



INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACION AGROPECUARIA

Seminario de Actualización Técnica:
FERTILIZACIÓN FOSFATADA DE
PASTURAS EN LA REGIÓN ESTE

INIA Treinta y Tres

30 de abril de 2004.

Edición preliminar

Prólogo

Los Seminarios de Actualización Técnica juegan un rol fundamental en la actual estrategia de difusión del INIA. La transferencia de los avances tecnológicos a los profesionales agropecuarios para que los hagan disponibles a los productores, es un paso necesario para un proceso eficiente de adopción de los mismos.

Esta publicación de la Serie Actividades de Difusión reúne la mayor parte de las presentaciones del **Seminario de Actualización Técnica sobre Fertilización Fosfatada de Pasturas en la Región Este** y se presenta como un avance de lo que será una edición más completa de la Serie Técnica de INIA, que se editará en los próximos meses.

Las pasturas tienen un rol decisivo en la base productiva del país agropecuario. La mejora del nivel de producción de forraje y su calidad, implica el desarrollo de pasturas mejoradas, desde el mejoramiento de campos por siembra en cobertura, a la pastura cultivada ó la siembra directa de distintas forrajeras, entre las que, las leguminosas desempeñan un rol fundamental.

A su vez, el fósforo, constituye un elemento clave, que junto a otros factores de manejo determina la posibilidad de alcanzar la expresión del potencial productivo de esas leguminosas y su adecuada persistencia, siendo ya conocido el bajo contenido de este nutriente en la generalidad de los suelos del país. Asimismo, la disponibilidad de métodos adecuados y precisos, para la estimación de los niveles de fósforo en el suelo o en la planta, constituye una importante herramienta para una correcta toma de decisiones al respecto.

En la situación actual, la búsqueda de productos diferenciados para acceder a nichos de mercado específicos con nuestros productos agropecuarios, de manera de facilitar su comercialización o de alcanzar mejores precios por ellos, es relevante. La actualización y ajuste del conocimiento de la respuesta relativa de las pasturas mejoradas a las Fosforitas, es por demás importante a efectos de lograr buenas pasturas, aún bajo protocolos de producción de carne u otros productos ecológicos.

El Programa Nacional de Plantas Forrajeras, ha priorizado fuertemente la generación de información sobre estrategias de fertilización fosfatada de las distintas especies y pasturas en general, de manera de caracterizar sus respectivas respuestas, a las diversas fuentes disponibles y niveles iniciales o de mantenimiento, permitiendo diseñar políticas adecuadas a variedad de situaciones.

Particularmente, en el presente Seminario Técnico de Actualización en el tema, se reúne y presenta un importante volumen de información experimental de varios años, generada para distintas zonas de la Región Este, por técnicos de INIA Treinta y Tres – Estación Experimental del Este y de la Facultad de Agronomía. Se incluyen asimismo valiosos aportes de carácter más general, por parte de INIA La Estanzuela, la Facultad de Agronomía e ISUSA, que contribuirán a brindar una completa puesta a punto de la última información disponible sobre el uso del fósforo para la Región.

Ing. Agr. Diego F. Risso
Jefe Programa Plantas Forrajeras

Ing. Agr. Gonzalo Zorrilla de San Martín
Director Regional INIA Treinta y Tres



Índice

	Página
1. Aspectos básicos	
1.1. Fertilizantes fosfatados 1 <i>Omar Casanova</i>	1
1.2. Métodos para estimar la disponibilidad de fósforo en los suelos 7 <i>Jorge Hernández</i>	7
1.3. Relevamiento del estado nutricional y la fertilidad del suelo en cultivos de trébol blanco en la zona Este de Uruguay17 <i>Alejandro Morón</i>	17
1.4. Fertilización fosfatada. Un insumo determinante del éxito en los suelos con restricciones de la Región Este33 <i>Milton Carámbula</i>	33
2. Zona de Sierras. Suelos superficiales y muy superficiales	
2.1. Fertilización fosfatada sobre mejoramientos de campo con lotus cv. El Rincón y lotus cv. Maku en suelos superficiales47 <i>Walter Ayala, Raúl Bermúdez</i>	47
2.2. Residualidad del fósforo en mejoramientos de trébol blanco y lotus común sobre suelos superficiales59 <i>Raúl Bermúdez, Walter Ayala, Alejandro Morón, Carlos Mas</i>	59
2.3. Manejo de la fertilización fosfatada en zona de Sierras67 <i>Omar Casanova</i>	67
3. Zona de Colinas y Lomadas. Suelos con horizonte B textural	
3.1. Estrategias de fertilización fosfatada para mejoramientos de trébol blanco y lotus en suelos con B textural75 <i>Raúl Bermúdez, Walter Ayala, Milton Carámbula</i>	75
3.2. Estrategias de fertilización para mejoramientos de lotus cv. El Rincón.....83 <i>Walter Ayala, Raúl Bermúdez, Milton Carámbula</i>	83
3.3. Estrategias de fertilización para mejoramientos de Lotus pedunculatus89 <i>Walter Ayala, Raúl Bermúdez</i>	89
3.4. Efecto del Fósforo y Azufre en mejoramientos de trébol blanco97 <i>Walter Ayala, Raúl Bermúdez, Alejandro Morón</i>	97
3.5. Residualidad del fósforo en mejoramientos de trébol blanco y lotus sobre un suelo de Colinas.....101 <i>Raúl Bermúdez, Walter Ayala, Alejandro Morón, Carlos Mas</i>	101
3.6. Fuentes fosfatadas en la rotación soja-pasturas en Lomadas del Este109 <i>Raúl Bermúdez, Walter Ayala, Milton Carámbula, Alejandro Morón</i>	109

	Página
4. Zona de Llanuras. Suelos muy húmedos inundables y húmedos drenados	
4.1. Respuesta al agregado de fósforo en pasturas con leguminosas en las planicies del Este <i>Jorge Hernández</i>	119
5. Conclusiones integradoras	
5.1. Conclusiones integradoras <i>Milton Carámbula</i>	129

Fertilización fosfatada

1. Aspectos básicos

1.1. Fertilizantes fosfatados

Omar Casanova⁽¹⁾

Introducción

La incidencia de los fertilizantes fosfatados en el costo de los mejoramientos de campo con leguminosas puede alcanzar valores del 80% de los costos totales de dicho mejoramiento. Partiendo de la base de la necesidad de un conocimiento objetivo de la realidad actual en referencia a este tipo de fertilizante, intentaremos abordar las principales características que diferencian o asemejan a los fertilizantes fosfatados, teniendo como referencia el sistema de producción sobre el cual estamos trabajando.

El comportamiento final de un fertilizante dependerá de las condiciones de suelo – cultivo y ambiente sobre el cual se aplique. Sin embargo hay ciertas características del propio fertilizante que son determinadas desde la elección de la materia prima pasando por los procesos de la fabricación e incluso de acuerdo al transporte y almacenamiento previo a su aplicación.

La reconstrucción de la etapas, desde el origen del material hasta su aplicación final en el suelo, nos permitirá interpretar resultados posteriores a nivel de campo. Incluso cierta caracterización de acuerdo a sus contenidos de fósforo total, soluble y asimilable, así como la presencia o ausencia de elementos como N, S, Cd, permitiría tomar decisiones técnicas a priori con una mínima información de respuesta vegetal y de suelo.

Estado actual de la importación y uso de fosfatados

La crisis de los últimos años no nos permitiría utilizar los valores absolutos de importación y uso de fosfatados como padrones de análisis a largo plazo. El registro de las importaciones promedio de los últimos 2 años nos permite analizar las tendencias actuales respecto a la comercialización potencial de los fertilizantes fosfatados.

Cuadro 1. Promedio del 2002-03 de la importación de materias primas y fertilizantes fosfatados en miles de toneladas.

Años	Miles de toneladas importadas			
	Fosforita	Fosforita 36%	Supertriple	Fosfato de amonio
2002-2003	12.450	15.000	6.200	138.544

FUENTE: Ing. Agr. Jorge Casal y Krikor Kouyoumdjian MGAyP – Dir. Suelos y Aguas

De acuerdo a los datos suministrados por la Oficina de Registro de fertilizantes del MGAyP surgen tendencias claras respecto al uso de fuentes mixtas como predominante en el suministro de fósforo. La elevada incidencia del costo de los fletes, una relación de costo similar por unidad de P_2O_5 , la

⁽¹⁾ Ing. Agr., Facultad de Agronomía

eliminación de la protección a la Industria Nacional (eliminación del I.V.A a los importados) explicarían la predominancia de fuentes como fosfato de Amonio y sobretodo mono amónico sobre los fertilizantes simples como superfosfato y supertriple. La inexistencia de una política de comercialización, como existió en el pasado, explicaría la baja incidencia de las fosforita de uso directo. Resulta llamativo la baja demanda de la producción de carne orgánica que hoy ocuparía más de 500.000 ha sobre el consumo de fosforita, siendo la única fuente de fósforo aceptada, estaríamos aplicando aproximadamente 25 kg/ha/año lo que auguraría niveles de productividad muy bajos (sin considerar lo usado para producir Hyperfos)

La baja incidencia de fuentes solubles con cantidades importantes de azufre frente a la aparición de situaciones con niveles limitantes en planta, darían a este tipo de fuente un potencial elevado a futuro, sin olvidar la posibilidad de aplicar CaSO_4 (subproducto de industria fosfórica) con la salvedad de su lenta disolución en el suelo (recordar residuo blanco que aparece luego de aplicar al suelo o disolver en agua el superfosfato)

Procesos de fabricación de fertilizantes fosfatados

Reconocemos como el proceso de fabricación más simple la obtención de fertilizantes fosfatados de uso directo. A partir de fosforita de origen sedimentario mediante extracción, molienda y tamizado se obtiene un producto que puede ser embolsado para ser transportado hasta el campo y aplicado. Bajo esta modalidad identificamos en nuestro país el Hyperfosfato (AA_1)

