

EL USO DE ROCA FOSFORICA EN LAS PRADERAS DE NUEVA ZELANDIA

Emilio Ruz J.¹

INTRODUCCION

La industria ganadera de Nueva Zelanda (NZ), se basa esencialmente en la producción de praderas de Trifolium repens y Lolium perenne. El buen desarrollo de los tréboles y subsecuentemente la fijación simbiótica de nitrógeno (N), dependen de un adecuado suministro de fósforo (P) el cual se consigue mediante continuas aplicaciones de fertilizantes fosforados.

Tradicionalmente las deficiencias de P se han corregido con Superfosfato Normal (SFN), siendo este fertilizante prácticamente la única fuente de P que se comercializaba en ese país. Sin embargo, en los últimos 10 años ha surgido un creciente interés en el uso directo de rocas fosfóricas reactivas (RFR), rocas fosfóricas parcialmente aciduladas (RPPA) y mezclas de RFR con Superfosfato Normal, dando origen a un producto conocido como "Longlife".

Varios factores han influido en estos cambios, pero los más importantes se pueden resumir en 4 puntos:

- a) La eliminación de los subsidios a los fertilizantes, y el interés de los agricultores en reducir sus costos de producción.

1. Ing. Agrónomo, Ph.D. INIA-Quilamapu, Casilla 426, Chillán, Chile

- b) Los resultados de investigación en numerosos experimentos que han demostrado que las RFR tienen un comportamiento similar al SFN como fertilizante de mantención en praderas bajo pastoreo (Gregg et al., 1981; Quin et al., 1987; Rajan et al., 1987).
- c) El aumento en los costos de fabricación de fertilizante completamente acidulados como el SFN, y la disminución del valor de los productos agropecuarios.
- d) La disminución en el suministro de rocas fosfóricas baratas y de buena calidad para la fabricación de SFN.

Asociado al interés en diversificar los fertilizantes, fue necesario iniciar un importante esfuerzo en investigación relacionada con el uso de fertilizantes fosforados parcial o completamente insolubles en agua, cuyo comportamiento agronómico puede estar afectado por el tipo de suelo, tipo de pradera y condiciones climáticas específicas para cada zona del país.

La mayor parte de la investigación en RFR ha estado concentrada en las siguientes instituciones: Massey University, The New Zealand Fertilizer Manufacturers' Research Association, MAFTech y DSIR, cuyos resultados se han publicado en numerosos trabajos de investigación y en los proceedings de Talleres y Conferencias específicas sobre este tema.

El artículo que se presenta en este Seminario, pretende entregar una síntesis de estas investigaciones, indicando también la importancia relativa de las RFR frente a los fertilizantes tradicionales, y una guía práctica basada en el conocimiento actual que orienta a los agricultores en la selección de fertilizantes fosforados.

**USO DE FERTILIZANTES FOSFORADOS EN NZ Y PRINCIPALES
CARACTERISTICAS AGRONOMICAS**

El P es el principal nutriente, pero no el único, que limita la producción de las praderas de NZ. La mayoría de los suelos del país requiere de continuas aplicaciones de P para suplir las pérdidas de este elemento que ocurren con la extracción en el producto animal, transferencias a zonas no productivas en el área de pastoreo y otras pérdidas asociadas a factores de suelo. De esta forma, la industria de los fertilizantes fosforados se ha constituido en la industria básica de fertilizantes de NZ, y es a través de este medio como otros nutrientes tales como Potasio (K), Azufre (S) y elementos menores, se agregan al suelo.

En los últimos años el uso de fertilizantes fosforados ha fluctuado alrededor de 1.12 millones de toneladas (White et al., 1989). Los más importantes, por volumen de venta lo constituyen el SFN, Longlife y RFR en porcentajes aproximados de 50%, 40%, 10% respectivamente. Algunas importantes características de estos productos aparecen en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Características de los principales fertilizantes fosforados actualmente en uso en Nueva Zelanda

	SFN	LONGLIFE	RFR
Disponibilidad de P	Rápida	Intermedia	Lenta
P total (%)	9.0	10.0	13.0
P solub. en agua (%)	92	58	7
Azufre (%), Sulfato	12	8	1
Relación P/S	0.75	1.25	13.0

(Adaptado de Edmeades et al.; 1990)

Serie Carillanca N° 29

El "Longlife" es una mezcla de SFN y RFR en proporción 7:3 (en peso), que se efectúa durante el proceso de fabricación de SFN en el estado "ex-den". Normalmente se ha usado la roca Carolina del Norte, en unos casos molida (75-85% < a 75 μ m) y en otras en la forma como se recibe en el país. Independiente del tamaño de partículas en esta mezcla, se obtiene buena granulometría porque el SFN al estado "ex-den" está aún húmedo cuando se agrega la RFR y en general el producto queda fácil de manipular. En este fertilizante una parte de P total se encuentra disponible en forma rápida y otra en forma lenta. Los resultados de investigación (White et al., 1989; Edmeades et al., 1990) señalan que el "Longlife" tiene un comportamiento agronómico inicial mejor que las RFR, pero al igual que este último, requiere de cierto tiempo de aplicación continua para obtener una respuesta en producción de la pradera similar al SFN.

