

POSIBLES USOS DE FOSFORITAS PARA MEJORAMIENTO DE PASTURAS EN ZONAS GANADERAS TRADICIONALES EN URUGUAY

A. Morón¹

RESUMEN

La posibilidad de la utilización de otras fuentes de fósforo (P) alternativas a los fosfatos solubles al agua (Superfosfatos) ha sido explorada e investigada en distintos países desde las primeras décadas del siglo XX. El principal motivo de la exploración de fuentes alternativas generalmente ha sido de carácter económico. Actualmente se agregan otras consideraciones. La producción de alimentos denominados "naturales" u "orgánicos" promueven la utilización de Fosforitas en detrimento de los Superfosfatos. La utilización directa de las Fosforitas o rocas fosfatadas de origen sedimentario se puede definir en función de tres tipos de factores que afectan su eficiencia: a) inherentes a la reactividad de la roca, b) condiciones del suelo, y c) factor planta. El objetivo del presente trabajo es seleccionar y resumir la información generada en Uruguay más relevante sobre la utilización de las Fosforitas en zonas ganaderas tradicionales.

Existen diferencias entre regiones en cuanto a la eficiencia relativa de las Fosforitas respecto de los Superfosfatos. Uniendo la información de la descripción de las características químicas de los perfiles modales de los suelos con la información experimental de los ensayos de comparación de fuentes de P, surgen tendencias generales. La Re-

gión Este sería la que presentaría las mayores ventajas para las Fosforitas. En segundo lugar sería la Región Cristalino Central y en especial los suelos de la unidad San Gabriel-Guaycurú. Por último estaría la Región Basalto. Como pautas generales y forma tentativa puede sostenerse que los suelos en los cuales se encuentra mejor comportamiento de las Fosforitas son de: $\text{pH}_{(\text{agua})} \leq 5,6$, $\text{meq Ca intercambiable / 100 g} \leq 10$ y un $\text{V}(\%)_{\text{pH } 7} \leq 70$.

Existen regiones y suelos dentro de regiones donde la utilización de las Fosforitas es la mejor opción. Si se agrega la consideración del precio del kilogramo de fósforo, las Fosforitas de origen Gafsa o North Carolina, son excelentes alternativas. Estas regiones tienen condiciones claramente favorables para desarrollar proyectos de producción de carne «orgánica» o «natural» para lo cual se permite solamente el uso de Fosforitas.

Para las regiones o suelos con eficiencia relativa de la Fosforita inferior al Superfosfato debe considerarse que por lo menos una parte de esa diferencia puede ser compensada por un precio relativo inferior del kilogramo de fósforo como Fosforita. En general, y en especial para la Región Basalto, existe la posibilidad de explorar la utilización de Fosforita en mezcla con azufre elemental (S⁰). Esta mezcla ha sido denominada «biosuper».

¹ Ing. Agr. , Dr. , Sección Suelos INIA La Estanzuela.

INTRODUCCIÓN

La posibilidad de la utilización de otras fuentes de fósforo (P) alternativas a los fosfatos solubles al agua (Superfosfatos) ha sido explorada e investigada en distintos países desde las primeras décadas del Siglo XX. El principal motivo de la exploración de fuentes alternativas generalmente ha sido de carácter económico. Actualmente se agregan otras consideraciones. La producción de alimentos denominados «naturales» u «orgánicos» promueven la utilización de Fosforitas en detrimento de los Superfosfatos.

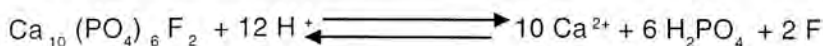
En revisión del tema, Khasawneh y Doll (1978) definieron la posibilidad de utilización directa de las Fosforitas o rocas fosfatadas de origen sedimentario en función de tres tipos de factores que afectan su eficiencia:

1) *Inherentes a la reactividad de la roca.*

Las apatitas de origen sedimentario, también llamadas carbono apatitas o francolitas, pueden ser representadas por la siguiente fórmula: $\text{Ca}_{10-a-b} \text{Na}_a \text{Mg}_b (\text{PO}_4)_{6-x} (\text{CO}_3)_x \text{F}_{2+0.4x}$. La sustitución de fosfato por carbonato afecta la estructura, estabilidad y el tamaño de los cristales en forma positiva para su utilización directa. La Fosforita de origen Gafsa, históricamente la más utilizada en Uruguay, se encuentra entre las que tienen más alto nivel de sustitución de fósforo por carbonato (Hammond *et al.*, 1986). También debe mencionarse que la Fosforita de origen North Carolina (USA), que se comercializó en Uruguay, tiene el índice más alto de sustitución fósforo-carbonato de las de origen norteamericano (Hammond *et al.*, 1986; Khasawneh y Doll, 1978). Ambas fosforitas se encuentran dentro de lo que se denomina comúnmente como Fosforitas *blandas o reactivas*.

2) *Condiciones del suelo*

A los efectos de simplificar se seleccionó la ecuación de disolución de la fluorapatita:



Sintéticamente se puede observar que las siguientes condiciones favorecen la disolución de la Fosforita: a) aumento de la concentración de H^+ o sea pH ácido, b) baja concentración de Ca en solución y en forma intercambiable, y c) baja concentración de P en solución.

3) *Factor planta*

Es conocido el efecto de acidificación del suelo provocado por el crecimiento de las leguminosas (Williams, 1980; Haynes, 1983; Bolan, 1989). Este efecto es atribuido a la fijación biológica de N que provoca la liberación de H^+ en la rizosfera y dependiendo de la especie de leguminosa considerada entre 37 y 49 mg de H^+ son producidos por cada gramo de N fijado (Marschner, 1995). Las leguminosas que obtienen N de la fijación biológica tienen mayor capacidad de utilizar P proveniente de las Fosforitas (Marschner, 1995). También debe tenerse presente que la alta demanda de Ca y P que normalmente presentan las leguminosas favorece la solubilización de la Fosforita según la ecuación presentada en el ítem anterior. Rajan *et al.* (1996) enumeran los factores de las plantas que afectan la disolución de las Fosforitas: a) secreción de H^+ , b) absorción de grandes cantidades de Ca, c) producción de agentes quelatantes como ácidos orgánicos (cítrico, málico) que forman complejos con el Ca, y d) disminuyan la concentración de P en la solución del suelo.

En Uruguay los primeros trabajos sobre comparación de diferentes fuentes de fósforo comenzaron en la década del 60 (Reynaert y Carámbula, 1961; Carámbula, 1962; Carámbula y Durán, 1964; Reynaert y Castro, 1968). Posteriormente, Facultad de Agronomía-Universidad de la República y especialmente el CIAAB (Centro de Investigaciones Agrícolas «Alberto Boerger») y luego INIA (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias) continuaron realizando

diversos tipos de trabajos en distintos momentos. El objetivo del presente trabajo es seleccionar y resumir la información generada más relevante sobre la utilización de las Fosforitas en zonas ganaderas tradicionales.

Región Basalto

Comprende fundamentalmente los departamentos de Artigas y Salto y parte de los departamentos de Paysandú, Río Negro Tacuarembó y Durazno. Representa 21 % del país. En términos generales son suelos superficiales o moderadamente profundos con afloramientos y pedregosidad de origen basáltico. Asociados se encuentran suelos fértiles, de menor pedregosidad y mayor profundidad. Los suelos superficiales son de baja productividad y con serios problemas de almacenaje de agua y por ende de producción estival. Por otra parte los suelos profundos o moderadamente profundos son suelos productivos, con una alto potencial si se introducen mejoramientos y es donde se han localizado la mayoría de los mejoramientos de pasturas hasta el presente. En el Cuadro 1 se presentan las características químicas de interés de las principales unidades de suelo de la región basáltica con los respectivos suelos dominantes.

La unidad de suelos Curtina también integra la Región Basalto con los siguientes suelos predominantes: Litosoles Eutricos Melánicos, Brunosoles Eutricos Típicos y

Vertisoles Háplicos. Esta unidad no es mencionada en el Cuadro 1 dado que los Litosoles que la componen tienen las mismas características químicas que los de la unidad Queguay Chico, y los Brunosoles y Vertisoles son similares que los de la unidad Itapebí Tres Arboles.