Cuadro 2. Procesos de Fabricación de los principales fertilizantes fosfatados

A	Fosforita sedimentaria	A1) Molienda, Tamizado (granulado) Uso directo $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + \text{CaHPO}_4$ A2) H_2SO_4 (exceso) + fosforita = $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4) + \text{CaHPO}_4 + \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + \text{HF}$
B	Fosforita	B1) $\text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{H}_3\text{PO}_4 + \text{CaSO}_4 + \text{HF}$ B2) $\text{H}_2\text{SO}_4 \longrightarrow \text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + \text{CaSO}_4 + \text{HF}$
C	Fosforita	+ $\text{H}_3\text{PO}_4 \longrightarrow \text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 + \text{HF}$
D	Fosforita	+ $\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{NH}_3 \longrightarrow (\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4 + \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4 + \text{HF}$

Otra alternativa es la obtención de una fosforita parcialmente acidulada a partir de una fosforita “blanda” de origen sedimentario. Utilizando una concentración controlada de H_2SO_4 que provoca la obtención de una mezcla de fracciones de fósforo final en parte solubles en agua, en parte en citrato de amonio, ácido cítrico al 2% y en parte no soluble a estos reactivos – El producto en el Uruguay se obtiene por tratamiento de la fosforita con un exceso de H_2SO_4 y posteriormente neutralizado con la propia fosforita utilizada inicialmente (AA_2) El producto comercial se conoce como Hyperfos, siendo una fuente que aporta además 4% de azufre.

A partir de fosforita de elevado porcentaje de P_2O_5 , generalmente superiores al 36% de origen metamórfico o ígneo se obtienen diferentes productos de acuerdo al tipo de ácido utilizado (H_2SO_4 o H_3PO_4). Un ataque total de la fosforita con H_2SO_4 producirá como producto final H_3PO_4 (BB_1), el cual puede considerarse el fertilizante de mayor concentración de fósforo total y soluble. Su utilización como fertilizante en nuestro país se restringe a sistemas intensivos y/o como reactivo en fertirriego.

La utilización de una dosis menor de ácido sulfúrico, pero suficiente para llevar todo el fosfato tricálcico a monocalcico, genera superfosfato de calcio (BB_2). El superfosfato al ser una mezcla de

fosfato y yeso en CaSO_4 contiene 24% de Ca, 12% de S y 10% de P (23% P_2O_5), más del 90% del fósforo en el superfosfato se encuentra en forma soluble en agua comercializándose en forma granulada.

El tratamiento de fosforita con H_3PO_4 genera fosfato monocálcico y un residuo de CaSO_4 .

La utilización del H_3PO_4 como reactivo en la reacción con la fosforita, genera la solubilización de esta y una ganancia en la riqueza en fósforo del producto final respecto a la fosforita de partida.

El agregado de amonio al proceso anterior generará diferentes fosfatos de amonio de acuerdo a la sustitución de este último en la molécula de fosfato monocálcico. En consecuencia podremos disponer de fosfato monomómico (11-52-0) o diamónico (21-42-0), aunque la fórmula comercial más común de este último es el 18-46-0.

Caracterización de los fertilizantes comerciales

El conocimiento de las principales características de los productos comerciales portadores de fósforo nos permitiría tomar decisiones en el corto, mediano y largo plazo en cuanto a la mejor alternativa de fertilizantes fosfatado a ser aplicado. Existe una información obligatoria requerida por los organismos del Estado MGAYP, que permite una primera aproximación en cuanto a contenidos totales y asimilables de fósforo en el producto. El conocimiento más detallado del P asimilable en cuanto a sus componentes de P soluble en agua, o en citrato de amonio o ácido cítrico, así como las características de la diferencia entre fósforo total y asimilable complementaría la información básica que figura en la bolsa.

Conocer las características enunciadas sería sólo una guía útil en las condiciones de suelo – cultivo muy extremos, en la mayoría de las situaciones solamente una evaluación de las diferentes fuentes en condiciones productivas daría la información objetiva para una decisión final.

Cuadro 3. Solubilidad en diferentes reactivos del fósforo asimilable de los principales fertilizantes comerciales.

Fuente	% P_2O_5 total	% P_2O_5 soluble en H_2O	% P_2O_5 soluble en citrato de amonio	% P_2O_5 soluble en Ac. cítrico 2%
Fosforita “blanda”	28	-	-	10
Superfosfato	23	21	21	-
Supertriple	46	46	46	-
Fosfato Mono Amónico	52	52	52	-
Fosfato “Diamónico”	46	46	46	-
Ácido fosfórico	76-85	76-85	76-85	

De acuerdo a la información presentada vemos, una coincidencia absoluta entre el fósforo asimilable y el total para fuentes obtenidas mediante tratamiento con ácidos. En el caso de la fosforita aproximadamente 1/3 del fósforo total estaría como asimilable, determinándose esta fracción mediante ácido cítrico al 2% diferencia del resto de las fuentes.

Cuadro 4. Porcentaje de azufre, pH alrededor del gránulo, índice salino y grado de los principales fertilizantes fosfatados.

Fuente	% S	pH en el gránulo	Índice salino	Grado en P ₂ O ₅	Grado en P ₂ O ₅ + S o N
Fosforita “blanda”	-	6.5	-	28	28.0
Superfosfato	12	1.5	0.39	23	35.0
Supertriple	1.5	-	0.21	46	47.5
Fosfato MonoAmónico	-	3.5	0.48	52	63.0
Fosfato Diamónico	-	8.0	0.63	46	64.0

Existen características complementarias de las diferentes fuentes del fósforo que pueden jugar a favor o en contra de una elección para condiciones similares de eficiencia e incluso afectar el resultado final de ésta.

En condiciones de producción con deficiencia de azufre el incluir total o parcialmente fuentes que aporten este nutriente, puede ser determinante. El contacto prolongado de un gránulo de fertilizante de pH bajo o muy alto con la semilla en condiciones de elevada humedad pueden afectar la viabilidad de ésta.. Para aplicaciones elevadas, pequeñas diferencias en cuanto al índice de salinidad pueden ser negativas en las etapas de germinación y desarrollo inicial de una plántula.

Las actuales relaciones de precio de los combustibles, respecto al de los fertilizantes hacen cada vez más determinante la consideración del grado como la riqueza efectiva en aporte de nutrientes del fertilizante.

La decadencia de los fertilizantes simples de fósforo en el mundo se debe sobretodo a la incidencia de los costos de transporte y aplicación de las fuentes de bajo grado en P₂O₅ – La tendencia observada y agudizada últimamente a llevado a la utilización de fuentes sin aporte de azufre, apareciendo en consecuencia en los últimos años situaciones con limitante, de este nutriente.

La consideración del grado del superfosfato como aporte de fósforo solamente, determina, costos de movimiento de este, de casi el doble respecto al supertriple, por ejemplo.

La consideración del grado de los nutrientes accesorios como azufre, acercaría la relación entre las dos fuentes al 75%. Si consideramos al P y S en su forma elemental la diferencia de grado podría ser favorable al superfosfato (22 superfosfato y 20 para supertriple) .

La información manejada nos permitiría tomar decisiones más amplias frente a la nueva realidad, quedando sin abordar las fuentes intermedias existentes en el mercado, por no disponer de la información específica.

Fertilizantes mixtos como los fosfato de amonio a su elevado grado, debemos agregar, la pertinencia o no de la aplicación de nitrógeno. Generalmente en la implantación de pasturas o en periodos críticos para la fijación biológica el agregado adicional de nitrógeno puede dar un beneficio adicional que favorece la decisión por este tipo de fuente.

Evaluación de fuentes de fósforo

La fuente de fósforo adecuada para determinada situación de suelo-cultivo-manejo resultará de la evaluación del comportamiento productivo y/o contenido en fósforo (calidad de la pastura) en la planta, mediante estudios de respuesta a largo plazo. A la caracterización realizada previamente debemos agregar el comportamiento en términos de respuesta vegetal que nos permita llegar a parámetros de eficiencia relativa de las diferentes fuentes. Decimos además que debe ser a largo plazo en función de la importancia de la residualidad de este tipo de fertilizante y el diferente comportamiento inicial de acuerdo a su solubilidad.

Mal podríamos considerar una fuente mejor que otra, sin considerar sus comportamiento en las siguientes condiciones:

- Respuesta a la aplicación de fósforo
- Caracterización del suelo, cultivo y manejo del sistema
- Consideración de otros elementos aportados
- Forma física y de aplicación de cada fuente de acuerdo a su solubilidad inicial
- Parámetros de rendimiento y calidad en fósforo del producto vegetal y/o animal
- Características no deseables de la fuente determinadas por el mercado (producción orgánica, contaminación)

La determinación de parámetros de eficiencia relativa en términos de producción física deben ser ponderados de acuerdo a los costos finales del producto en el campo.

Considerar el costo por unidad de fósforo y el movimiento del fertilizante desde la fábrica hasta su aplicación pueden revertir pequeñas diferencias de eficiencia o determinar la decisión final para eficiencias similares.

A los costos por unidad, debemos agregar los fletes hasta el campo y los movimientos de un volumen de fertilizante para aplicar cierta dosis diferente de acuerdo al grado del fertilizante.

La tendencia actual muestra un incremento mayor de todos los costos relacionados a los movimientos, respecto a los fertilizantes en términos de precio.

La aplicación de fertilizantes fosfatados indirectamente puede aportar elementos no deseables que sean absorbidos posteriormente por las plantas y en consecuencia por los animales.

Como país tomador de los precios internacionales, también lo somos de las reglamentaciones internacionales que hacen cada vez más estricta la no presencia de elementos como cadmio. La actual expansión de la producción orgánica de carne debería sopesar este aspecto como forma de anteponerse a posibles limitaciones comerciales a futuro.