Esta diferencia puede ser pequeña en términos absolutos cuando el nivel inicial del P (Olsen) en el suelo es medio a alto, pero puede llegar a ser de mayor importancia agronómica en suelos con bajo nivel donde se requiere corregir esta deficiencia en forma rápida.

Las Rocas Fosfóricas Reactivas (RFR) para uso directo como fertilizante en NZ, deben tener el 30% o más del P total, soluble en ácido cítrico al 2%. La principal diferencia agronómica entre las RFR y el SFN es la tasa a la cual se libera el fosfato y la diferencia en el contenido de azufre. En el Cuadro 2, se presentan las principales características de las RFR de mayor uso en NZ.

Cuadro 2. Comparación de las principales rocas fosfóricas reactivas disponibles en Nueva Zelanda

	ROCA FOSFORICA REACTIVA		
	Sechura	C. del Norte	Egipcia
Pais de origen	Perú	U.S.A.	Egipto
Compañía	Norphos	F.M.A*	Quinphos
P total (%)	13.0	13.0	13.0
% P soluble ác. cítrico	40	31	33
Aspecto físico	Arena fina	Arena fina	Arena fina

* Member of Fertilizer Manufactures Ass.
(Adaptado de Edmeades et al., 1990)

Costo: El valor de los fertilizantes está sujeto a cambios constantes, de igual forma el transporte y la aplicación. Sin embargo, con el objeto de ilustrar cuanto influye la diferencia de precios en el costo de fertilización, se presentan algunas alternativas de tipos de fertilizantes para suelos con y sin requerimientos de S, (Cuadro 3).

Cuadro 3 Costo de fertilizantes (u\$/ha) para aplicar 20 kg P/ha con y sin 15 kg S/ha.

	%P	%S	U\$ t aplic.	U\$/ha para aplicar	
				20 kg P/ha	20 kg P/ha y 15 kg S/ha
SFN	9	12	144	32	32
Longlife	10	8	144	29	29
RFR	13	1	135	21	-
RFR + S	12	8	156	-	26

(Adaptado de Ledgard and Thorrold, 1990)

La RFR es la fuente de fósforo más barata por unidad de P en NZ. Sin embargo, a diferencia del SFN, las RFR no son efectivas como fuente de P en todas las situaciones (Ledgard and Thorrold, 1990). Esto es consecuencia de las condiciones de clima y suelo, (como se mostrará en las secciones siguientes) que se requieren para convertir el P de la RFR en forma disponible para la planta. La ventaja económica relativa de la RFR sobre el SFN, depende de la velocidad a la cual el P de la RFR se transforma en P disponible y de los requerimientos de S. El S puede ser agregado como S elemental pero de este modo se reduce la ventaja económica de la RFR.

EFFECTIVIDAD AGRONOMICA DE LA ROCA FOSFORICA

Antecedentes básicos

La efectividad agronómica de la RFR aplicada directamente como fertilizante depende de varios factores: i) la naturaleza química y forma física de roca, ii) las propiedades del suelo iii) tipo de pradera o cultivo, y iv) las condiciones climáticas. En general, la efectividad de la RFR se estima a través de una comparación (en producción o absorción de P) con un fertilizante standard como el SFN o el SFT. A este tipo de comparación se le suele denominar efectividad agronómica relativa (EAR). Los métodos más comunes usados en este cálculo han sido los siguientes: (Bolan et al., 1990).

$$(\%) \text{ EAR} = \frac{\text{Rendimiento con RFR}}{\text{Rendimiento con SFT}} \times 100$$

$$\circ \text{ EAR} = \frac{\text{Rdto. con RFR} - \text{Rdto. del Testigo}}{\text{Rdto. con SFT} - \text{Rdto. del Testigo}}$$

Entre las propiedades del suelo que influyen la efectividad agronómica de la RFR, se consideran normalmente factores que afectan la tasa de disolución de la RFR y factores que afectan la subsecuente disponibilidad para las plantas del P soluble.