Como se observa en el Cuadro 1 las condiciones de los suelos no serian las mas propicias para la aplicación de Fosforitas dado que el pH al agua es cercano a 6 o superior, con altas cantidades de calcio intercambiable el cual ocupa mas del 50 % de la capacidad de intercambio catiónico y con altos porcentajes de saturación en bases.

Reynaert y Castro (1968) estudiaron la eficiencia relativa de la Fosforita de origen Gafsa (0-12,5/30,5-0) frente al Superfosfato común (0-20/21-0) en una denominada pradera negra sobre basalto en el departamento de Paysandú. El suelo era un campo natural con tres años de agricultura y presentaba un pH (agua) 5,8 y P disponible Bray I 2,3 mg P/g. Se instaló mediante laboreo convencional una mezcla de diferentes especies (T subterráneo, T. blanco, *Phalaris tuberosa*, *Lotus corniculatus*) de la cual se evaluó la producción total durante el primer año. Se ajustaron funciones de respuesta lineales con un intercepto común. A partir de las funciones ajustadas se calculó la eficiencia relativa como el cociente de las pendientes. Así, la Fosforita presentó una eficiencia de 0,85 frente al supefosfato común.

Cuadro 1. Características químicas de los perfiles modales de los suelos dominantes de la Región Basalto.

Unidad	Suelo dominante	Horizonte, cm	pH (agua) 1:2.5	Ca meq/100 g	CIC _{pH 7} meq/ 100g	V(%) _{pH 7}
Cuchilla Haedo-Paso de los Toros	Litosol Eutrico Melánico	A, 0-5	6,4	18,1	30,5	84,3
Queguay Chico	Litosol Eutrico Melánico	A, 0-12	5,9	23,4	42,6	79,1
Itapebí-Tres Arboles	Brunosol Eutrico Típico	A ₁ , 0-19	6,2	22,4	35,8	84,6
Itapebí-Tres Arboles	Vertisol Háplico	A ₁₂ , 0-20	5,9	37,2	57,1	82,3

CIC_{pH 7} = capacidad de intercambio catiónico a pH 7
 V(%)_{pH 7} = (bases totales / CIC_{pH 7})100
 Fuente: Ministerio de Agricultura y Pesca (1979)

Morón *et al.* (1982) reportaron un trabajo de comparación de fuentes de P instalado en 1979 en un Brunosol Eutrico de la unidad Queguay Chico en la Unidad Experimental «Glencoe» de la Estación Experimental del Norte - CIAAB. En la instalación se determino el pH (agua) 5,6 y P disponible Bray I 2,5 $\mu\text{g P/g}$. Se instalo con laboreo convencional en suelo virgen y las especies que se utilizaron fueron T. blanco, *Lotus corniculatus* y *Festuca arundinacea*. Dos de los fertilizantes utilizados fueron Superfosfato simple (0-21/23-0) y Fosforita granulada (0-12/30-0).

En la instalación no se mezcló el fertilizante con el suelo. Las dosis utilizadas en la instalación fueron: 0, 60, 120 y 180 kg $\text{P}_2\text{O}_5/\text{ha}$.

Dada la existencia de una fuerte sustitución de la producción de *Lotus corniculatus* por el Trébol blanco cuando aumentaban las dosis de fertilizante, se seleccionó como indicador sensible para comparar las fuentes de P la producción del T. blanco (Morón *et al.*, 1982). En las Figuras 1 y 2 se presenta la respuesta del T. blanco a la fertilización inicial con las dos fuentes de P aplicadas en la instalación de la pastura.

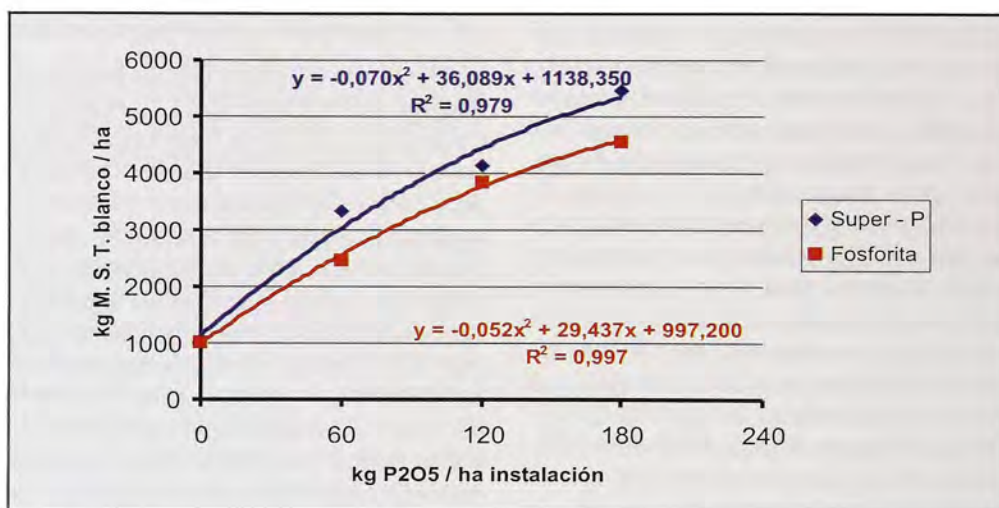


Figura 1. Respuesta del T. blanco en el segundo año de una pastura mezcla a la fertilización inicial con dos fuentes de fósforo en un suelo sobre basalto (Fuente: Morón *et al.*, 1982).

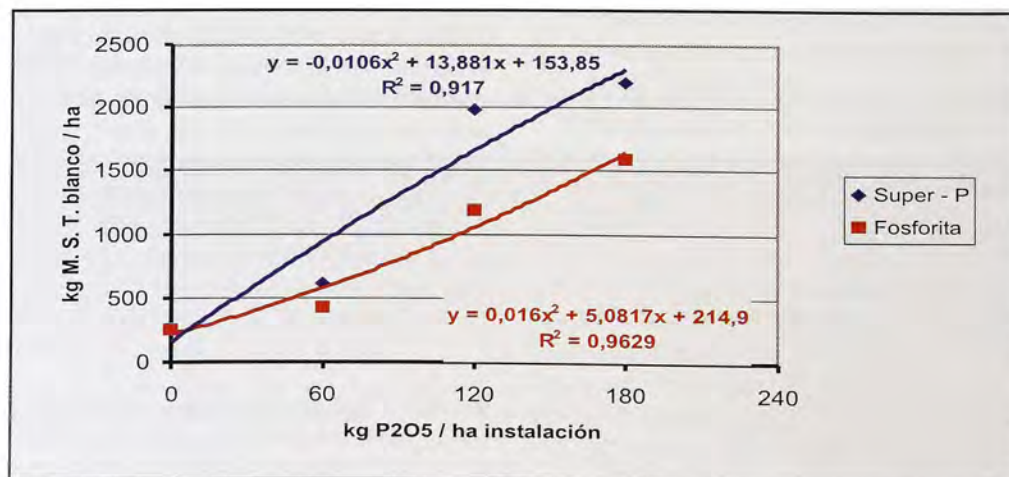


Figura 2. Respuesta del T. blanco en el tercer año de una pastura mezcla a la fertilización inicial con dos fuentes de fósforo en un suelo sobre basalto (Fuente: Morón *et al.*, 1982).

En los Cuadros 2 y 3 se presentan las eficiencias relativas según las funciones ajustadas en las gráficas antes mencionadas. Se calcula los kg P₂O₅/ha como Superfosfato simple que es necesario para producir el mismo rendimiento que X kg P₂O₅/ha como Fosforita. La dosis de Superfosfato se expresa como porcentaje de la dosis del fertilizante en cuestión y a este índice se le denomina «porcentaje de Superfosfato equivalente» o eficiencia relativa. Parece claro que existe una superioridad del Superfosfato frente a la Fosforita. También debe mencionarse que existe información experimental

ron básicamente dos fuentes: Superfosfato simple (0-21/23-0) y Fosforita molida en polvo (0-12/30-0). La información generada en los dos primeros años fue afectada fuertemente por la sequía que sufrió todo el país. Por tanto, los autores centraron su análisis en los años posteriores a dicho fenómeno climático. En la Figura 3 se observa la producción total (Lotus + gramíneas naturales) en tres años. En los años 3 y 4 la contribución del Lotus es importante, disminuyendo marcadamente su contribución en el 5 año.