Los fertilizantes pueden contener cadmio cuando se utiliza como materia prima, fosfato de roca sedimentaria .

La cantidad de cadmio y de otros oligoelementos, pueden variar considerablemente dentro de un mismo depósito o yacimiento. La introducción de cadmio en el medio ambiente está cada vez más controlada, mediante normas reguladoras. Una directiva de la CEE (CE, 1986) fija un límite

superior de 1 a 3 mg de Cd/kg para los terrenos cultivables. También se están proponiendo o promulgando normativas para fijar los niveles máximos de cadmio en los fertilizantes.

Cuadro 5. Valores típicos del contenido de cadmio en algunos fosfatos de roca importante.

Tipo de roca	Fósforo %	mg Cd/kg de roca	mg Cd/kg de P
Origen Volcánico:			
Kola, URSS	17.2	0.15	0.9
Palfos, Sudáfrica	17.2	0.15	0.9
Origen sedimentario:			
Bou Craa, Marruecos	15.9	35	220
Togo	15.7	55	350
Youssofia, Marruecos	14.6	40	274
Jordania	14.6	5	34
Texas Gulf, EEUU	14.4	40	278
Florida, EEUU	14.4	8	56
Negev, Israel	14.2	20	140
Khouribga, Marruecos	14.2	16	113
Khneifiss, Siria	13.9	6	43
Gafsa, Túnez	13.2	50	380

Fuente: Norsk Hydro

Con la utilización actual de fertilizantes, se precisarán varios cientos de años para que los suelos cultivables se aproximen a los límites propuestos para el contenido de cadmio. Sin embargo, el aumento lento del contenido de cadmio en el suelo, no es deseable. Actualmente, la única forma de fabricar fertilizantes con un bajo contenido de cadmio es la de utilizar rocas con un bajo contenido del mismo, lo cual excluiría los importantes recursos de fosfato y llevaría consigo que la disponibilidad de materias primas fuese más restringida.

Bibliografía

Casanova, O.; Barbazan, M. 2002, *Fertilizantes* – Depto. de Publicaciones Fac. de Agronomía. Montevideo. Uruguay

Engelstad, O.P. 1985, *Fertilizer*. Technology and use Third Edition – Soil Science Society of America Madison, Wisconsin. USA

Tisdale, S.; Nelson, W.; Beaton, J. y Havlin, J. 1993 *Soil Fertility and Fertilizers* – Fifth edition. Macmillan Publishing Company. New York. USA

Bockman, O., Koarstad, O. Lie, O. y Ricards, I. – 1993 *Agricultura y Fertilizantes*- Hydro Aeri, Norsk Hydro a.s., Oslo Noruega

1.2. Métodos para estimar la disponibilidad de fósforo en los suelos

Jorge Hernández⁽¹⁾

Introducción

Una de las herramientas utilizadas para estimar la disponibilidad del P para las plantas es a través del análisis de suelo. Históricamente, han sido desarrollados diferentes métodos de análisis de P, con el objetivo de disponer de indicadores confiables de la disponibilidad del nutriente en el suelo, que nos permitan tomar decisiones acerca de la necesidad de fertilización de los cultivos. Estos diferentes métodos han sido desarrollados en diferentes países, de acuerdo a las condiciones de suelo específicas de cada región. En nuestro país han sido evaluadas muchas de estas metodologías, a la vez que han sido ensayados nuevos métodos, con el objetivo de mejorar el poder predictivo en términos de estimar la disponibilidad de P para situaciones específicas de suelos. En la discusión que se presenta a continuación se realizan comentarios acerca de cómo operan estos métodos, su aptitud para estimar la disponibilidad de P, así como sus limitantes y alcances para nuestro país.

Qué fracción del P del suelo estiman los métodos

Los análisis de suelo para P generalmente están basados en la estimación del P presente en la fracción inorgánica lábil. Si bien las plantas toman el P presente en la solución del suelo, los niveles encontrados en ésta son extremadamente bajos. Esto es consecuencia de la baja solubilidad de los compuestos fosfatados en el suelo. Por otra parte, en condiciones de poca historia de fertilización de los suelos, los niveles de P en solución presentan una escasa variación. Esto ha llevado a que generalmente las investigaciones han sido dirigidas a determinar el P presente en aquella fracción responsable de mantener los niveles de P en la solución, que es la fracción inorgánica lábil. Dicha fracción de P lábil del suelo está constituida por compuestos insolubles de fósforo, pero de alta reactividad química, que pueden solubilizarse una vez que las concentraciones de P en la solución del suelo bajan por la absorción de las plantas. La presencia de P bajo forma de compuestos de alta reactividad, es la primera característica de importancia de la fracción lábil. La segunda característica es la de no existir un límite claro entre esta fracción y aquella constituida por compuestos menos reactivos, y más estables (más cristalizados), que constituyen el P fijado. Una consecuencia de no poder establecer un límite claro entre ambas formas es la incapacidad de conocer exactamente cuánto P lábil hay en un suelo. Así los diferentes métodos que procuran estimar el P del suelo, realmente realizan una "estimación" de cuánto P hay presente en la fracción lábil, dando por lo general resultados diferentes, ya que los mecanismos de extracción difieren entre ellos. En otras palabras, lo que realizan las diferentes metodologías es una "estimación proporcional" del P presente en la fracción lábil, y no la totalidad de la misma, ya que difícilmente pueda evaluarse el contenido de una fracción de la cual no se conocen sus límites. De esta manera, no es tan importante que un método extraiga más o menos del P lábil del suelo, sino que las cantidades extraídas sean proporcionales a lo que se encuentra presente en dicha fracción, y que guarden relación con lo que las plantas van a tomar.

⁽¹⁾ Ing. Agr., MSc, Facultad de Agronomía

El principio general de todos los métodos es lograr la solubilización de los fosfatos lábiles del suelo. Estos fosfatos se encuentran formando compuestos insolubles con cationes como aluminio, hierro y calcio del suelo, o retenidos en óxidos de hierro, arcillas o carbonatos de calcio. Esto significa que los diferentes métodos utilizados para evaluar disponibilidad de P: i) estimarán las fracciones más reactivas de los fosfatos de aluminio, hierro y calcio; y ii) podrán estimar proporciones diferentes de P dentro de cada fracción.

En términos generales, las diferentes metodologías de análisis del P presente en la fracción lábil se basan en:

- a) utilización de extractantes químicos que solubilizan o forman complejos con los cationes que retienen al P. Tal es el caso del método Bray 1, utilizado en nuestro país. Algunos otros métodos utilizados en otros países son Olsen, Mehlich 1 y Mehlich 3.
- b) utilización de resinas de intercambio aniónico/catiónico, capaces de retener aniones (como el fosfato) y/o cationes que retienen al P (como hierro, aluminio y calcio). Este último es el caso del método de resinas catiónicas utilizado por INIA-La Estanzuela.

Poder predictivo de los métodos para suelos del Uruguay

Como es lógico, la elección de un método que evalúe adecuadamente la disponibilidad de P está basada en mostrar buenas correlaciones entre lo que el método extrae y lo que realmente está disponible para la planta. Esto último sólo puede conocerse a través de la evaluación de parámetros en la planta (rendimiento, nutriente absorbido, etc.). En una segunda etapa, luego de seleccionado un método, será necesario realizar su calibración, es decir, traducir los valores de análisis obtenidos en términos de suficiencia o no del nutriente que hay en el suelo para un determinado cultivo.

En un estudio realizado en la década del 70 (Zamalvide et al., 1975), se evaluaron los métodos Bray 1 (Bray y Kurtz, 1964), Olsen (Olsen y Sommers, 1982), Mehlich 1 (Olsen y Sommers, 1982) y Resinas catiónicas (Zamuz y Castro, 1974), desde el punto de vista de su poder predictivo de la disponibilidad de P para las plantas. Se realizó la evaluación en 26 suelos de texturas variables del litoral oeste, norte y sur del país. No se incluyeron suelos de basalto, basamento cristalino ni de la zona este del país. El resultado de dicho estudio mostró que todos los métodos podían ser usados como indicadores de disponibilidad de P, aunque los diferentes métodos muestran diferencias en su capacidad predictiva, acentuándose éstas cuando se consideran diferentes tipos de suelos. Las diferencias más notorias surgen entre suelos de texturas livianas muy lixiviados y suelos de texturas pesadas menos lixiviados.

En nuestro país el método más utilizado para evaluar el P disponible es el método Bray 1. Dicho método se adapta a la mayoría de los suelos de uso agrícola del país, como son los suelos de texturas medias y pesadas del sur y del litoral oeste (Bordoli, 1998). De esta manera ha sido posible elaborar calibraciones del método, principalmente para diferentes especies forrajeras (Cuadro 1).

Cuadro 1. Rango de niveles críticos de P disponible (Bray 1) para la instalación de especies forrajeras en suelos de texturas medias y pesadas de la zona sur y litoral oeste del Uruguay.

