medida de la efectividad agronómica de esta fuente de P que se expresa en forma relativa a una fuente soluble. Se define como el cociente entre las respuestas en producción de la FN y el ST (Zapata & Roy, 2007). Un valor de ER=1 (ó 100%) indica que la FN tiene igual eficiencia que el ST. Si la ER es menor que 1, la productividad con FN es menor que con ST, y viceversa. La eficiencia relativa de la FN depende de las propiedades intrínsecas de la roca fosfórica (solubilidad en ácido cítrico neutro), del tamaño de partículas, de las propiedades del suelo y de las especies y variedades que componen la pastura (Khasawneh y Doll, 1978). Respecto a las propiedades del suelo, la FAO (2007) señala que la solubilización de las rocas fosfóricas se favorece con suelos más ácidos, con una alta capacidad de intercambio catiónico, niveles bajos de calcio y de fosfato en solución, y un alto contenido de materia orgánica. De forma más simple, resultados obtenidos en Nueva Zelanda indican que la fosforita natural puede ser tan efectiva como los fertilizantes solubles en suelos con pH menor a 6 y con más de 800 mm de lluvia anual (Bolan *et al.*, 1990).

A nivel nacional, diversos estudios determinaron la ER para distintos tipos de pasturas y suelos del país (Reynaert y Castro, 1968; Morón, 1982; Morón *et al.*, 1982; Bermúdez *et al.*, 2000; Morón, 2002; Risso *et al.*, 2002; Ferres *et al.*, 2003; Ayala y Bermúdez, 2008). Por ejemplo, midiendo la producción acumulada de varios años de pasturas de leguminosas, Morón (2007) reporta una ER de 1,30 para un suelo de Cristalino central. En otro estudio para la misma región (Risso *et al.*, 2007) se obtuvieron valores entre 0,72 y 1,17. Para el caso de suelos sobre Basalto, se obtuvieron valores de ER entre 0,58 y 1,35 (Risso *et al.*, 2014; Morón, 2007). En los estudios de ambas regiones mencionadas, los bajos valores de ER se asociaron al año 1 ó 2 de la pastura. En el Cristalino Este se reportaron valores de 1,80 con pasturas de trébol blanco y lotus (Morón, 2007) y 1,84 (Bermúdez *et al.*, 2000). Para suelos del Noreste se reportó una ER de 85% (Reynaert y Castro, 1968).

Estos ejemplos dan cuenta de la variabilidad en la ER, que se puede explicar por varios factores, incluyendo diferencias entre suelos, la edad y el tipo de la pastura, propiedades de la roca fosfórica, formas de aplicación al suelo, etc. El objetivo del trabajo fue determinar la eficiencia relativa de la fosforita natural respecto al superfosfato triple (ST) para trébol blanco y lotus en diferentes suelos del Uruguay.

MATERIALES Y MÉTODOS

La base experimental fue la red de experimentos de fertilización de pasturas, objeto de la presente publicación. Fueron 14 sitios ubicados sobre diversos suelos en las principales zonas ganaderas del país (más detalles

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.

en capítulo 1 de esta publicación). Además del testigo sin agregado de P (tratamiento 1), se utilizaron los tratamientos 5-9 y 13-17, que se corresponden a dosis de 40, 80, 120, 240, 360 kg de P_2O_5 ha⁻¹ en el año de instalación y refertilizaciones de 10, 20, 30, 60 y 90 kg de P_2O_5 ha⁻¹ en los años subsiguientes (cuadro 1.4 del capítulo 1). La producción de forraje fue evaluada con cortadora de pasto y canasto colector, con previa estimación visual de la composición botánica, para determinar la productividad anual de materia seca (kg de materia seca ha⁻¹ año⁻¹) de trébol blanco o lotus. En el primer año de la pastura hubo condiciones climáticas adversas y no se obtuvieron registros de producción.

Los dos fertilizantes utilizados fueron fosforita natural de Argelia (0-10/29-0; FN) y superfosfato triple (0-46/46-0; ST). Cabe recordar que para la fosforita la "solubilidad" del P que se reporta (en este caso 10%) no es determinada en agua sino en ácido cítrico al 2%.