En la Figura 4 se observa la producción de materia seca de Lotus corniculatus en los

Cuadro 2. Eficiencia relativa de dos fuentes de P a tres niveles de fertilización inicial en el segundo año de la pastura.

	kg P ₂ O ₅ /ha			
	60	120	180	Promedio
Superfosfato simple	100	100	100	100
Fosforita	72	74	71	72

Fuente: Morón *et al*, 1982

reciente que sugiere la existencia de respuesta del T. blanco al agregado de azufre en suelos de basalto (Morón y Risso, 2001). Esto estaría sugiriendo que por lo menos parte de la superioridad presentada por el Superfosfato simple podría explicarse por la presencia de S como SO₄Ca (yeso) en su constitución.

En 1989 Zamalvide *et al.* (no publicado) instalaron un ensayo de respuesta a P en un Brunosol Eutrico de la unidad Itapebí-Tres Arboles. La especie seleccionada fue *Lotus corniculatus* y el método de siembra fue en cobertura. En la instalación se determinó pH (agua) 5,5 y P disponible Bray I 2,5 mg P/g. Se compara-

ños 3 y 4 cuando se siembra y refertiliza con la misma fuente de P.

Como puede observarse en las Figuras 3 y 4 existe una tendencia general de mayor eficiencia del Superfosfato simple. No obstante debe mencionarse que en el mismo trabajo se realizaron comparaciones entre Superfosfato simple y Superfosfato triple (0-46/46-0) con resultados favorables al primero. Se atribuyó esta diferencia a la presencia de azufre en la constitución del Superfosfato simple.

En síntesis, la información disponible en general es concordante al presentar una eficiencia mayor del Superfosfato simple frente a la Fosforita de origen Gafsa. Toda o parte de esta diferencia podría ser compensada en

Cuadro 3. Eficiencia relativa de dos fuentes de P a tres niveles de fertilización inicial en el tercer año de la pastura.

	kg P ₂ O ₅ /ha			
	60	120	180	Promedio
Superfosfato simple	100	100	100	100
Fosforita	52	57	66	58

Fuente: Morón *et al*, 1982

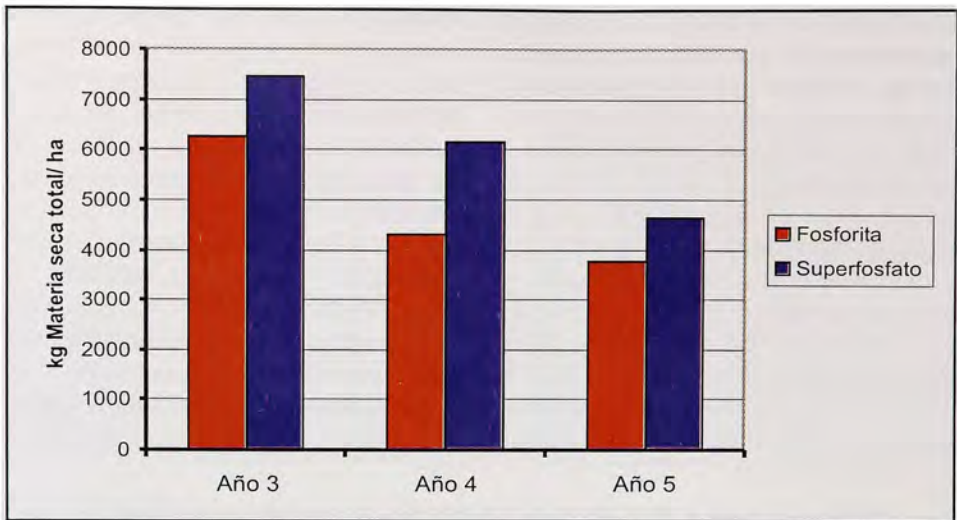


Figura 3. Comparación de la producción total de materia seca de un mejoramiento de *Lotus corniculatus* sobre un suelo de basalto a 60 kg P_2O_5 /ha como Superfosfato simple y Fosforita en la instalación y sin refertilizaciones posteriores (Fuente. Zamalvide *et al.*, no publicado).

la medida que el kg P_2O_5 total como Fosforita mantenga un precio suficientemente inferior al kg P_2O_5 total como Superfosfato. Ejemplo: si para producir X cantidad de forraje se debe agregar 10 kg P_2O_5 / ha como Fosforita u 8 kg P_2O_5 / ha como Superfosfato se dirá que la eficiencia relativa de la Fosforita es

0,80. Por tanto, el precio del kg P_2O_5 total como Fosforita deberá ser como mínimo 80 % del precio del kg P_2O_5 total como Superfosfato. Actualmente, la diferencia de precios a favor de la Fosforita puede compensar total o parcialmente la menor eficiencia registrada en estos suelos.

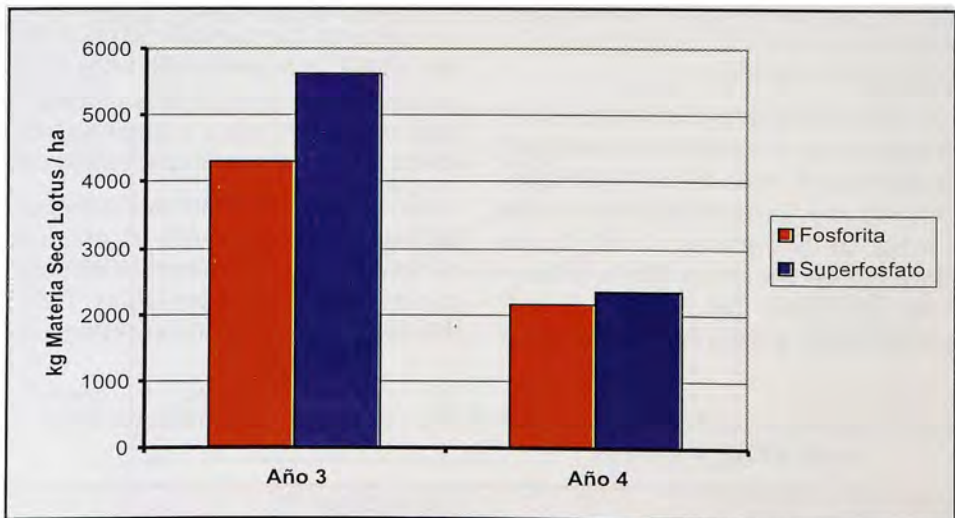


Figura 4. Producción de *Lotus corniculatus* en un mejoramiento sobre suelo de basalto con 60 kg P_2O_5 /ha en la instalación y 30 kg P_2O_5 /ha en las refertilizaciones anuales. Los tratamientos utilizan la misma fuente de P en la instalación y en las refertilizaciones (Fuente: Zamalvide *et al.*, no publicado).

Región Cristalino Central

Comprende fundamentalmente parte de los departamentos de Florida, Flores, Colonia y Soriano. Representa 15,5 % de la superficie del país. En términos generales son suelos superficiales asociados con suelos profundos y más fértiles. Ambos son suelos formados sobre basamento cristalino que en algunas regiones está parcialmente recubierto por sedimentos limo-arcillosos que dan lugar a los suelos más profundos y fértiles. La producción animal esta fuertemente limitada por la baja producción de las pasturas naturales que presentan déficits invernales y estivales. En el Cuadro 4 se presentan las características químicas de interés de las dos principales unidades de suelo de la región.

Como se observa en el Cuadro 4 la condición más favorable para la utilización de las Fosforitas se encontraría en los suelos dominantes de la unidad San Gabriel-Guaycurú, mientras que la más desfavorable sería en el Vertisol Ruptico en su fase superficial.