Especie	Rango crítico Bray 1 (mg P kg ⁻¹)
Alfalfa	20 - 25
Trébol blanco	15 - 16
Trébol rojo	12 - 14
Lotus corniculatus	10 - 12
Gramíneas	8 - 10

Sin embargo, para suelos arenosos, y para suelos con alta actividad de carbonatos de calcio (como los suelos poco profundos sobre Fray Bentos), los resultados analíticos obtenidos por Bray 1 tienen una interpretación diferente. Para este tipo de suelos sería necesaria una calibración diferente de los valores obtenidos y su significado en términos de niveles críticos y dosis de fertilización. En suelos ácidos de basamento cristalino probablemente exista un problema similar, aunque existe poca información experimental, dada la escasa variabilidad en los resultados analíticos, consecuencia de la baja historia de fertilización con P en estos suelos. En suelos de lomadas de la zona este del país, si bien no han sido realizados estudios específicos para evaluar el poder predictivo del método, no es de esperar diferencias muy marcadas respecto a los suelos de texturas medias del sur del país. En tal sentido, las investigaciones realizadas por García y Terra (2001) muestran variaciones importantes en la disponibilidad de P evaluada por Bray 1 para diferentes sistemas de rotaciones realizados sobre un Argisol de la Unidad Alférez (INIA-Unidad Experimental Palo a Pique). En cuanto a las limitantes del método, la más importante radica en las dificultades que presenta para evaluar la disponibilidad de P en suelos sobre basalto. Esta dificultad surge de las bajas cantidades extraídas, y un rango de variación entre valores analíticos muy estrecho, lo cual sin embargo no acompaña las diferencias reales en disponibilidad de P detectadas por las plantas. Esto ha llevado a la necesidad de evaluar otras metodologías alternativas para estimar la disponibilidad de P en estos suelos. Bordoli (com. pers.) ha realizado algunas evaluaciones preliminares con el método de la doble resina (van Raij, 1986), habiendo obtenido en tal sentido algunos resultados promisorios. Finalmente, otra limitante observada respecto al método Bray 1 radica en la dificultad de evaluar adecuadamente la disponibilidad de P en situaciones en las cuales se han hecho grandes aplicaciones de fertilizantes fosfatados insolubles (de tipo fosforitas para uso directo). Esta limitante se podría considerar relativa, dado que hasta el momento no existen situaciones de producción en las cuales se haga un uso frecuente y en grandes dosis de fosforitas.

El método por Resinas catiónicas (Zamuz y Castro, 1974), evaluado en los suelos del estudio realizado por Zamalvide et al. (1976), mostró las correlaciones más altas para evaluar la disponibilidad de P. No obstante, requiere calibraciones diferentes según tipo de suelo. No surge claro aún su poder predictivo para evaluar la disponibilidad de P en basalto. En cuanto a su capacidad de evaluar la residualidad de P en situaciones de fertilización con fosforita, presentaría una mayor aptitud que las otras metodologías.

Evaluaciones realizadas en suelos de planicies

Desde hace ya muchos años han sido citados los cambios que ocurren en la disponibilidad del P cuando los suelos se inundan (Ponnamperuma, 1972). Estos cambios guardan relación con los procesos de oxidación-reducción de los suelos. Cuando en un suelo se establecen condiciones reductoras (anaerobiosis), como puede ocurrir por un exceso de agua, uno de los fenómenos que ocurre es la reducción del hierro. Los compuestos que forma el hierro con el P en condiciones normales de oxidación tienen la característica de ser altamente insolubles, en tanto que la reducción del Fe trae como consecuencia la liberación del fosfato a la solución. Esto es lo que determina que al establecerse las condiciones de anaerobiosis en un suelo, aumente la disponibilidad de P. Dicho proceso, si bien adquiere fundamental importancia en cultivos inundados por un período prolongado de tiempo, como el arroz, no deja de serlo en suelos no inundados, en la medida de que factores de suelo (diferenciación textural, textura), topografía (zonas planas del paisaje) y clima (balance lluvia- evapotranspiración) determinen períodos breves durante los cuales ocurran excesos de agua en el perfil y, en consecuencia, condiciones temporarias de anaerobiosis. En la figura 1 se indican las variaciones en los niveles de P disponible en diferentes suelos del país en función de la duración del período de anaerobiosis.

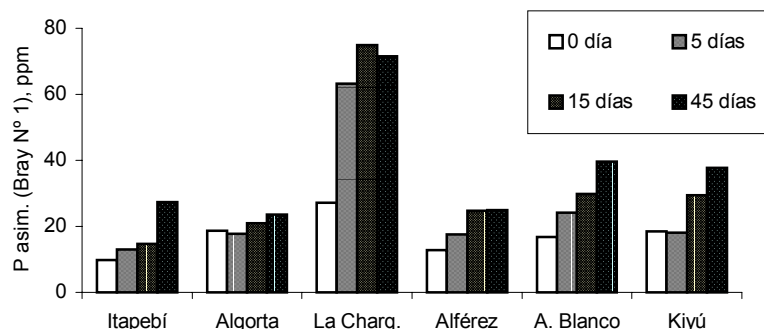


Figura 1. Variación en los niveles de P disponible de seis suelos del Uruguay en función de la duración en días de un período bajo exceso de agua (anaerobiosis). (Hernández, 1996).

La anaerobiosis del suelo puede también aumentar la disponibilidad de P a través de otros mecanismos, como el aumento en el pH de suelos ácidos, así como aumentos en la mineralización de formas orgánicas de P (Aguirre y Ríos, 1984).

Dentro del mismo proceso de cambio en las condiciones de óxido-reducción de los suelos, al retornar las condiciones de oxidación (secado) de un suelo que previamente estuvo sujeto a condiciones reductoras (exceso de agua), se produce una disminución en la disponibilidad de P. En tal caso ocurre la oxidación del hierro (solubilizado durante el período reductor), y su precipitación bajo forma de óxidos finamente divididos, de gran superficie específica, y con una elevada reactividad por el P. Esto determina que los fosfatos presentes en forma soluble en el suelo reaccionan con estas superficies, disminuyendo su solubilidad y por consiguiente, su disponibilidad para la planta. En el cuadro 2 se indica este comportamiento.

Cuadro 2. Variación en los niveles de P asimilable de dos suelos sujetos a tres tratamientos: a) un exceso de agua; b) un exceso de agua y posterior secado, y c) sin exceso de agua, bajo condiciones normales de difusión de oxígeno (Ferrando et al., 2002).

Suelo	Tratamiento	P asimilable (Bray 1) mg kg ⁻¹
Solod La Charqueada	Exceso de agua	12.3
	Sin exceso de agua	7.3
	Exceso de agua-secado posterior	3.5
Brunosol Young	Exceso de agua	14.2
	Sin exceso de agua	10.7
	Exceso de agua-secado posterior	6.7

Los valores del cuadro muestran que cuando los suelos son llevados a un período de exceso de agua, la disponibilidad de P aumenta. Cuando luego de este período de exceso de agua ocurre el secado del suelo, dicha disponibilidad disminuye. Estos procesos generalmente ocurren más rápidamente y con mayor intensidad cuando el contenido y/o proporción de formas activas de hierro es mayor. Por lo general es la situación donde los suelos, por estar sujetos a períodos frecuentes de reducción y oxidación presentan compuestos de hierro poco cristalizados, altamente reactivos. El

Solod de la Unidad La Charqueada del cuadro 2 es un ejemplo de esta situación, donde la tercera parte del hierro presente en óxidos se encuentra bajo formas de alta reactividad.

En las rotaciones de cultivo de arroz con pasturas estos procesos son de natural relevancia en determinar la disponibilidad de P en las diferentes etapas de la rotación. Recientemente fueron realizadas investigaciones tendientes a evaluar indicadores de disponibilidad de P del suelo para el cultivo de arroz y la pastura a implantar sobre el rastrojo (Hernández et al., 2003a). Los estudios fueron realizados en 33 suelos de planicies, variables en sus características químicas e historia de fertilización fosfatada. Fueron evaluadas metodologías clásicas de análisis (Bray 1, Ácido Cítrico al 1%, Olsen), Mehlich 3 (Mehlich, 1984), así como variantes del método Bray 1 (extracción de P por una solución de Bray 1 luego de un período de incubación de 3 y 7 días en anaerobiosis a 40°C). También fue evaluado el P extraído mediante una solución de Oxalato de Amonio 0.2M (Shahandeh et al., 1994), utilizado para extraer las formas reactivas de hierro.

En el cuadro 3 se indican los valores promedio de P extraído por los diferentes métodos para diferentes situaciones de manejo y de historia de fertilización. Los valores corresponden al muestreo realizado previo a la siembra del cultivo de arroz.

Cuadro 3. Valores promedio de P según manejo previo de la chacra para suelos de planicies de la zona este y noreste de Uruguay.

Manejo anterior de la chacra	Bray 1	Ác. Cítrico	Mehlich 3	Olsen	Bray Inc3	Bray Inc7	Oxalato de amonio
	mg P kg ⁻¹						
Campo Natural	4	4	4	4	15	24	221
Retorno largo	6	7	8	5	25	38	298
Retorno corto	8	9	10	7	30	42	186
Pradera	7	9	9	6	28	39	212
Rastrojos	9	13	12	7	34	45	203
Promedio	7	9	9	6	28	39	215
Amplitud	5	9	7	3	19	21	112

Las diferentes situaciones de manejo previo de los suelos marcaron diferencias en los niveles de P asimilable de los suelos evaluados por los diferentes métodos. Los valores promedio encontrados fueron campo natural/regenerado < retorno largo < pradera < retorno corto < rastrojo. Dicho orden guarda relación con la frecuencia y/o cercanía de la última fertilización con fósforo. Dentro de los extractantes clásicos, el Ácido Cítrico y la solución de Mehlich 3 mostraron valores con una mayor amplitud que los extractantes Bray 1 y Olsen. Esto indica una mayor capacidad de ambos para estimar las diferencias en residualidad de fósforo. Otro aspecto importante a destacar es que para los suelos y situaciones consideradas, los valores analíticos encontrados fueron bajos. Esto puede ser explicado en parte por lo mencionado anteriormente, en cuanto a la disminución de los valores de disponibilidad con el secado de los suelos. No obstante también debe considerarse que las situaciones de estudio comprenden sistemas de rotaciones con baja entrada de P vía fertilización, por lo cual no es de esperar alta residualidad del P.