Tasa de disolución: En muchos suelos de NZ el poder de suministro de protones H⁺ medido a través de la acidez titulable puede suplir más que suficiente H⁺ para disolver RFR aplicada a dosis normales

Serie Carillanca N° 29 101

(equivalente a 30 kg P/ha). Por ejemplo la acidez titulable entre pH 5 y 6 en los primeros 10 cm de varios suelos de la Isla del Norte (Cuadro 4), según Bolan et al, (1986) y Tambunan (1988) fue suficiente para disolver entre 2.3 y 7.8 t/ha de la roca fosfórica Carolina del Norte (294 - 998 kg P/ha) previsto que la humedad del suelo no fuera limitante.

Cuadro 4. Acidez titulable entre pH 5 y 6 y la cantidad teórica de roca fosfórica Carolina del Norte (CN) que se podría disolver en algunos suelos de Nueva Zelanda

TIPO SUELO	Acidez (1) titulable (Kmol H ⁺ /ha)	Roca CN (2) disuelta (t/ha)	Referencia
Yellow grey earth	29	2.3	Bolan et al. (1986)
Yellow brown loam	94	7.5	Bolan et al. (1986)
Yellow brown pumice	94	7.8	Tambunan (1988)
Yellow brown loam-	68	5.4	Tambunan (1988)
yellow brown earth intergrade			

(1) Para este cálculo se usó la capacidad buffer del suelo (mol H⁺/unidad de pH en 1 kg de suelo) y la densidad aparente en los primeros 10 cm de suelo (kg/m³)

(2) 1 mol de roca fosfórica CN consume 12 moles de H⁺ para una completa disolución (Syers et al., 1986).

Disponibilidad de P: En teoría la adsorción de P por el suelo debiera disminuir la concentración de P alrededor de las partículas de RFR y favorecer la disolución (Kirk y Nye 1986 b). Sin embargo, Gregg et al. (1987) indica que si el P adsorbido no está disponible

Serie Carillanca N° 29 102

para las plantas, la efectividad agronómica de la roca medida en términos relativos al SFT o SFN puede ser menor en un suelo fijador que en uno menos fijador (Hammond et al., 1986).

Esta paradoja puede ser ilustrada por recientes estudios de disolución y efectividad de la RFR en suelos de NZ de Mackay et al., (1986), quienes concluyeron que al medir la tasa de disolución de 30 suelos de NZ, aparte del porcentaje de saturación de calcio en los sitios de intercambio, la capacidad de retención de P fue la variable más importante que controla la disolución de la RFR (Sechura). Sin embargo, Sinclair y Dyson (1988) en ensayos de campo durante 3-5 años en 19 suelos de NZ encontraron que la efectividad agronómica de la RFR (Sechura) fue menor en suelos con alta retención de P.

El modelo de Kirk y Nye (1986 a), predice este resultado atribuible a la naturaleza curvilínea de la isoterma de adsorción de P (tipo Freundlich), indicando que a una baja concentración de P en la solución, la capacidad buffer de P es muy alta, por lo tanto, debe disolver una gran cantidad de P desde la RFR para aumentar la concentración de P en la solución del suelo, y entonces, promover una mayor adsorción de P por la planta. Este tema continúa en la agenda de investigación para demostrar experimentalmente las teorías y el modelo de Kirk y Nye.

Tipo de cultivo y especies: En NZ se ha demostrado que la RFR es más efectiva en proporcionar P a praderas permanentes basadas en trébol blanco y ballica que en cultivos (trigo, cebada, triticale). Esto se atribuye a que las leguminosas pueden acidificar la rizósfera especialmente cuando fijan activamente nitrógeno atmosférico (White 1988; Bolan et al., 1991) y de este modo aumentar la tasa de disolución de la RFR.

Este efecto fue estudiado por Gregg et al. (1981) y Mackay et al. (1986) en experimentos de campo con trébol blanco, donde el crecimiento de la leguminosa fertilizada con RFR fue similar o

superior al obtenido con SFN, aplicado a dosis similares de P.

Condiciones climáticas: Las condiciones climáticas de NZ, no constituyen limitantes para la utilización de la RFR como fertilizante. La lluvia es generalmente alta (800 - 1500 mm) y bien distribuida a través del año. Al combinar los factores de clima (precipitación > 800 mm) y pH del suelo (<6.0) el área agrícola potencialmente apta para la aplicación directa de roca fosfórica alcanza a unos 8 millones de has (Figura 1). Esta área recibe una fertilización promedio de 27 kg P/ha/año, para lo cual se necesitan 0.22 millones de toneladas de P, que se podrían suministrar con 1.7 millones de toneladas/año de roca fosfórica de Carolina del Norte (White et al., 1989).