Castro *et al.* (1981) reportan una serie de ensayos comenzados en 1967 sobre fertilización de pasturas donde se comparan el Superfosfato simple con la Fosforita de origen Gafsa en el litoral oeste del Uruguay. Dentro de los suelos estudiados se incluía un Brunosol Subéutrico Lúvico sobre Cristalino con pH (agua) 5,8, P disponible Bray I 9,2 µg P/g y con pocos años de agricultura previa. Las especies sembradas con laboreo convencional fueron T. blanco, T. subte-

rráneo y Festuca arundinacea. Los niveles de fósforo en la instalación variaron desde 0 a 240 kg P₂O₅/ha y con y sin refertilización anual de 40 kg P₂O₅/ha para cada fuente de P. El «porcentaje de Superfosfato equivalente» o eficiencia relativa promedio de la Fosforita para la dosis de 160 y 240 kg P₂O₅ (sin refertilización) y los años 2, 3 y 4 fue 0,70.

Risso y Morón (1993) reportan resultados de comparación de Superfosfato simple y Fosforita de origen Gafsa de dos ensayos en un Brunosol Subéutrico en la Estación Experimental «Alejandro Gallinal» del SUL, en la unidad de suelos San Gabriel- Guaycurú muy cercano al limite con la unidad Sierra de Polanco. El suelo tenia un uso anterior como campo natural con pastoreo y se determinó inicialmente pH (agua) 5,3 y P disponible Bray I 0,5 µg P/g. En la Figura 5 se presenta la producción promedio de 5 años de la materia seca de ambos tratamientos. Existe una moderada tendencia a la superioridad de la Fosforita la cual no fue significativa estadísticamente. Si bien existió una respuesta moderada en la producción de materia seca debido a la ausencia de leguminosas nativas, el contenido de P en el forraje presenta incrementos importantes (datos no presentados). En otro ensayo sobre el mismo suelo, con las mismas fuentes, después de un laboreo reducido, se sembró una mezcla de T. blanco y *L. corniculatus* y se evaluó durante un periodo de 5 años. Según Risso y Morón (1993) no se detectaron diferencias significativas cuando se consideraron las producciones promedio de ese período.

Cuadro 4. Características químicas de los perfiles modales de los suelos dominantes de la Región Cristalino Central.

Unidad	Suelo dominante	Horizonte, cm	pH (agua) 1:2,5	Ca meq/100 g	CIC _{pH 7} meq/ 100g	V(%) _{pH 7}
San Gabriel-Guaycurú	Brunosol Subéutrico Háplico	A ₁ , 0-16	5,7	9,5	20,8	69,6
La Carolina	Brunosol Eutrico Típico	A ₁ , 0-26	6,1	16,4	27,1	80,8
La Carolina	Vertisol Ruptico Lúvico	A ₁ (*), 0-15	7,7	32,9	36,4	100
		A ₁₁ (**), 0-13	6,1	25,8	30,1	92,3

(*) fase superficial, (**) fase profunda
Fuente: Ministerio de Agricultura y Pesca (1979)

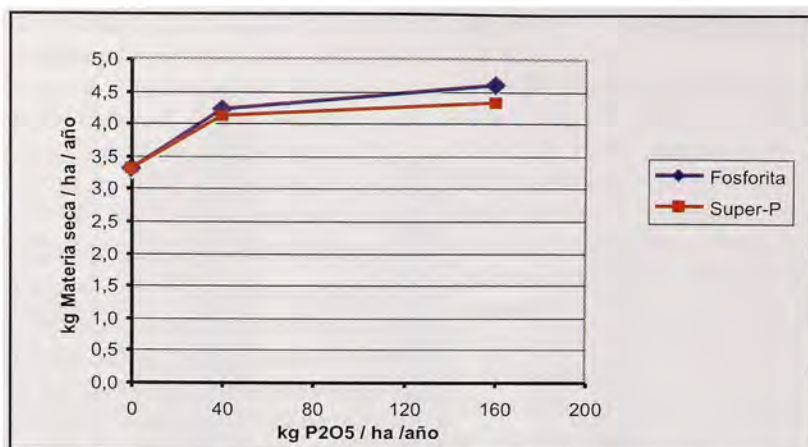


Figura 5. Producción anual (promedio 5 años) del campo natural fertilizado en un Brunosol Subéutrico sobre Cristalino (Fuente: Risso y Morón, 1993).

En 1990 se instala un ensayo de comparación de fuentes de P en un Brunosol Subéutrico muy similar al citado anteriormente, cuyas características químicas fueron pH (agua) 5,5 y P disponible Bray I 1,2 $\mu\text{g P/g}$ (Morón, 1992). Se realizó un laboreo reducido y la aplicación de los fertilizantes y la semilla fue realizada en cobertura. Los fertilizantes comparados fueron: Superfosfato concentrado (0-40/41-0) y Fosforita de origen North Carolina (USA) con una granulometría muy fina y con una concentración de P total de 30,5 %. Las especies evaluadas fueron T. blanco y *Lotus corniculatus* en forma separada. En la Figura 6 se presenta la

producción acumulada de 3 años de T. blanco y gramíneas naturales en la cual se observa una mayor eficiencia de la Fosforita.

Sobre la base de las funciones de respuesta de la Figura 6 se calcularon las eficiencias relativas que se presentan en Cuadro 5. En promedio la Fosforita de North Carolina presentó 30% más de eficiencia que el Superfosfato concentrado para un periodo de 3 años. Concordante con esta información en las Figuras 7 y 8 se presentan las concentraciones de P en el T. blanco del segundo año. Ambas son promedio de dos evaluaciones realizadas durante la primavera del segundo año.



Mejoramiento de Campo en Cristalino con distintas fuentes y niveles de fósforo.

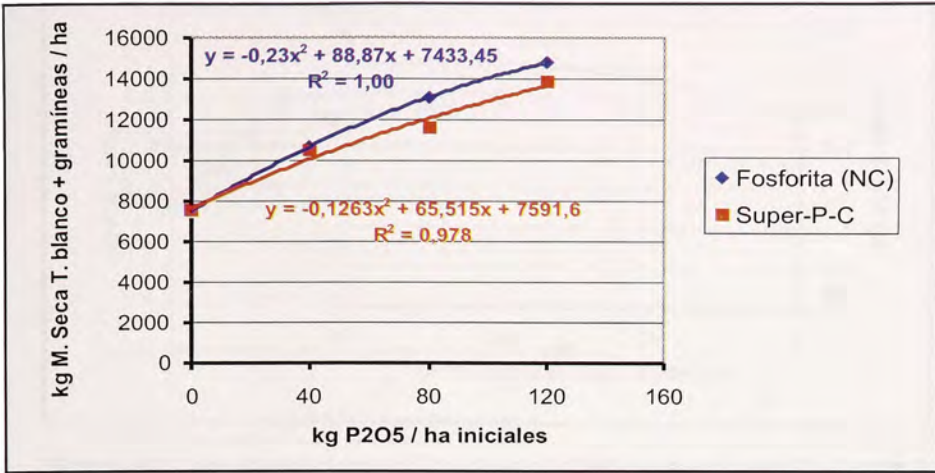


Figura 6. Respuesta acumulada de 3 años de materia seca total de un mejoramiento de T. blanco en un Brunosol Subéutrico sobre Cristalino. Fuentes de fósforo: Fosforita de origen North Carolina (USA) y Superfosfato concentrado aplicados solo en la instalación (Fuente: Morón, no publicado).