Para los suelos estudiados, todos los métodos se correlacionaron significativamente entre sí, siendo los métodos clásicos (Bray, Olsen y Mehlich 3) y el método por el Ácido Cítrico los que mostraron las más altas correlaciones entre sí, lo cual indicaría que están estimando cantidades proporcionales de P de los suelos. Las correlaciones entre las cantidades de P extraídas por los diferentes métodos y algunas características de suelo (contenido de hierro, arcilla y carbono orgánico) no mostraron tendencias claras. Sólo el Índice de Actividad del Fe (proporción de Fe en formas reactivas para retener P) mostró correlaciones significativas con los métodos por incubación y Oxalato de Amonio, y una tendencia con el Ácido Cítrico.

A los efectos de evaluar la capacidad predictiva de la disponibilidad de P de los métodos de análisis en términos de parámetros de planta, se calculó un índice de respuesta a P que fue el rendimiento relativo en grano del tratamiento testigo (sin agregado de P) respecto al promedio de los dos tratamientos de agregado de P que tuvieron mayor rendimiento en cada sitio (Hernández et al., 2003b).

De los métodos ensayados el que presentó mayores valores de R^2 para los tres modelos ajustados fue el método del Ácido Cítrico. El nivel crítico definido fue de 7 mg P kg^{-1} de suelo. Mehlich 3 y Bray 1 fueron los métodos que siguieron al Ácido Cítrico en términos de los valores de R^2 . Para ambos métodos los niveles críticos de P en el suelo fueron similares a los del Ácido Cítrico. En la figura 2 se indican los ajustes para estos tres métodos. Las restantes metodologías ensayadas mostraron ajustes más bajos, los cuales indican menores poderes predictivos de la disponibilidad de fósforo.

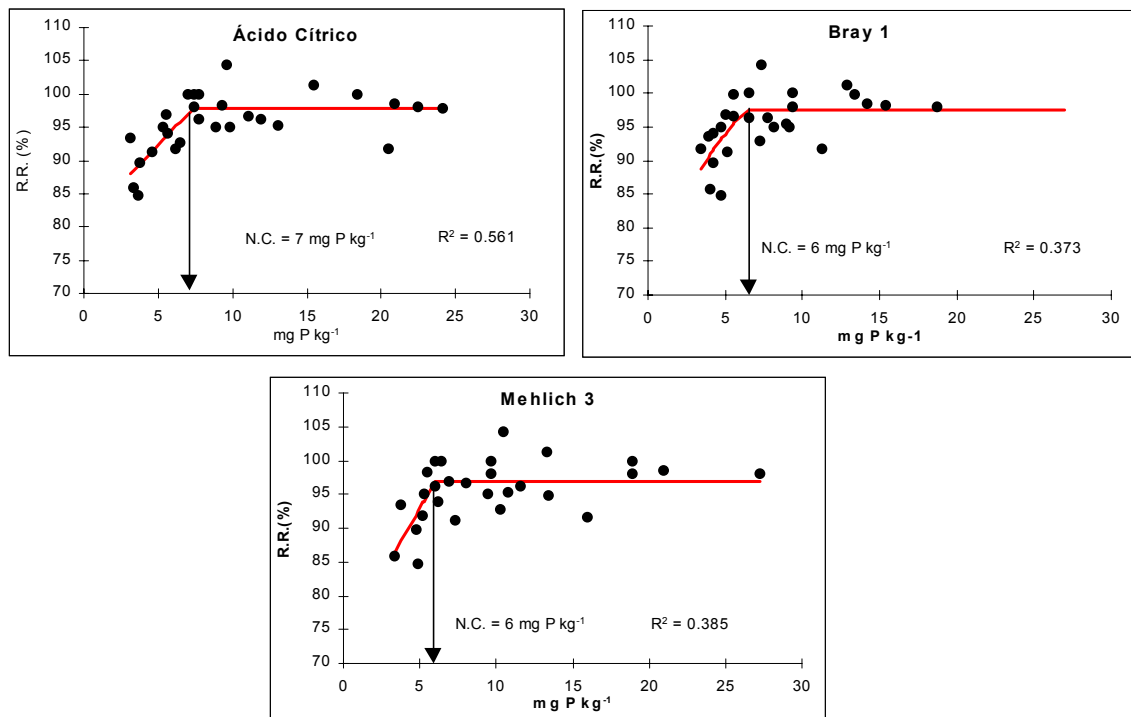


Figura 2. Relaciones entre un índice de rendimiento del cultivo de arroz (rendimiento relativo del testigo al promedio de los dos tratamientos fertilizados de mayor rendimiento), en función de la disponibilidad de P evaluada por los extractantes de Ác. Cítrico, Bray 1 y Mehlich 3.

Se aplicó la metodología de trabajo precedente para evaluar la disponibilidad de P del suelo luego de la cosecha del cultivo de arroz, previo a la instalación de una pastura sobre el rastrojo de arroz. Los sitios experimentales fueron similares a los evaluados para el cultivo de arroz. Se realizaron las evaluaciones de disponibilidad de P por el método Bray 1. Los valores de P estimados por Bray 1 mostraron un valor promedio de 6 mg P kg^{-1} , con un desvío standard de 2 mg P kg^{-1} y un rango de variación entre 4 y 11 mg P kg^{-1} .

Se relacionaron los valores de P estimados por el método Bray 1 y los valores de rendimiento relativo de leguminosa para los diferentes sitios en los dos años de evaluación (Berger y Hernández, no publicado) (Figura 3). Los resultados no mostraron una relación clara entre ambas variables. Esto estaría mostrando que el método Bray 1 presenta limitantes para estimar la disponibilidad de P en este tipo de situaciones, al contrario de su mejor aptitud para hacerlo en cultivo de arroz. Una explicación a lo observado estaría relacionada con la permanencia o no de las condiciones de reducción, o su alternancia con procesos de oxidación. En cultivo de arroz luego de inundar el suelo, la disponibilidad de P aumenta y teóricamente presentaría pocas variaciones hasta fin de ciclo, cuando la chacra es drenada para la cosecha. Este aumento sería proporcional a lo que había antes de inundar. En el caso de los suelos bajo pasturas, ocurrirían oscilaciones frecuentes en el régimen hídrico, pasando de períodos de anegamiento (reducción del suelo y aumento de la disponibilidad de P) a períodos en los cuales el suelo se seca (oxidación del suelo y reducción en la disponibilidad de P). La absorción de P por las plantas es de esperar que muestre también variaciones, acumulando más P en los momentos de aumento de la disponibilidad. En tales situaciones resulta muy difícil disponer de una herramienta analítica que pueda estimar la disponibilidad real de P que se da durante el ciclo del cultivo, en este caso, la pastura.

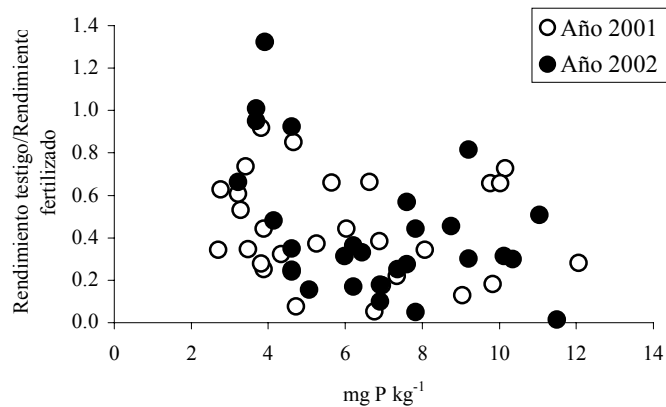


Figura 3. Contenido de P en el suelo por el método Bray 1 y rendimiento relativo del testigo sin fertilizar (Rendimiento del testigo/Rendimiento promedio de tratamientos fertilizados).

Conclusiones

La estimación de la disponibilidad de P para pasturas en suelos de la zona este del país presenta particularidades relacionadas con el tipo de suelo, cultivo y régimen hídrico. La información experimental disponible en términos de la aptitud de los métodos de análisis de suelo para estimar la

disponibilidad de P es variable. Para el cultivo de arroz se dispone de evaluaciones de varias metodologías, de las cuales surgen los métodos del Ácido Cítrico, Bray 1 y Mehlich 3 como los más aptos para estimar la disponibilidad de P para el cultivo. Para pasturas sobre rastrojos de arroz en suelos de zonas planas sólo se dispone de la información del método Bray 1, la cual ha mostrado un bajo poder predictivo del mismo para estimar disponibilidad de P. En la medida de formar parte de un trabajo aún en marcha, no se dispone de información acerca de otras metodologías en evaluación. De cualquier manera, el poder predictivo de los métodos podría mostrarse incierto, como consecuencia de la alternancia frecuente en el régimen hídrico de los suelos (excesos de agua y secado posterior del suelo). Para suelos de lomadas, si bien no se han realizado trabajos específicos, las características de los suelos no difieren mayormente de las correspondientes a los de la zona sur del país. Para estos últimos el método Bray 1 ha mostrado un buen comportamiento, existiendo calibraciones específicas para diferentes especies forrajeras. Dicha información podría ser utilizada como primera aproximación para los suelos de lomadas, hasta tanto se pueda disponer de investigaciones más específicas. Finalmente, para suelos de la zona de sierras, no existe aún información experimental suficiente que permita disponer de una calibración del método Bray 1 para pasturas. El uso de metodologías alternativas podría mejorar el poder predictivo de la disponibilidad de P, aunque es necesaria una calibración específica de las mismas.

Bibliografía

Aguirre, E.; Ríos, M. (1984). Relevamiento nutricional y de otras variables de producción en el área arrocería de Tacuarembó. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 249p.

Bordoli, J.M. 1998. Fertilización de pasturas de leguminosas y mezclas de gramíneas y leguminosas. Manejo de la fertilidad en sistemas extensivos (Cultivos y Pasturas). Facultad de Agronomía. Unidad de Educación Permanente y Postgrado. p71-79.