Experiencias de campo

En NZ se han efectuado numerosos ensayos de campo a través del tiempo, donde se ha comparado la efectividad agronómica de las rocas fosfóricas en relación a fertilizantes solubles. Sin embargo, en esta presentación se hará referencia principalmente a un grupo de experimentos que en forma sistemática ha conducido el Ministerio de Agricultura (MAF), que se les conoce con el nombre de "MAF National Series". Este estudio incluye alrededor de 20 sitios experimentales representando los suelos y condiciones climáticas más importantes del país. En los experimentos se comparó la roca fosfórica Sechura (Perú) con SFT usando 4 dosis de P. También se aplicó S para eliminar posibles deficiencias de este elemento y que pudiera limitar la efectividad de los fertilizantes fosforados.

Los resultados de estos ensayos han sido analizados y resumidos por Sinclair et al. (1990) y también en numerosos boletines de extensión y congresos de fertilizantes. En la Figura 2 (reproducida de Sinclair et al., 1990) aparece el resumen de las curvas de respuesta en materia seca de todos los experimentos de campo desde el año 1 al año 6, donde se compara la roca fosfórica Sechura (SPR) y el superfosfato triple (TSP). Las dosis de P se

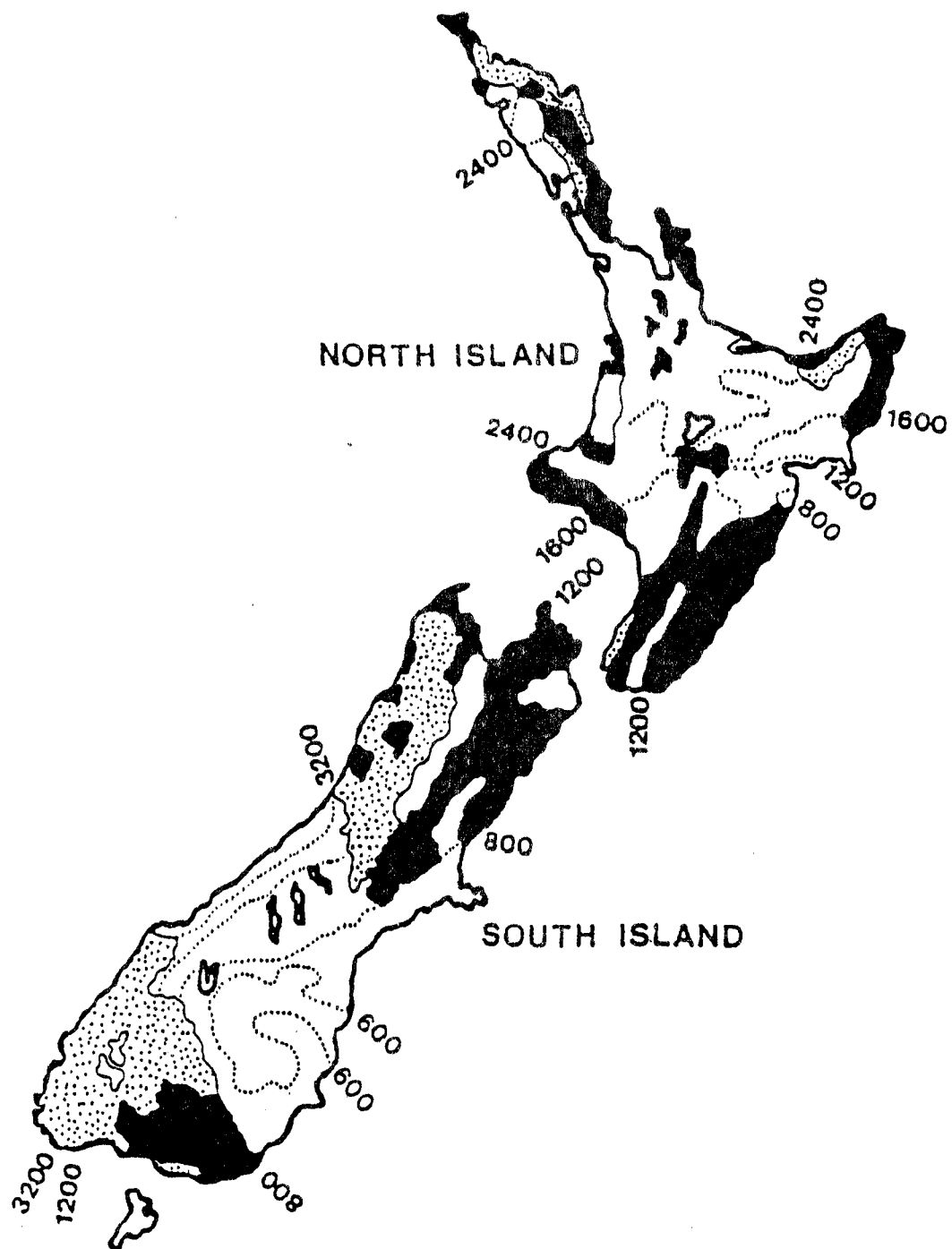


FIGURA 1. Approximate areas of land with mean annual rainfall > 800 mm and soil pH < 6.0 (in water) in New Zealand potentially suitable for RPR application. Areas have been separated into agricultural (■) and non-agricultural (▨) land. Numbers refer to mean annual rainfall in mm¹⁰.