Para la determinación de la eficiencia relativa de la fosforita se utilizó la producción acumulada de los años 2 y 3. Para cada nivel de

dosis de P y ambas fuentes se determinó la respuesta en productividad respecto al tratamiento sin fertilización. Se calculó la ER de la FN respecto al ST como el cociente entre la producción de trébol blanco o Lotus de los tratamientos con FN respecto a ST. Para el análisis estadístico se utilizó una prueba t para una muestra única, bajo la hipótesis nula de que la media de la ER es igual a 1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de eficiencia relativa están resumidos en el cuadro 4.1. Se observa una alta variabilidad entre sitios, con valores que oscilaron entre 0,67 y 2,45. En el caso de Ombúes hubo alta producción de forraje, pero con baja respuesta a la fertilización. En el caso de Isla Patrulla también se registró baja respuesta. Por esta razón no se reporta la ER para estos dos sitios. El error de la estimación de ER también fue variable, con el caso de Lotus en Rincón de Ramírez registrando el mayor desvío estándar. Esto explicaría por qué en ese caso la ER de 2,45 no resultó significativa estadísticamente.

Cuadro 4.1. Eficiencia relativa (ER) de la fosforita natural respecto a superfosfato triple para trébol blanco y Lotus en los diferentes sitios experimentales.

Sitio	Zona agroecológica	Trébol blanco		Lotus	
		Eficiencia relativa	Desvío estándar	Eficiencia relativa	Desvío estándar
Isla Patrulla	Sierras no rocosas del Este				
Pan de Azúcar	Sierras rocosas del Este	1.26*	0.33	1.59*	0.90
Rincón de Ramírez	Bajos del Este	1.04	0.21	2.45	3.38
Palo a Pique	Lomadas del Este	2.05*	1.85	1.29	0.87
Glencoe	Vertisol de basalto profundo	0.96	0.36	0.99	0.78
Tambores	Brunosol de basalto profundo	0.90	0.27	1.39	0.97
Tres Puentes	Sedimentarios del Noreste	1.01	0.31	1.20	0.39
Sauce Cañote	Bajos del Noreste	0.96	0.27	1.29	0.58
Trinidad	Sedimentos graviliosos /Cristalino	1.15	0.38		
Florida	Cristalino	0.83*	0.20	1.08	0.72
La Carolina	Sedimentos /Cristalino	0.67*	0.29	0.87	0.35
Ombúes	Litoral Oeste /Libertad				
Palmitas	Litoral Oeste /Cretáceo	0.96	0.75	1.25	1.34
Young	Litoral Oeste /Fray Bentos	0.97	0.22	1.04	0.32

El (*) indica que la eficiencia relativa es significativamente distinta de 1 (alfa = 0,05).

La ER fue significativamente menor a 1 únicamente en los casos de La Carolina y Florida para trébol blanco. Por el contrario, para un número de sitios no se encontraron diferencias significativas entre fuentes, con valores de ER cercanos a 1. Estos resultados contradicen la hipótesis general de una menor eficiencia de la fosforita, pero a la vez confirman algunos resultados de estudios anteriores. En el caso particular del presente estudio, deben recordarse 3 aspectos que podrían explicar una mayor ER respecto a estudios anteriores. Un aspecto es que la fosforita empleada, debido a sus características, sería un material de mayor reactividad comparado con fosforitas de otros orígenes,

y que por lo tanto reaccionaría más rápidamente en el suelo para proveer P a las plantas. Otro aspecto es la forma de aplicación al suelo, que no fue con incorporación y en suelo laboreado, sino al voleo en cobertura sobre suelos sin historia agrícola. De esta manera el fertilizante se ubicó sobre la capa más superficial del suelo, que normalmente es más rica en materia orgánica y levemente más ácida que el promedio del suelo en la capa arable. Estas condiciones son más favorables para la solubilización de la fosforita. Por último, es importante recordar que los resultados reportados aquí corresponden a respuestas en segundo y tercer año después de la primera aplicación de los fertilizantes.

Debido a una menor disponibilidad de P con la fosforita, es posible que la respuesta en el primer año sea más favorable para las fuentes solubles.

En los suelos del Este se encuentran resultados de ER claramente mayores a 1 (por ejemplo Pan de Azúcar y Palo a Pique). Estos resultados confirman resultados anteriores de Morón (2007) y Bermúdez *et al.* (2000). Además, resultados del presente estudio indican que estos suelos en particular tendrían un equivalente fertilizante relativamente alto para supertriple, pero bajo para fosforita (capítulo 3). Esto significa que luego de fertilizar con una misma dosis de P, la disponibilidad de P (medida p.ej. con el método de ácido cítrico) sería mayor para fosforita que para supertriple.