Bray, R.H.; Kurtz, L.T. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soils. Soil Sci., Baltimore, 59:39-45.

Ferrando, M.; Mercado, G.; Hernández, J. (2002). Dinámica del hierro y disponibilidad de fósforo durante períodos cortos de anaerobiosis en los suelos. Agrociencia 6:1-9.

García, F.; Terra, J. 2001. Siembra directa y rotaciones forrajeras en las lomadas del Este. Síntesis 1995-2000. Serie Técnica 125. INIA - Treinta y Tres.

Hernández, J. (1996). Dinâmica de fósforo em alguns solos de Uruguai afetada pela variação temporal nas condições de oxidação-redução. Tesis M.Sc. Porto Alegre, Brasil, Faculdade de Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 173p.

Hernández, J.; Berger, A.; Deambrosi, E.. (2003a). Métodos para estimar la disponibilidad de fósforo y su relación con características químicas de suelos del cultivo de arroz. In III Conferencia internacional de arroz de clima templado. Punta del Este, Uruguay, 10 al 13 de Marzo de 2003.

Hernández, J.; Berger, A.; Deambrosi, E. (2003b). Evaluación de métodos para estimar la disponibilidad de fósforo del suelo en cultivo de arroz irrigado en el Uruguay. In III Conferencia internacional de arroz de clima templado. Punta del Este, Uruguay, 10 al 13 de Marzo de 2003.

Mehlich, A. 1984. Mehlich III soil test extractant: A modification of Mehlich II extractant. *Commun. Soil Sci. Plant An.* 15:1409-1416.

Olsen, S.E.; Sommers, L.E. 1982. Phosphorus. *In*: Page, ed. *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties.* Agronomy Monograph N° 9. pp403-427. American Society of Agronomy, Madison, Wis.

Ponnamperuma, F.N. (1972). The chemistry of submerged soils. *Advances in Agronomy* 24:29-96.

Shahandeh, H.L.; Hossner, L.R.; Turner, F.T.1994. Phosphorus relationships in flooded rice soils with low extractable phosphorus. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58: 1184-1189.

van Raij, B.; Quaggio, J.A.; da Silva, N.M.1986.Extraction of phosphorus, potassium, calcium and magnesium from soils by an ion-exchange procedure. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 17:547-566.

Zamalvide, J.P.; Casanova, O.N.; Mallarino, A.; Genta, H. 1975. Evolución del comportamiento de cinco métodos para estimar fósforo disponible en suelos del Uruguay. Tesis Ing.Agr. Facultad de Agronomía, Montevideo, Uruguay. 55p.

Zamuz, E.M. de; Castro, J.L. 1974. Evaluación de métodos de análisis de suelo para determinar fósforo asimilable. *Boletín Técnico* N° 15. CIAAB. Uruguay.

1.3. Relevamiento del estado nutricional y la fertilidad del suelo en cultivos de trébol blanco en la zona Este de Uruguay ⁽¹⁾

Alejandro Morón ⁽²⁾

Introducción

El trébol blanco es una leguminosa de alta calidad, constituyente de las mejores pasturas del área templada. Es conocida por sus importantes requerimientos en la fertilidad de los suelos para producir altos rendimientos.

En la zona Este del país, área de influencia de la cooperativa CALVASE (J.P.Varela-Lavalleja), existe un núcleo de productores dedicados a la producción de semillas de trébol blanco. Estos cultivos son utilizados por muchos productores con doble propósito: producción de forraje para pastoreo directo y producción de semillas. El objetivo del presente trabajo fue la realización de un relevamiento del estado nutricional y la fertilidad de los suelos de los cultivos de trébol blanco procurando detectar posibles limitantes nutricionales en la obtención de altos rendimientos de forraje y/o semillas.

Materiales y Métodos

La metodología consistió en realizar un relevamiento de análisis de planta y suelo en chacras de trébol blanco (*Trifolium repens* cv Zapicán). Existe bibliografía, tipo guía interpretativa y de recomendación, de diversos orígenes con valores críticos para los macronutrientes y micronutrientes en plantas de trébol blanco para la producción de forraje (Cornforth, 1984; Mills & Jones, 1996; Reuter & Robinson, 1997). La cantidad de trabajos realizados, así como la importancia que le fue asignada al tema fertilidad de suelos y nutrición en trébol blanco en Nueva Zelandia, determinó que se seleccionara la información proveniente de este país como base para establecer en forma provisoria los niveles críticos de los macro y micronutrientes en planta para interpretar los resultados en función de la producción de forraje. En el cuadro 1 se presentan los niveles críticos (valor inferior del rango de suficiencia) de concentraciones y relaciones sobre la base de bibliografía de N. Zelandia. Estos valores son para hojas más pecíolos en plantas en estado de crecimiento activo y altura de pastoreo.

Se tomaron muestras de un total de 40 chacras durante el mes de setiembre de 1998. La mayoría de los suelos se ubican dentro de la Unidad Alférez (Ministerio de Agricultura y Pesca, 1979) siendo los suelos dominantes Brunosoles subéutricos lúvicos y Argisoles subéutricos melánicos.

⁽¹⁾ El presente artículo tiene ampliaciones, cambios y correcciones respecto al publicado en la Serie Actividades de Difusión N° 200 de INIA La Estanzuela (1999)

⁽²⁾ Ing. Agr., Dr., Sección Suelos INIA La Estanzuela

Cuadro 1. Niveles críticos de las concentraciones y relaciones de macro y micronutrientes en trébol blanco

Nutriente	Concentración	Unidades
Nitrógeno (N)	4.8	%
Fósforo (P)	0.35	%
Azufre (S)	0.25	%
Potasio (K)	2.00	%
Calcio (Ca)	0.40	%
Magnesio (Mg)	0.18	%
Manganeso (Mn)	25	mg /kg
Zinc (Zn)	16	mg /kg
Cobre (Cu)	6	mg /kg
Boro (B)	25	mg /kg
Hierro (Fe)	50	mg /kg
N/P	13	-
N/S	19	-
S/P	0.72	-

Análisis de planta

En cada chacra se tomaron dos muestras compuestas constituidas cada una de 6 a 8 submuestras de hojas más peciolo de trébol blanco previo a la floración. Posteriormente las muestras vegetales fueron secadas (aire forzado a 60°C) y molidas.

La preparación de los extractos vegetales y su determinación analítica fue realizada en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Agua de INIA La Estanzuela según se resume a continuación:

- Nitrógeno: digestión sulfúrica y destilación con micro-Kjeldhal y posterior titulación.
- Fósforo: digestión sulfúrica y colorimetría con vanadomolibdato.
- Calcio, Magnesio, Cobre, Hierro, Manganeso, Zinc: digestión vía seca (500°C, 6 horas) y absorción atómica.
- Potasio, Sodio: digestión vía seca (500°C, 6 horas) y emisión atómica.
- Boro: digestión vía seca (550°C, 3 horas) y colorimetría con azometina-H
- Fósforo en savia: método rápido (Kit Fosforapid), semi-cuantitativo, de extracción mecánica de savia y determinación colorimétrica por apreciación visual (Morón, 1997)

Análisis de suelo

En cada chacra se tomaron dos muestras compuestas de 15 tomas a 0-15 cm de profundidad. Las muestras de suelo fueron sometidas a los siguientes análisis en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Agua de INIA La Estanzuela:

- Carbono orgánico: digestión húmeda con dicromato de potasio y calor externo con posterior titulación.
- Nitrógeno total: digestión con ácido sulfúrico concentrado, destilación con micro Kjeldahl y titulación.

- Fósforo disponible: a) resinas de intercambio catiónico; b) Bray I, c) ácido cítrico. Colorimetría con molibdato de amonio y ácido ascórbico.
- Calcio y Magnesio intercambiables: extracción con acetato de amonio 1N a pH 7 y absorción atómica
- Potasio y Sodio intercambiables: extracción con acetato de amonio 1N a pH 7 y emisión atómica.
- Cobre, Hierro, Manganeso y Zinc disponibles: extracción con DTPA-TEA a pH 7.3 y absorción atómica.
- pH: en agua y cloruro de potasio 1N con potenciómetro y relación suelo-solución 1:2.5
- Aluminio intercambiable: sólo en muestras que presentaban pH en agua igual o inferior a 5.5. Extracción con KCl y posterior titulación.
- Acidez titulable: extracción con acetato de calcio 1N a pH 7 y posterior titulación.
- Boro disponible: extracción con Cl_2Ca en horno de microondas y colorimetría con azometina-H
- CIC a pH 7: $Ca + Mg + K + Na + Ac$. Titulable
- % Saturación en bases : $(Ca + Mg + K + Na).100 / CIC \text{ pH } 7$
- Textura: Escala textural USDA. Separación de la fracción arena mediante tamiz, fracción arcilla determinada mediante hidrómetro y fracción limo por diferencia.

Informaciones generales

De cada chacra se registró información general de apoyo como fecha de siembra, tipo y cantidad de fertilizante utilizado, estado general del cultivo, composición botánica (estimación visual), nodulación (cantidad, color), altura del cultivo, manejo anterior del suelo, etc.

Resultados y Discusión

Características generales

De las 40 chacras relevadas el 45% eran cultivos de trébol blanco que se encontraban en su segundo año. El 28% eran cultivos instalados el mismo año del muestreo, mientras que el 28% restante eran cultivos de 3 y 4 años. Las chacras tenían en promedio 37 hectáreas y se encontraban en el momento del muestreo con una composición botánica que en promedio era de 86% de trébol blanco. La altura del trébol blanco era de 20 cm en promedio de las 40 chacras, con un coeficiente de variación de 24% y rango de 9 a 28 cm entre chacras.