Cuadro 5. Eficiencia relativa de dos fuentes de P a tres niveles de fertilización en la producción acumulada de 3 años de un mejoramiento de T. blanco sobre un suelo de Cristalino (Fuente: Morón, no publicado).

	kg P ₂ O ₅ /ha			
	40	80	120	Promedio
Superfosfato concentrado	100	100	100	100
Fosforita (NC)	127	131	132	130

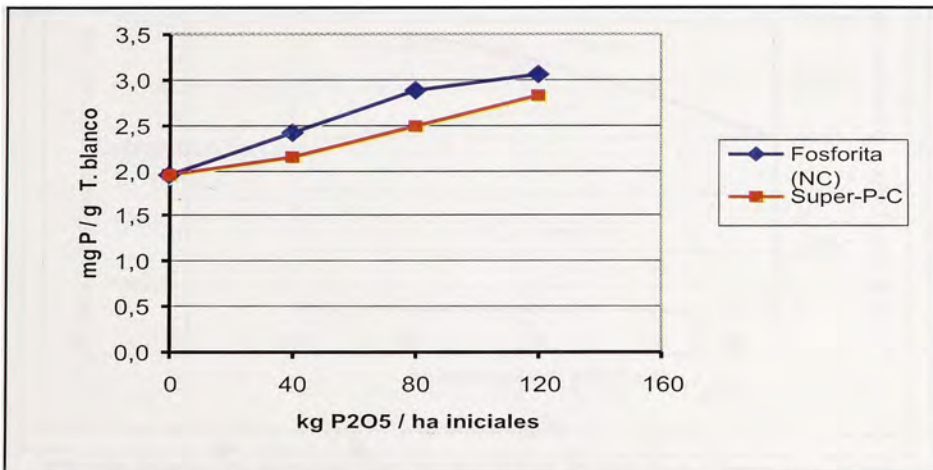


Figura 7. Concentraciones de fósforo en el T. blanco durante la primavera del segundo año en un mejoramiento de pasturas sobre Cristalino. Fertilizaciones aplicadas solamente en la instalación. (Fuente: Morón, no publicado).

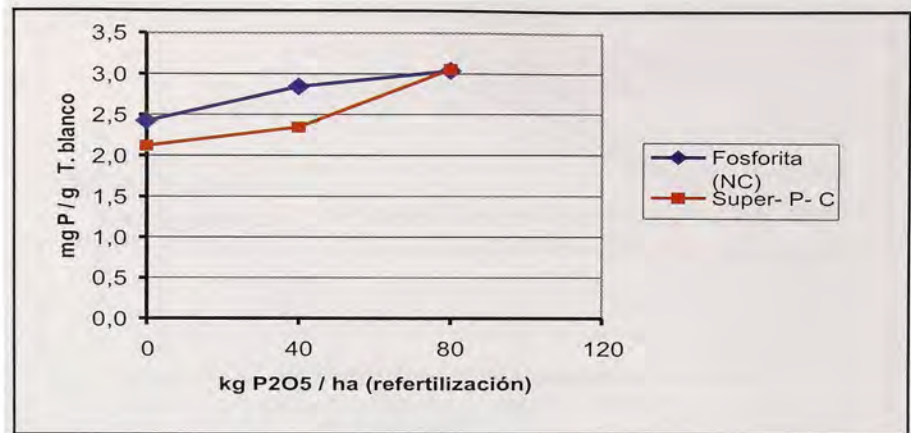


Figura 8. Concentraciones de fósforo en el T. blanco durante la primavera del segundo año en un mejoramiento de pasturas sobre Cristalino. Niveles de refertilización aplicados en el otoño del segundo año a una dosis de instalación de 40 kg P₂O₅/ha (Fuente: Morón, no publicado).

En la Figura 9 se presenta la producción acumulada de 3 años de *Lotus corniculatus* y gramíneas naturales en la cual se observa una eficiencia muy semejante de ambas fuentes de P. Sin embargo, en la Figura 10 se constata que en la primavera del segundo año existe una concentración de P en *Lotus* moderadamente superior con la Fosforita que con Superfosfato. Estos resultados estarían sugiriendo que existen diferencias entre las leguminosas T. blanco y *Lotus*

corniculatus en su capacidad de utilización de las Fosforitas. En sentido similar, Zamalvide *et al.* (no publicado) compararon Fosforita de origen Gafsa (polvo) con Superfosfato simple en un suelo muy similar. El mejoramiento fue sembrado en cobertura con *Lotus corniculatus*. Concluyen que no se detectaron diferencias de relevancia entre fuentes de P.

Recientemente Risso *et al.* (2002) evaluaron distintas fuentes de P en un Brunosol

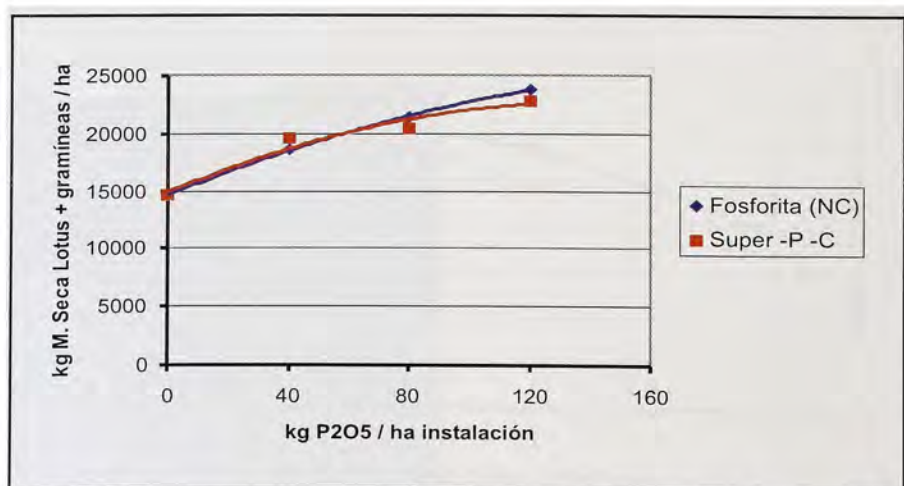


Figura 9. Respuesta acumulada de 3 años de materia seca total de un mejoramiento de *Lotus corniculatus* en un Brunosol Subéutrico sobre Cristalino. Fuentes de fósforo: Fosforita de origen North Carolina (USA) y Superfosfato concentrado aplicados solo en la instalación (Fuente: Morón, no publicado)

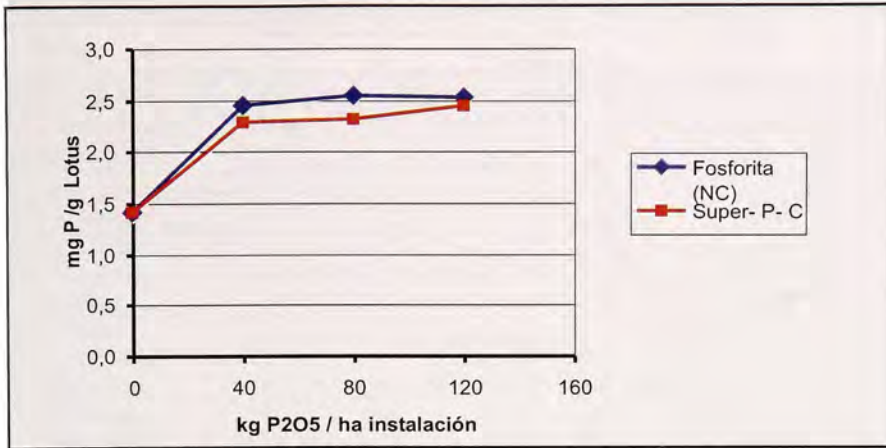


Figura 10. Concentraciones de fósforo en Lotus durante la primavera del segundo año en un mejoramiento de pasturas sobre Cristalino. Fertilizaciones aplicadas solamente en la instalación. (Fuente: Morón, no publicado).

Subéutrico muy similar a los descriptos anteriormente. Dentro de estas fuentes de P se incluyó Fosforita de origen Gafsa y Superfosfato simple. Estas fueron evaluadas en un mejoramiento de Lotus El Rincón sembrado en cobertura. En la Figura 11 se presenta la producción acumulada de Lotus El Rincón y gramíneas. Ambas fuentes de P presentaron producciones muy similares. Sin embargo, cuando se analiza solamente la producción de la leguminosa las ventajas de la Fosforita parecen mas claras. En la

Figura 12 se presenta la producción del Lotus El Rincón en el segundo año sin refertilizar. Esta marcada diferencia a favor de la eficiencia de la Fosforita en la producción de la leguminosa sola no mantiene esa magnitud en otras evaluaciones realizadas en el mismo ensayo (datos no presentados). No obstante, en la producción acumulada de 4 años de la leguminosa en respuesta a la fertilización inicial, la Fosforita mantiene una mejor performance que el Superfosfato simple.