Algunas propiedades químicas de los suelos de este estudio (capítulo 1) explican parte de la variabilidad en ER. Casos con mayores ER se asociaron a suelos con pH más bajo, y también valores más bajos de calcio intercambiable, % saturación de bases y % arcilla. Esto es claramente coincidente con Morón (2002), al concluir que los principales factores de suelo que controlan la ER serían el porcentaje de saturación en bases, al pH y al contenido de calcio intercambiable del suelo.

CONCLUSIONES

Los suelos en que la fosforita tendría consistentemente una mayor eficiencia respecto a supertriple (o sea ER mayor a 100%) serían los suelos de las Sierras rocosas del Este (Pan de Azúcar), Lomadas del Este (Palo a Pique) y Bajos del Este (Rincón de Ramírez). En otros suelos, donde la ER es menor a 100%, también puede ser recomendable la fosforita por una relación de precios más favorable.

Los resultados de alta eficiencia relativa observada para los sitios del Este son coincidentes con la mayoría de los estudios anteriores. Para los sitios sobre Cristalino, no se esperaba que el suelo de Florida (unidad San Gabriel-Guaycurú) tuviera una ER menor a 100% en trébol blanco, considerando las propiedades químicas del suelo y resultados de estudios anteriores. No se cuenta con una explicación satisfactoria de este resultado. En cambio, los bajos valores de ER obtenidos en La Carolina (en comparación con Trinidad y Florida) se explicarían por el mayor contenido de calcio intercambiable y la mayor saturación de bases.

Es preciso recordar que los resultados presentados reflejan la eficiencia de la fosforita para los años subsiguientes al año de instalación. No se proveen resultados de eficiencia para el primer año por un problema generalizado de implantación y producción en el primer año.

BIBLIOGRAFÍA

AYALA, W; BERMÚDEZ, R. 2008. Fertilización fosfatada sobre mejoramientos de campo con lotus cv. El Rincón y lotus cv. Maku en suelos superficiales. En: Bermúdez, R.; Ayala, W. (eds.) Seminario de actualización técnica: fertilización fosfatada de pasturas en la región este. INIA Treinta y Tres. Montevideo: INIA, p. 51-61 (Serie Técnica; 172)

BERMÚDEZ, R.; CARÁMBULA, M.; AYALA, W. 2000. Estudio comparativo de diferentes fuentes y dosis de fósforo sobre el comportamiento productivo de un mejoramiento extensivo con trébol blanco y lotus. En: Jornada anual de producción animal: resultados experimentales. Unidad Experimental Palo a Pique. Treinta y Tres: INIA Treinta y Tres. p. 17-24 (Serie Actividades de Difusión; 225)

BOLAN, N.S.; WHITE, R.E.; HEDLEY, M.J. 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): p. 297-313

BOLAN, M.D.S.; LEWIS, D.C.; GILKES, R.J.; HAMILTON. 1997. Review of Australian phosphate rock research. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 37: p. 845-859.

FAO. 2007. Utilización de las rocas fosfóricas para una agricultura sostenible. Roma: FAO. 155 p. (Boletín FAO Fertilizantes y nutrición vegetal; 13)

FERRÉS, S; QUEHEILLE, P.M.; RIET, I. 2003. Fertilización fosfatada en mejoramientos de campo en la Región Este. Tesis Ing. Agr. Montevideo. Facultad de Agronomía, Universidad de la República., 151 p.

KHASAWNEH, F.E.; DOLL, E. C. 1978. The use of phosphate rock for direct application to soils. *Advances in Agronomy* vol. 30 p 159-206

MORÓN, A. 1982. I. Fuentes de fósforo para pasturas En: Fuentes de fósforo para pasturas. Estanzuela, Colonia: CIAAB. p.1-24 (Miscelánea; 42)

_____. BEMHAJA, M.L.; CASTRO. E. 1982. II. Comparación de fuentes de fósforo para pasturas en un suelo de basalto. En: Fuentes de fósforo para pasturas. Estanzuela, Colonia: CIAAB. p.1-9 (Miscelánea; 42)

_____. 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)

_____. 2008. Fertilización de pasturas: Respuesta y relación de precios para la producción de carne y leche. in: *Informaciones agropecuarias* 40.

REYNAERT, E.E.; CASTRO, J.L. 1968. Eficiencia relativa de tres fertilizantes fosfatados en la fertilización inicial de pasturas. Estanzuela, Colonia: CIAAB. 24 p. (Boletín Técnico; 7)

RISSE, D.F.; MORÓN, A.; ZARZA, A. 2002. Fuentes y niveles de fósforo para mejoramientos de campos en suelos de 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. 115-150 (Serie Técnica; 129)