En el cuadro 2 se detalla la información respecto de la fertilización. Todas las chacras fueron fertilizadas en la instalación y un alto porcentaje realizó refertilizaciones. El fertilizante dominante tanto en la instalación como en las refertilizaciones fue el Superfosfato triple (0-46/46-0), en segundo término se encuentra el uso de fertilizantes binarios. La utilización de Superfosfato simple (0-21/23-0) es mínima. Existe mayor variación en las dosis utilizadas en las refertilizaciones que en la instalación.

Cuadro 2. Características de la Fertilización

	Implantación	1° Refertilización	2° Refertilización
N° chacras	40	29	11
% Fertilizadas	100	83	73
\bar{x} kg P ₂ O ₅ /ha	91	40	40
Mínimo P ₂ O ₅ kg/ha	60	0	0
Máximo P ₂ O ₅ kg/ha	130	92	92
% C. Variación	22	53	74
% SuperTriple*	55	71	88
% Binarios*	38	29	12
% SuperSimple*	8	-	-

* Porcentaje calculado en base a chacras fertilizadas. Supertriple (0-46/46-0), Supersimple (0-21/23-0); Binarios (ejem. 12-52/52-0).

Análisis de suelos

En el cuadro 3 se presentan los promedios y la variación de las principales características químicas y físicas de los suelos. De acuerdo con su textura promedio pueden catalogarse como suelos franco-limosos, con un contenido de C orgánico y N total concordante con ésta.

Son suelos moderadamente ácidos con cantidades de aluminio intercambiable bajas o nulas. La capacidad de intercambio (CIC) así como el porcentaje de saturación en bases no parecen limitantes. Puede señalarse como preocupante los niveles de potasio intercambiable que en promedio son de 0.28 meq K/100 g con un coeficiente de variación de 41%. En términos generales los valores de K intercambiables iguales o superiores a 0.30 meq/100 g no son limitantes para diferentes cultivos (van Raij et al, 1996).

Los valores promedio de fósforo disponible, realizado por diferentes métodos, parecen bajos y lógicamente con un alto coeficiente de variación debido a que es una característica fuertemente influenciada por las cantidades y tipo de fertilizantes utilizados.

De acuerdo con la interpretación publicada por van Raij et al (1996) el promedio de cada micronutriente analizado estaría dentro de la categoría de alta disponibilidad excepto el promedio de Zn que se clasificaría como valor medio.

Cuadro 3. Promedio y variación en las características químicas y físicas de los suelos en el horizonte 0.15 cm .

	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	C.Org %	N %	Bray I µg P/g	Resinas µg P/g	Ac.Cítrico µg P/g
Promedio	5.6	4.5	2.13	0.21	6.9	6.7	8.9
%CV	6	7	21	19	65	66	57
Mínimo	5.2	4.1	1.44	0.15	0.6	1.0	3.2
Máximo	7.2	6.2	3.55	0.34	22.8	24.5	27.7
	Al meq/100g	Ca meq/100g	Mg meq/100g	K meq/100g	% K (K/CIC)100	Na meq/100g	A.Tit. meq/100g
Promedio	0.07	8.1	3.2	0.28	1.77	0.30	3.69
%CV	45	38	23	41	25	35	24
Mínimo	0.02	4.5	1.7	0.13	0.98	0.15	1.20
Máximo	0.15	18.8	4.5	0.69	3.26	0.88	6.05
	CICpH7 meq/100g	% Sat. Bases	Cu mg/Kg	Fe mg/Kg	Mn mg/Kg	Zn mg/Kg	B mg/Kg
Promedio	15.5	75	2.4	188	73	0.75	0.68
%CV	25	8	41	22	31	30	19
Mínimo	9.7	63	1.3	68	32	0.46	0.37
Máximo	26.8	95	7.3	298	156	1.55	0.97
	% Arena	% Limo	% Arcilla				
Promedio	24	57	19				
%CV	19	9	21				
Mínimo	18	46	13				
Máximo	38	67	29				

Análisis de planta

a) Macronutrientes

Fósforo. En la figura 1 se observan los valores de P en planta determinados por el método rápido del Kit Fosforapid. Tomando el valor de 90 µg P / ml como valor crítico por encima del cual no existe respuesta significativa al agregado de fósforo (Morón, 1997) se observa que en la mayoría de las chacras existiría capacidad de respuesta al agregado de fertilizantes fosfatados. En la figura 2 se presentan los valores de P total en planta y el valor crítico correspondiente citado anteriormente en el cuadro 1. La interpretación es muy similar a la comentada para la figura 1. En la figura 3 se constata que existe una buena asociación entre el método de análisis rápido en savia y el contenido de P total en planta.

Se estudió la relación entre el contenido de P en planta y los métodos de análisis de P disponible Bray I, Resinas y Ácido cítrico. El método del Ácido cítrico fue el que presentó mejor asociación con el contenido de P en planta (Figura 4). Los datos sugieren un valor crítico en suelo entre 12 y 15 µg P / g por el método del Ácido cítrico.

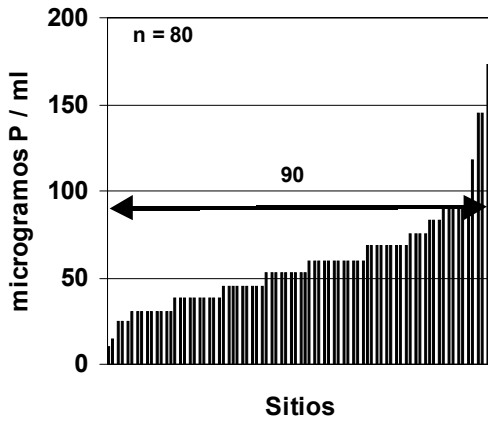


Figura 1. Análisis rápido de fósforo en plantas de trébol blanco

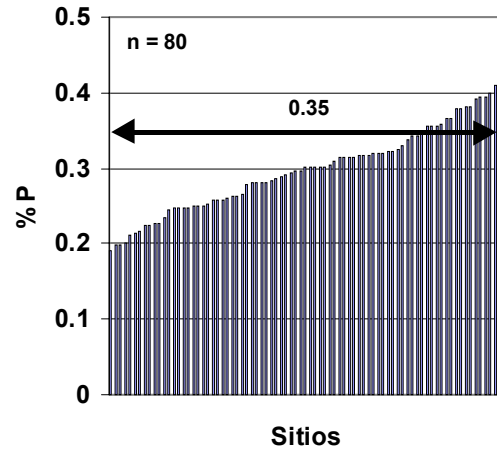


Figura 2. Análisis de fósforo total en plantas de trébol blanco

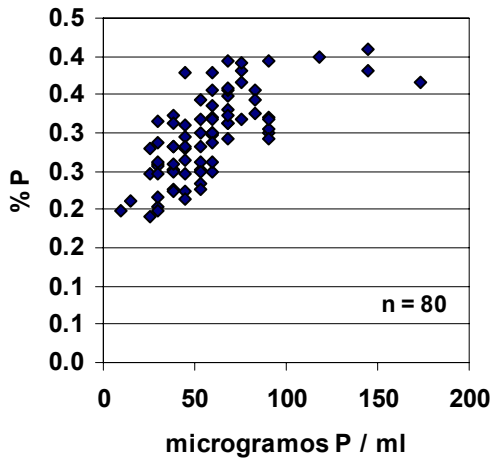


Figura 3. Relación fósforo total en planta y análisis rápido de P

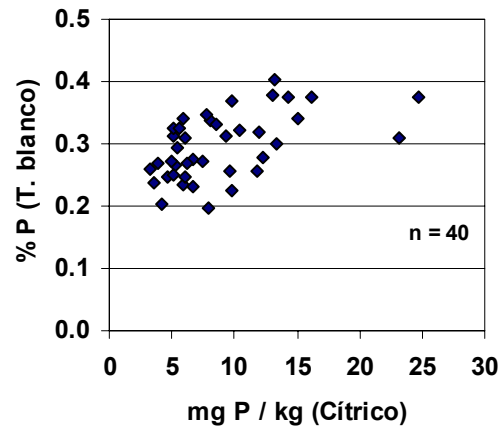


Figura 4. Relación entre contenido de P en trébol blanco y análisis de suelos P-Cítrico

Azufre. En la figura 5 se observa que aproximadamente el 30% de las chacras tienen valores de S en planta inferiores al valor crítico. Debe recordarse que en la mayoría de las chacras no se utilizan fertilizantes portadores de azufre (Cuadro 2), lo cual significa que los valores observados en planta corresponden a la capacidad de suministro de S que tienen naturalmente los suelos.

En la figura 6 se presenta la relación S/P. El cociente de nutrientes nos permite estudiar el balance entre nutrientes y nos informa del exceso y/o deficiencia relativa de un nutriente respecto del otro. Es claro que en la mayoría de las chacras existe un déficit relativo de P respecto de la concentración de S.

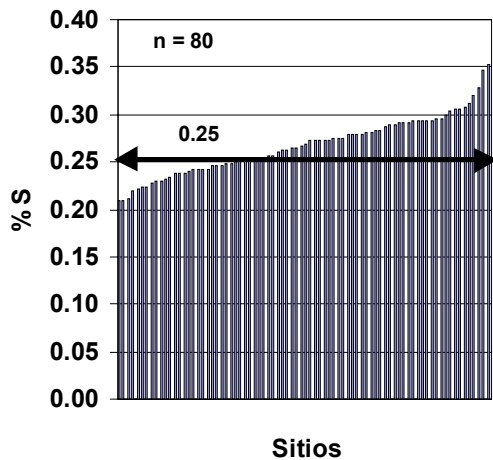


Figura 5. Contenido de azufre en parte aérea de plantas de trébol blanco

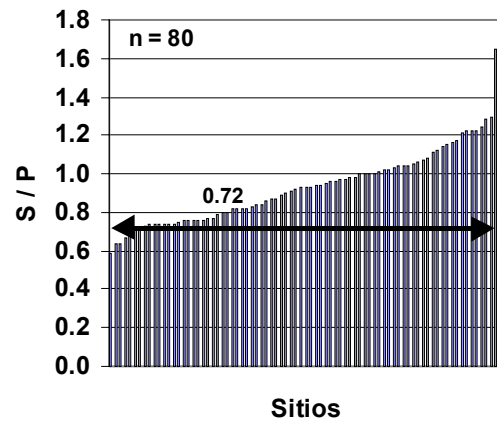


Figura 6. Relación S / P en parte aérea de plantas de trébol blanco

Nitrógeno. En primer lugar debe tenerse presente que existe una fuerte asociación entre el contenido de N en el trébol blanco y su productividad (Sinclair et al; 1, 1996; 2, 1996; Morón, información no publicada).