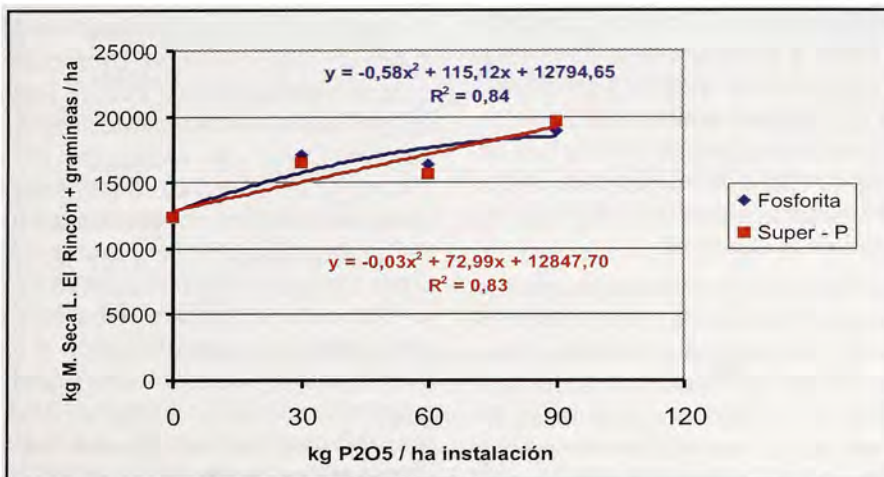


Figura 11. Respuesta acumulada de 4 años de materia seca total de un mejoramiento de Lotus rincón en un Brunosol Subéutrico sobre Cristalino. Fuentes de fósforo: Fosforita de origen Gafsa y Superfosfato simple aplicados solo en la instalación (Fuente: Risso *et al.*, 2002).

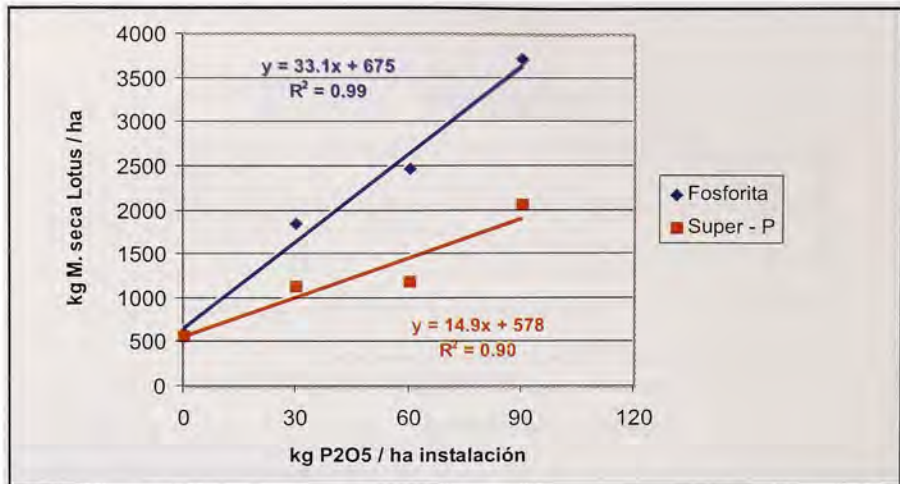


Figura 12. Respuesta de Lotus El Rincón a dos fuentes de P en el segundo año de un mejoramiento de un suelo sobre Cristalino. Fuentes de fósforo: Fosforita de origen Gafsa y Superfosfato simple aplicados solo en la instalación (Fuente: Risso *et al.*, 2002)

Región Este

Según Mas (1978) esta región puede dividirse en tres zonas de acuerdo con la topografía dominante: zona de sierras, zona ondulada (incluye colinas y lomadas) y zona de llanuras. En el orden citado se distribuyen de oeste a este. En este trabajo serán consideradas las dos primeras zonas.

La zona de sierras comprende parte de los departamentos de Maldonado, Lavalleja, Treinta y Tres y Cerro Largo. Representa el 11,3 % de la superficie del país. Con una topografía ondulada fuerte a quebrada esta constituida fundamentalmente de suelos superficiales asociados con algunos suelos profundos formados sobre material predevoniano. Las características químicas de interés de la unidad Sierra de Polanco, principal unidad de suelos, se encuentra en el Cuadro 6.

La zona de colinas y lomadas comprende fundamentalmente parte de los departamentos de Maldonado, Rocha y Treinta y Tres. Comprende un 8% del país con una topografía ondulada a fuertemente ondulada. En general son suelos formados sobre sedimentos limo-arcillosos sobre basamento cristalino. Las características químicas de interés de las tres unidades de suelos más importantes (José Pedro Várela, Alférez y Vergara) se encuentran en Cuadro 6.

En términos comparativos con las anteriores regiones, el Cuadro 6 de la Región Este, nos presenta las mejores condiciones en los suelos para un uso eficiente de Fosforitas,

En 1995 Bermúdez *et al.* (2000) comenzaron un estudio de comparación de fuentes de P en un Argisol de la unidad de suelos Alférez en la Unidad Experimental de Palo a Pique de INIA Treinta y Tres. El suelo inicialmente tenía pH (agua) 5,3 y P disponible Bray I 1,6 $\mu\text{g P/g}$. Se sembró una mezcla de T. blanco y *Lotus corniculatus* en cobertura sobre un campo natural. Dentro de la comparación de fuentes se incluyó Fosforita de origen Gafsa y Superfosfato simple. Se aplicaron 4 dosis de instalación (0, 40, 80, 160 kg P₂O₅ totales/ha) combinados con dos dosis de refertilizaciones anuales (0 y 40 kg P₂O₅ totales/ha). En las Figuras 13 y 14 se presenta la producción acumulada de forraje total para los tratamientos con fertilización inicial y no refertilizados y los tratamientos con fertilización inicial y refertilizados respectivamente. En la Figura 13 la Fosforita presenta mayor eficiencia que el Superfosfato simple lo cual disminuye en la Figura 14 que refleja el efecto de las refertilizaciones. Sin embargo, si se analiza el comportamiento del T. blanco, especie altamente sensible a la disponibilidad de P en el suelo, las diferen-

Cuadro 6. Características químicas de los perfiles modales de los suelos dominantes de la Región Este.

Unidad	Suelo dominante	Horizonte, cm	pH (agua) 1:2,5	Ca meq/100 g	CIC _{pH 7} meq/ 100g	V(%) _{pH 7}
Sierra de Polanco	Brunosol Subéutrico Háplico	A ₁₁ , 0-14	5,2	5,8	19,6	54
José Pedro Várela	Brunosol Subéutrico Luvico	A ₁ , 0-21	5,5	5,2	18,5	55
José Pedro Várela	Argisol Subéutrico Melánico	A ₁ , 0-25	5,0	6,0	-----	-----
Alfárez	Brunosol Subéutrico Lúvico	Ap, 0-20	5,7	5,5	12,8	72
Alfárez	Argisol Subéutrico Melánico	A ₁ , 0-16	6,1	9,5	19,0	83
Vergara	Argisol Subéutrico Melánico	A ₁₁ , 0-15	5,3	5,9	14,7	65
Vergara	Planosol Dístrico Ocrico	A ₁ , 0-26	5,6	2,5	7,1	52

Fuente: Ministerio de Agricultura y Pesca (1979).

cias se agrandan en forma marcada. En las Figuras 15 y 16 se presentan las comparaciones para los tratamientos no refertilizados y refertilizados respectivamente. En ambos casos se ajustaron funciones lineales con un intercepto común. Se calculó la eficiencia relativa como el cociente de las pendientes

de las funciones lineales ajustadas. La eficiencia de la Fosforita respecto del Superfosfato simple en los tratamientos no refertilizados para un periodo de 3 años fue 189 %, mientras que en los tratamientos refertilizados para el mismo periodo la eficiencia de la Fosforita fue de 179 %.