(White et al, 1989)

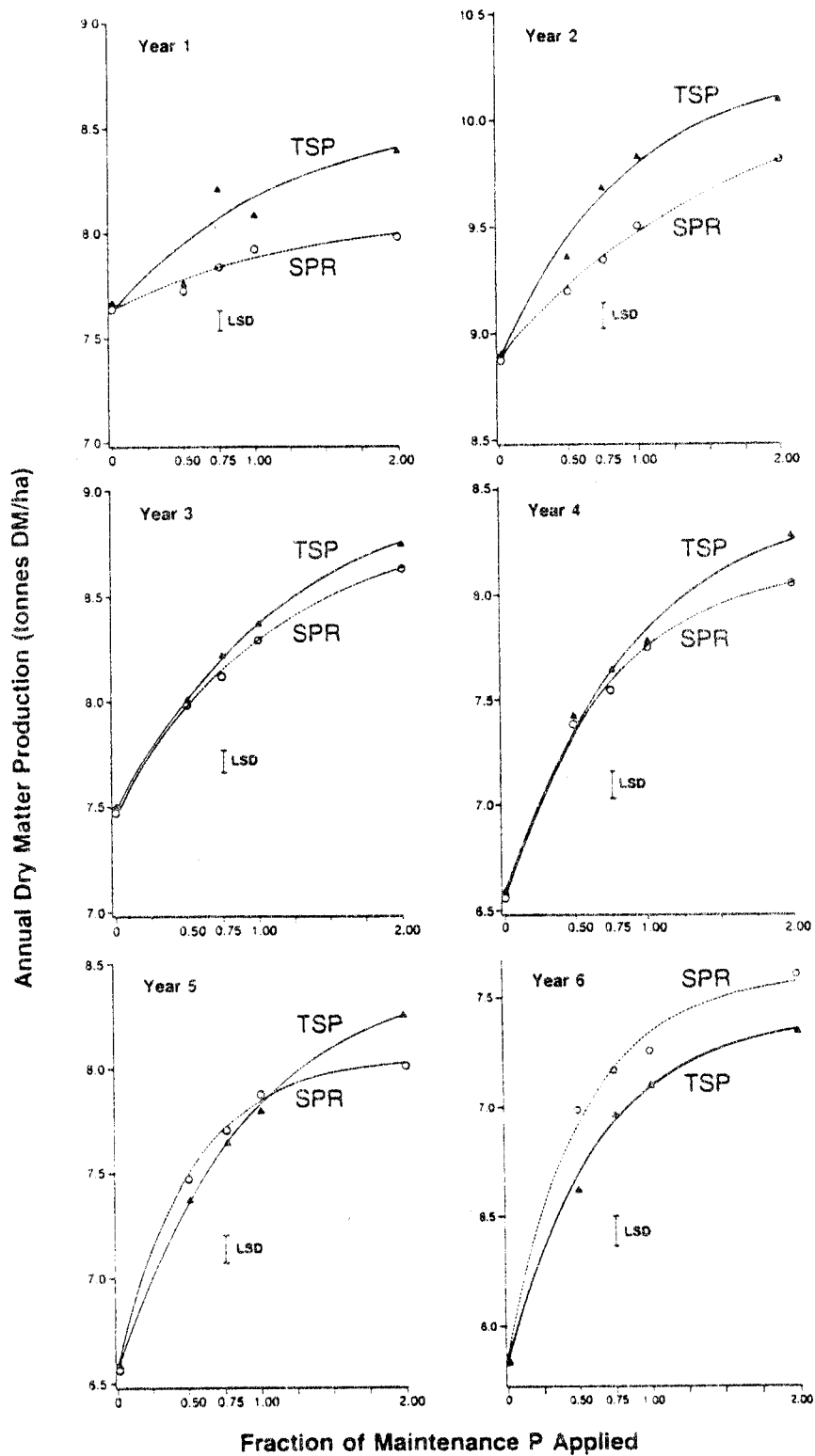


FIGURA 2. Mean annual response curves for all operating trials in year 1 to year 6.

(Sinclair *et al.*; 1990)

expresan como una fracción de la dosis de mantención que se calcularon para cada sitio de acuerdo al sistema nacional de recomendaciones de fertilizantes para las praderas de NZ (Cornforth y Sinclair, 1984).

Analizados colectivamente estos resultados, indican que las praderas respondieron mejor al TSP que a la SPR en el primer y segundo año. Las diferencias en respuesta fueron menores en el tercero y cuarto y prácticamente habían desaparecido en el quinto y sexto año.