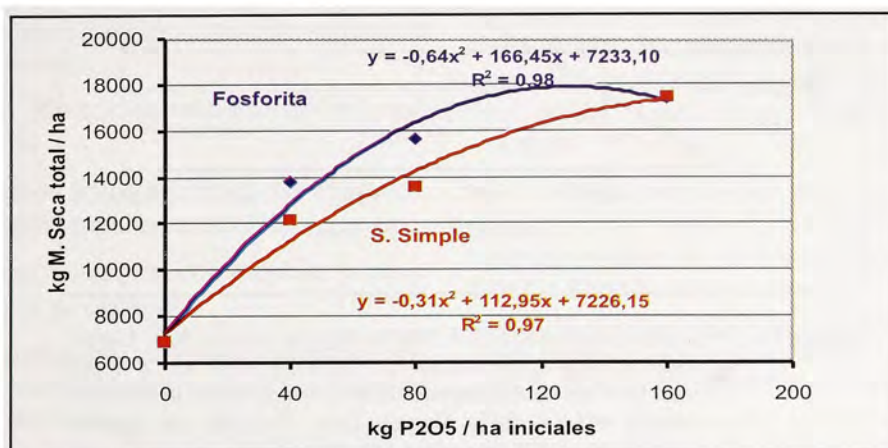


Figura 13. Respuesta acumulada de una mezcla de *T. blanco* y *Lotus corniculatus* durante un periodo de 3 años a dos fuentes de P en un mejoramiento en cobertura de un suelo de la unidad Alfárez de la Región Este. Fuentes de fósforo: Fosforita de origen Gafsa y Superfosfato simple aplicados solo en la instalación (Fuente: adaptado de Bermúdez *et al.*, 2000).

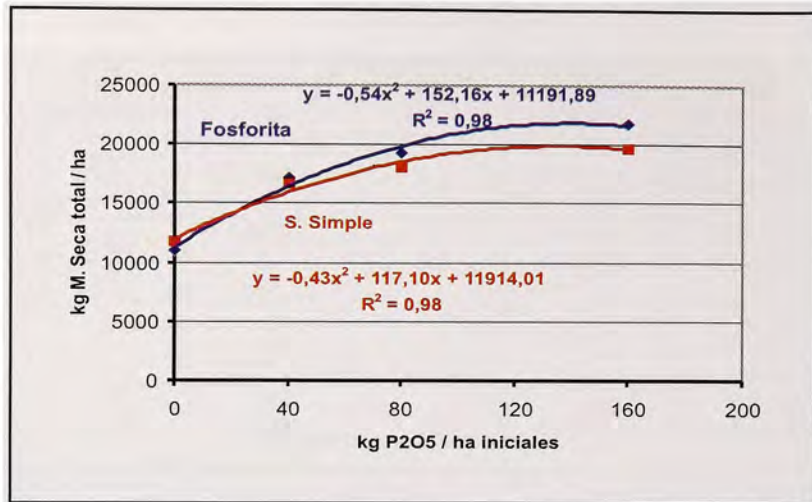


Figura 14. Respuesta acumulada de una mezcla de *T. blanco* y *Lotus corniculatus* durante un periodo de 3 años a dos fuentes de P en un mejoramiento en cobertura de un suelo de la unidad Alférez de la Región Este. Fuentes de fósforo: Fosforita de origen Gafsa y Superfosfato simple aplicados en la instalación y refertilizados con 40 kg P₂O₅/ha/año de cada fuente (Fuente: adaptado de Bermúdez *et al.*, 2000).

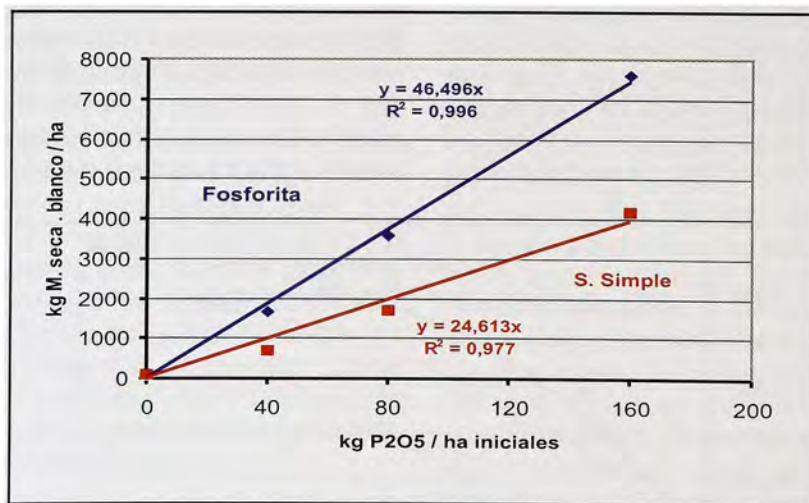


Figura 15. Respuesta acumulada de *T. blanco* en una mezcla de *T. blanco* y *Lotus corniculatus* durante un periodo de 3 años a dos fuentes de P en un mejoramiento en cobertura de un suelo de la unidad Alférez de la Región Este. Fuentes de fósforo: Fosforita de origen Gafsa y Superfosfato simple aplicados solo en la instalación (Fuente: adaptado de Bermúdez *et al.*, 2000).

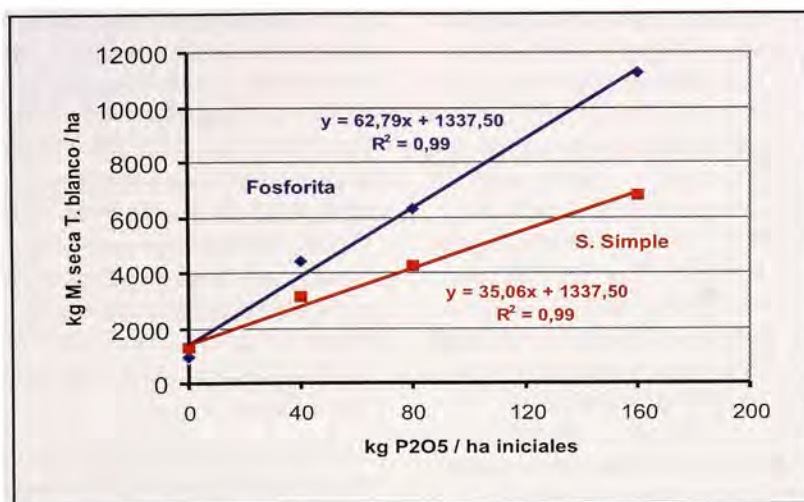


Figura 16. Respuesta acumulada de T. blanco en una mezcla de T. blanco y *Lotus corniculatus* durante un periodo de 3 años a dos fuentes de P en un mejoramiento en cobertura de un suelo de la unidad Alférez de la Región Este. Fuentes de fósforo: Fosforita de origen Gafsa y Superfosfato simple aplicados en la instalación y refertilizados con 40 kg P₂O₅/ha/año de cada fuente (Fuente: adaptado de Bermúdez *et al.*, 2000).

CONSIDERACIONES FINALES

- En primer término se debe dejar constancia que la información manejada no es homogénea en cuanto a la forma en que fue generada. Esto es producto de un período de mas de 30 años, en el cual intervinieron distintas personas, equipos e instituciones.
- Existen diferencias respecto de diversos aspectos:
 - forma de presentación de las Fosforitas utilizadas: granuladas o polvo.
 - evaluación vegetal con especies puras o mezclas de especies.
 - comparaciones realizadas a una dosis única o mediante el uso de las funciones de respuesta vegetal.
 - comparaciones de producciones totales o por el componente sensible de la mezcla.
 - comparación de Fosforitas con Superfosfato simple o Superfosfato concentrado.

- métodos de instalación: siembras en cobertura y siembras con preparación convencional.
- Las comparaciones serán más robustas cuando se utilicen especies puras, la Fosforita en cuestión se compare con Superfosfato exento de azufre en su constitución y la eficiencia relativa se determine mediante las funciones de respuesta vegetal.
- No obstante, se constata que existen diferencias entre regiones en cuanto a la eficiencia relativa de las Fosforitas respecto de los Superfosfatos. Uniendo la información de la descripción de las características químicas de los perfiles modales de los suelos con la información experimental de los ensayos de comparación de fuentes de P, surgen tendencias generales. La Región Este sería la que presentaría las mayores ventajas para las Fosforitas. En segundo lugar sería la Región Cristalino Central y en especial los

suelos de la unidad San Gabriel-Guaycurú. Por último estaría la Región Basalto. Como pautas generales y forma tentativa puede sostenerse que los suelos en los cuales se encuentra mejor comportamiento de las Fosforitas son de: $\text{pH}_{(\text{agua})} \leq 5.6$, $\text{meq Ca intercambiable} / 100 \text{ g} \leq 10$ y un $\text{V}(\%)_{\text{pH}7} \leq 70$. Rajan *et al.* (1996) destacan que la disolución de las Fosforitas será favorecida en suelos con alta afinidad por calcio, lo cual estaría dado por una alta capacidad de intercambio combinado con un bajo porcentaje de sitios intercambiables ocupado por calcio. Los suelos en los que la Fosforita presenta mejor comportamiento tienen $100 (\text{meq Ca} / 100\text{g}) / (\text{meq CIC}_{\text{pH}7} / 100\text{g}) \leq 50$.

- Por tanto, existen regiones y suelos dentro de regiones donde la utilización de las Fosforitas es la mejor opción. Si se agrega la consideración del precio del kilogramo de fósforo, las Fosforitas de origen Gafsa o North Carolina, son excelentes alternativas. Estas regiones tienen condiciones claramente favorables para desarrollar proyectos de producción de carne «orgánica» o «natural» para lo cual se permite solamente el uso de Fosforitas.
- Para las regiones o suelos con eficiencia relativa de la Fosforita inferior al Superfosfato debe considerarse que por lo menos una parte de esa diferencia puede ser compensada por un precio relativo inferior del kilogramo de fósforo como Fosforita. En general y en especial para la Región Basalto, existe la posibilidad de explorar la utilización de Fosforita en mezcla con azufre elemental (S^0). Esta mezcla ha sido denominada «biosuper». El agregado de azufre elemental tendría dos componentes de interés: 1) la oxidación microbiológica del azufre elemental en el suelo produce H^+ lo cual es de alta utilidad para la disolución de las Fosforitas; y 2) aporte de S como macronutriente. Rajan *et al.* (1996) mencionan los factores que afectan la eficiencia de la mezcla Fosforita- S^0 : a) proximidad de las partículas de Fosforita con el S^0 , b) reactividad o calidad de la Fosforita, c) modo de aplicación, d) relación Fosforita / S^0 , y e) tipo de cultivo.

En términos generales, Rajan *et al.* (1996), presentan positivamente la posibilidad de utilización de la mezcla Fosforita- S^0 en pasturas. Especialmente cuando se utilizan Fosforitas reactivas o blandas, la mezcla se presente en forma granulada y sea aplicadas un mes antes de la siembra. Debe mencionarse que Novella y Castro (1980) en Uruguay lograron resultados claramente positivos de la mezcla de Fosforita y S^0 en suelos originalmente desfavorables para la utilización de Fosforitas.

- También debe mencionarse que parecen existir diferencias importantes entre especies. T. blanco además de ser una especie altamente sensible a la disponibilidad de P en el suelo, parece ser una especie con mayor capacidad de utilizar P de las Fosforitas que *Lotus corniculatus*.

BIBLIOGRAFIA

- 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. In: Jornada Anual de Producción Animal. Resultados Experimentales. Unidad Experimental Palo a Pique. INIA Treinta y Tres. p. 17-24. (Serie Actividades de Difusión 225).
- BOLAN, N.S.; HEDLEY, M.J.; WHITE, R.E.** 1989. Nitrogen fertilizer use, fixation and soil acidification. In: White, R.E.; Currie, L.D., eds. Nitrogen in New Zealand Agriculture and Horticulture. p. 88-103. (Occasional Report 3).
- CARÁMBULA, M.** 1962. Deficiencia en suelos. Anuario de la Sociedad Mejoramiento de Praderas, 6: 91-102.
- CARÁMBULA, M.; DURÁN, A.** 1964. Respuesta de *Trifolium subterraneum* a diferentes fertilizantes fosfatados en una pradera arenosa sobre areniscas de Tacuarembó. Boletín. Facultad de Agronomía. Estación Experimental «Dr. Mario Cassinoni», 4: 8-11.
- CASTRO, J.L.; ZAMUZ, E.M. DE; BARBOZA, S.** 1981. Fertilización de pasturas en el Litoral Oeste de Uruguay. Investigaciones Agronómicas, 2:1, 56-67.

- HAMMOND, L.L.; CHIEN, S.H.; MOKWUNYE, A.U.** 1986. Agronomic value of unacidulated and partially acidulated phosphate rocks indigenous to the tropics. *Advances in Agronomy*, 40: 89-140.
- HAYNES, R.J.** 1983. Soil acidification induced by leguminous crops. *Grass and Forage Science*, 38: 1-11.
- KHASAWNEH, F.E.; DOLL, E.C.** 1978. The use of phosphate rock for direct application to soils. *Advances in Agronomy*, 30: 159-206.
- MARSCHNER, H.** 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press. 889 p.
- MAS, C.** 1978. Región Este. In: Uruguay. Centro de Investigaciones Agrícolas Alberto Boerger. Pasturas IV. p. 37-64. (Miscelánea 18).
- MORÓN, A.** 1992. Nuevas fuentes de fósforo para mejoramientos. In: Jornada de Pasturas para Sistemas Ganaderos. SUL. p. 20-24.
- MORÓN, A.; BEMHAJA, M.; CASTRO, E.** 1982. Comparación de fuentes de fósforo para pasturas en un suelo de Basalto. In: Uruguay. Centro de Investigaciones Agrícolas Alberto Boerger. Estación Experimental Agropecuaria La Estanzuela. Fuentes de fósforo para pasturas. p. 1-9. (Miscelánea 42).
- MORÓN, A.; RISSO, D.F.** 2001. Phosphorus, sulphur and micronutrients on grassland improvement with white clover (*Trifolium repens*) on basaltic soils in Uruguay. In: International Grassland Congress, 19, Brazil. Proceedings. p. 181-182.
- NOVELLA, M.B.; CASTRO, J.L.** 1980. Fertilización de pasturas con mezclas de fosforita y azufre. *Investigaciones Agronómicas*, 1:1, 37-40.
- RAJAN, S.S.S.; WATKINSON, J.H.; SINCLAIR, A.G.** 1996. Phosphate rocks for direct applications to soils. *Advances in Agronomy*, 57: 77-159.
- REYNAERT, E.E.; CASTRO, J.L.** 1968. Eficiencia relativa de tres fertilizantes fosfatados en la fertilización inicial de pasturas. La Estanzuela, Colonia, Uruguay: Centro de Investigaciones Agrícolas Alberto Boerger. 24 p. (Boletín Técnico 7).
- RISSO, D.F.; MORÓN, A.** 1993. Rangeland improvement on granitic soils in Uruguay. In: International Grassland Congress, 17, New Zealand. Proceedings. p. 1728-1730.
- RISSO, D.F.; MORÓN, A.; ZARZA, A.** 2002. Fuentes y niveles de fósforo para mejoramiento de campos en suelos sobre cristalino. (En esta publicación).
- URUGUAY. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA. DIRECCIÓN DE SUELOS.** 1979. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay. v. 3, apéndices partes 1 y 2.
- WILLIAMS, C.H.** 1980. Soil acidification under clover. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.*, 20: 561-567.
- ZAMALVIDE, J.P.; CAMBRA, A.; BARBAZÁN, M.; BORDOLI, M.** 1998. Fertilización de pasturas: ensayos de la zona de Salto. Informe FPTA-INIA (no publicado).
- ZAMALVIDE, J.P.; CASANOVA, O; ARANA, D.** 1998. Fertilización de pasturas: Brunosol Subéutrico, Unidad de Suelos San Gabriel-Guaycurú. Informe FPTA-INIA (no publicado).