La Figura 2, también muestra que los rendimientos variaron considerablemente entre años. Estas variaciones frecuentemente excedieron las diferencias en respuesta a la roca fosfórica y superfosfato triple, constituyendo desde luego, un hecho importante especialmente para ganaderos con una dotación animal relativamente estable.

Algunos resultados de los experimentos en forma individual, mostraron respuestas relativamente menores en los primeros años, pero fueron aumentando con el tiempo. Esto refleja que en esos sitios había un mayor suministro de P del suelo pero que las reservas decrecieron en forma rápida si no se aplicaba P como fertilizante.

En relación a las consideraciones climáticas y tipo de suelo, los ensayos demostraron que la roca fosfórica se disuelve muy lentamente en zonas secas y en suelos de pH 6 o superior. Sin embargo, en la red de experimentos habían pocos sitios en esta categoría.

En relación a la proporción de P que llega a ser disponible el primer año de aplicación de roca fosfórica, los ensayos del "National Series" sugieren que entre el 30-40% de la RFR se disuelve el primer año. Alrededor del tercer a cuarto año la cantidad de P disponible proveniente de la aplicación anual más el Serie Carillanca N° 29

efecto residual de los años anteriores parece igualar la cantidad de P disponible atribuible al superfosfato triple.

RECOMENDACIONES

Basado en el conocimiento actual del comportamiento de la roca fosfórica en NZ, (principalmente en los resultados de los experimentos del "National Series") el Ministerio de Agricultura (MAF) estableció en 1991 las recomendaciones consideradas oficiales para el uso de roca fosfórica reactiva como fertilizante de aplicación directa en los suelos del país, y que se resumen en los siguientes puntos:

1. No usar RFR si el pH del suelo es mayor a 6.0 o si hay menos de 800 mm de lluvia + riego al año.
2. Para un rápido aumento del nivel de P en el suelo (1-2 años) usar un fertilizante fosforado soluble. Para un aumento gradual, la RFR será efectiva.
3. Para mantener un adecuado nivel de P en el suelo (con una determinada carga animal), si el nivel actual de P es mayor al adecuado, puede dejar de aplicar fertilizantes fosforados o aplicar dosis moderadas o bajas de RFR, esto es alrededor de la mitad de la dosis sugerida como mantención. Pero cuando el nivel de P del suelo se aproxima al valor deseado, entonces usar la dosis completa recomendada para mantención ya sea aplicando SFN o RFR.
4. Si P del suelo está en el nivel adecuado, use RFR o Superfosfato. La RFR puede reducir ligeramente la producción de forrajes en el primer y segundo año. Esta disminución es imprevisible pero probablemente puede llegar a ser menor que las fluctuaciones estacionales que experimenta normalmente las producciones de las praderas. Después de 1-2 años de aplicaciones de RFR, el efecto residual de las aplicaciones

iniciales debiera remover cualquier diferencia entre la RFR y fertilizantes fosforados solubles. La disminución en producción en el primer y segundo año cuando se ha cambiado a RFR es probable que tenga importancia práctica solamente si la carga animal y la utilización de la pradera están cercanas a un nivel máximo.

5. Si se ha usado regularmente RFR durante tres o más años, es poco probable que exista algún beneficio al cambiar nuevamente al uso de superfosfato.
6. En los lugares donde la RFR y el SFN, son^o igualmente efectivos. La elección debiera estar basada en consideraciones tales como: el costo relativo de unidad de P, las necesidades de S, o prácticas de agricultura orgánica. Estas recomendaciones se presentan en un esquema (Figura 3) que ayuda a los agricultores a tomar una decisión respecto al uso correcto de la roca fosfórica como fertilizante. Junto a esta información los agricultores deben considerar otros aspectos tales como su actitud frente al riesgo, estado financiero de la empresa, habilidad y nivel tecnológico en el manejo predial, etc.

CONCLUSIONES

1. En NZ se aplican actualmente alrededor de 1.12 millones de toneladas de fertilizantes fosforados. De éstos, la RFR constituye aproximadamente un 10%. Mezclas de RFR y SFN ("Longlife") alcanzan un 40%, el 50% restante corresponde a SFN.
2. La RFR tiene un comportamiento agronómico más efectivo en praderas permanentes de trébol y ballica que en cultivos de cereales y otros.
3. La RFR se disuelve más lentamente que el superfosfato.

4. La RFR no llega a ser tan efectiva como los fertilizantes solubles hasta después de 3-4 años de aplicaciones regulares. Las diferencias en producción entre los dos tipos de fertilizantes son sin embargo, menores que las fluctuaciones estacionales de los rendimientos.

5. La RFR se disuelve demasiado lentamente para ser útil en suelos con pH mayor a 6.0 o en zonas que tienen una precipitación anual menor a 800 mm.

Decision Tree

R.P.R.

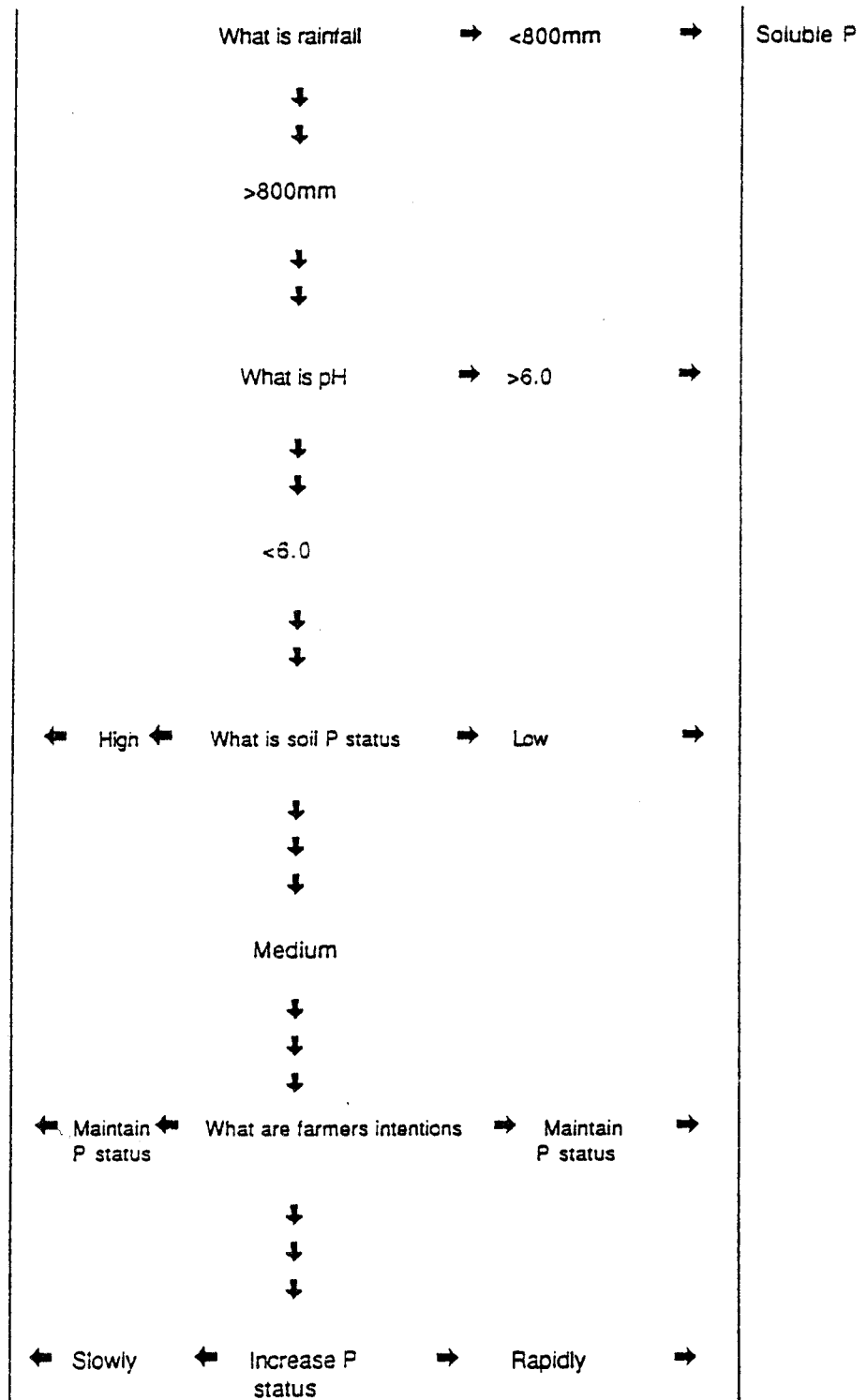


FIGURA 3. Criterios para decidir el uso de roca fosfórica.

(MAF, 1991)

LITERATURA CITADA

- BOLAN, N.S.; SYERS, J.K.; TILLMAN, R.W. 1986. Ionic strength effects on surface charge and adsorption of phosphate and sulphate by soils. *Journal of Soil Science* 37: 379-388.
- 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: 295-313.
- BOLAN, N.S.; HEDLEY, M.J.; WHITE, R.E. 1991. Processes of soil acidification during nitrogen cycling with emphasis on legume based pastures. *Plant and Soil* 134: 53-63.
- CORMFORTH, I.S.; SINCLAIR, A.G. 1984. Fertiliser and Lime recommendations for pasture and crop in New Zealand. Second revised edition, MAF, Wellington, 76p.
- EDMEADES, D.C.; O'CONNOR, M.B.; LEDGARD, S.F.; ROBERTS, A.H.C.; THORROLD, B. 1990. Fertilizers - Facts and Fallacies. Proceedings of the 42nd Ruakura Farmers' Conference, Hamilton, N.Z. pp.46-54.
- GREGG, P.E.H.; SYERS, J.K.; MACKAY, A.D. 1981. Agronomic effectiveness of reactive phosphate rocks in hill country pastures. In 'Potential of phosphate rocks as a direct application fertilizer in New Zealand'. Occasional Report Nro. 3 (Eds. J.K. Syers and P.E.H. Gregg.) pp.4-11 (Department of Soil Science Massey University: Palmerston North, New Zealand).

GREGG, P.E.H.; MACKAY, A.D.; TILLMAN, R.W.; CURRIE, L.D. 1987. A summary of reactive phosphate rock research at Massey University. In. 'The use of reactive phosphate rocks and their derivatives as fertilizer'. Occasional Report Nro. 1. (Eds R.E. White and L.D. Currie) pp.115-132. (Fertilizer and Lime Research Centre, Massey University: Palmerston North, New Zealand).

HAMMOND, L.L.; CHIEN, S.H.; EASTERWOOD, G.W. 1986. Agronomic effectiveness of Bayovar phosphate rock in soil with induced phosphorous retention. Soil Science Society of American Journal 50: 1601-1606.

KIRK, G.J.D.; NYE, P.M. (1986a). A simple model for predicting the rates of dissolution of sparingly soluble calcium phosphate in soil. II. Application of the model. Journal of Soil Science 37: 541-544.

KIRK, G.J.D.; NYE, P.M. (1986b). A simple model for predicting the rates of dissolution of sparingly soluble calcium phosphate in soil. I. The basic model. Journal of Soil Science 37: 529-540.

LEDGARD, S.F.; THORROLD, B.S. 1990. Getting value from fertilizer-choosing the correct fertilizer type. Proceedings of the 42nd Ruakura Farmers' Conference, Hamilton, N.Z. pp.220-223.

MACKAY, A.D.; SYERS, J.K.; TILLMAN, R.W.; GREGG, P.E.H. 1986. Development and evaluation of a simple model to describe the dissolution of phosphate rock in soils. Soil Science Society of America Journal 50: 291-296.

MAF 1991. RPR Recommendations for farmers. Ministry of Agriculture and Fisheries. pp.9. (no publicado).

QUIN, B.F.; DYSON, C.B.; CHIAO, Y.S. 1987. Agronomic and economic aspects of the use of phosphate rocks for pasture-development of a predictive model. In. 'The use of reactive phosphate rocks and their derivatives as fertilizer'. Occasional Report Nro. 1. (Eds R.E. White and L.D. Currie) pp.147-163. (Fertiliser and Lime Research Centre, Massey University: Palmerston North, New Zealand).

RAJAN, S.S.S.; GILLINGHAM, A.G.; O'CONNOR, M.B.; PERCIVAL, N.S.; GRAY, M.G. 1987. Ground phosphate rock as fertilisers for pastures. In. 'The use of reactive phosphate rocks and their derivatives as fertilizer'. Occasional Report Nro. 1. (Eds R.E. White and L.D. Currie) pp.78-83. (Fertiliser and Lime Research Centre, Massey University: Palmerston North, New Zealand).

SINCLAIR, A.G.; DYSON, C.B. 1988. An interim report on the MAF 'National Series' forms of phosphate fertiliser trials: herbage dry matter production for growing season 1982/83 to 1986/87 inclusive (MAFTech: Wellington).

SINCLAIR, A.G.; DYSON, C.B. 1990. The long-term effectiveness of reactive phosphate rock as a phosphate fertiliser for New Zealand pastures. Proceedings of the New Zealand Grassland Association 51: 101-104.

TAMBUNAN, D. 1988. A laboratory assessment of the pH buffering capacity and lime requirements of selected New Zealand Soils. Dip. Agric. Sci., Massey University, Palmerston North, New Zealand.

SYERS, J.K.; MACKAY, A.D.; BROWN, M.W.; CURRIE, L.D. 1986. Chemical and physical characteristics of phosphate rock materials of varying reactivity. Journal of the Science of Food and Agriculture 37: 1057-1064.

WHITE, R.E. 1988. Soil-plant-fertilizer interactions: New development involving phosphate. New Zealand Agricultural Science 22: 58-62.

WHITE, R.E.; HEDLEY, M.; BOLAN, N.; GREGG, P. 1989. Recent development in the use of phosphate fertiliser on New Zealand Pastures. Agricultural Science Vol. 2(5): 26-32.