En forma consistente todos los valores de N en trébol blanco fueron inferiores al valor crítico de 4.8% de N (Figura 7). No se detectó asociación estadísticamente significativa entre altura del trébol blanco y contenido de N. El N en plantas de leguminosas noduladas puede tener dos orígenes: a) N mineral (NH_4^+ , NO_3^-) proveniente de la mineralización de la materia orgánica y/o de los fertilizantes; y b) N proveniente del proceso de fijación biológica (FBN). Excepto en condiciones de alta disponibilidad de N mineral es esperable que la mayoría del N de las leguminosas noduladas provenga de la FBN (Marschner, 1995). En Uruguay, García et al (1994) presentaron información de trébol blanco, en condiciones normales, donde se cuantifica que el N proviene fundamentalmente de la FBN y esta tendencia se acentúa en invierno. En prácticamente todas las chacras el trébol blanco se encontraba nodulado en mayor o menor medida y con nódulos de color interno rojizo. La eficiencia del proceso de la FBN depende de factores genéticos de los microorganismos y de la leguminosa así como de la interacción de estos con otros factores ambientales tales como acidez del suelo, disponibilidad de agua, temperatura, disponibilidad de P, disponibilidad de molibdeno, etc. (Giller & Wilson, 1991). En las figuras 8 y 9 se presentan las relaciones entre el contenido de P y S en planta con el contenido de N en planta. En ambos casos se observa la existencia de una asociación. En el cuadro 4 se encuentran las regresiones simples y múltiple de N *versus* P y S. Ambas variables, P y S, son significativas estadísticamente en su asociación con N, y en conjunto alcanzan a explicar el 57% de la variación de la concentración de N.

Es conocido que el suministro de P para las leguminosas noduladas tiene un importante efecto tanto en la nodulación como en la actividad de la enzima nitrogenasa. Las funciones del S muestran su relación con el N. El S es constituyente de los aminoácidos azufrados cisteína y metionina y por tanto su déficit inhibe la síntesis proteica (Marschner, 1995). También el S es constituyente de dos enzimas (ferredoxina y de las sub-unidades Fe-proteína y Mo-Fe-proteína de la nitrogenasa) que intervienen en la FBN y su deficiencia afecta negativamente el contenido de N de las leguminosas (Marschner, 1995). Por tanto, todo hace pensar que existe un déficit de N inducido por falta de P y

S. En las figuras 10 y 11 se presentan las relaciones N/S y N/P. Parece claro que el déficit relativo de N es mayor que el de S.

Cuadro 4. Relación entre el contenido de Nitrógeno y el de Fósforo y Azufre en plantas de trébol blanco

Ecuación	R ²
% N = 2.89 + 3.03 x % P	0.33 ***
% N = 2.21 + 5.89 x % S	0.39 ***
% N = 1.77 + 2.39 x % P + 4.91 x % S	0.57 ***

n = 80

*** = significativo 1%

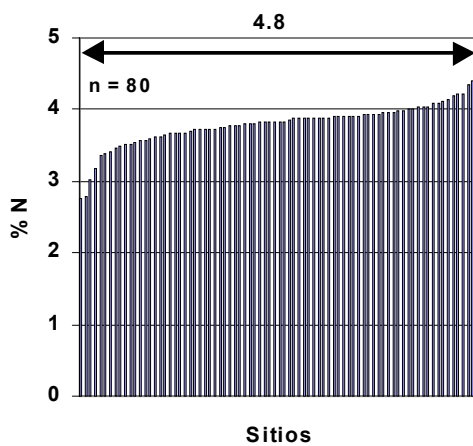


Figura 7. Contenido de nitrógeno en parte aérea de plantas de trébol blanco

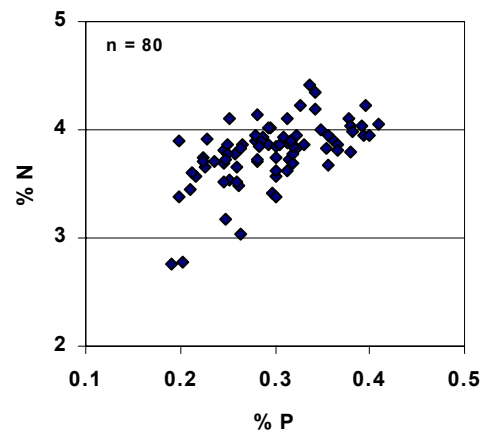


Figura 8. Relación entre el contenido de nitrógeno y fósforo en parte aérea de plantas de trébol blanco

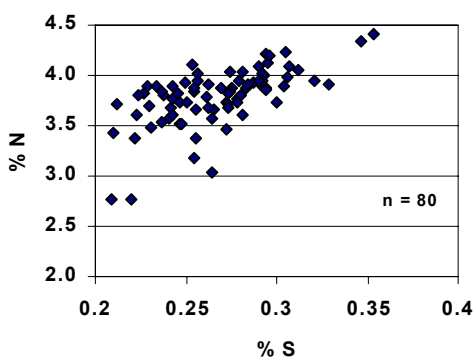


Figura 9. Relación entre el contenido de nitrógeno y el contenido de azufre en parte aérea de trébol blanco

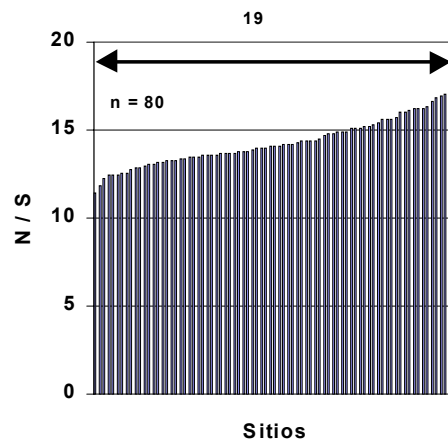


Figura 10. Relación N / S en parte aérea de trébol blanco

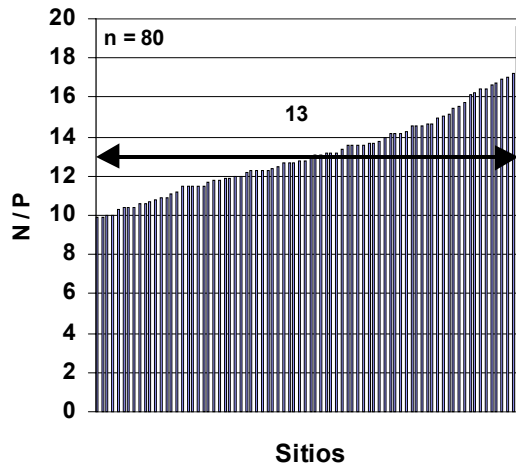


Figura 11. Relación N / P en parte aérea de trébol blanco

Potasio. En la figura 12 se observan importantes variaciones en el contenido de K en las plantas de trébol blanco y un significativo porcentaje de situaciones con valores claramente inferiores al valor crítico. En relevamientos de otros cultivos (maíz, alfalfa) y en otras regiones de Uruguay también se constataron valores de K en planta inferiores al valor crítico (Morón & Baethgen, 1996; Morón, 1998).

El K es un macronutriente que cumple diversas funciones en las plantas: a) mantener el nivel de agua en las plantas, la presión osmótica y controlar la apertura y cierre de los estomas; b) acumulación y translocación de los hidratos de carbono sintetizados; y c) activador de una gran cantidad de enzimas.

Cuando se estudia la relación del contenido de K con el contenido de sodio (Na) en las plantas de trébol blanco se constata una relación inversa (Figura 13). Las plantas con contenido más bajo de K son las que tienen mayor concentración de Na. En algunas especies vegetales es posible que exista una sustitución parcial del K por el Na, especialmente en aquellas funciones vinculadas con el mantenimiento de la presión osmótica (Mills & Jones, 1996; Marschner, 1995). Específicamente, el trébol blanco es categorizado como una especie con características natrofilicas por varios autores (Tower & Smith, 1983; Dunlop & Hart, 1987; Marschner, 1995). Natrofilicas son las plantas que absorben el Na y lo transportan hasta sus hojas, mientras que las natrofóbicas absorben el Na lentamente acumulándolo en sus raíces o en las partes más bajas del tallo y transportándolo en bajas magnitudes hacia las hojas (Tower & Smith, 1983). De especial interés es el posible cambio de los niveles críticos de potasio en planta en especies natrofilicas cuando existe sodio disponible. Marschner (1995) cita ejemplos para gramíneas como Italian ryegrass y Rhodes grass donde los niveles críticos de K en planta son notoriamente inferiores cuando el contenido de sodio en las hojas es alto.

En la figura 14 se relaciona el contenido promedio de K en planta con el contenido promedio de K intercambiable en el suelo. Como tendencia general puede afirmarse que con valores iguales o superiores a 0.35 meq K / 100 g de suelo no se registran valores inferiores a 2% de K en planta. En la figura 15 se relaciona el contenido promedio de K en planta con el porcentaje promedio de la

capacidad de intercambio (CIC) ocupada por el K intercambiable. Con valores superiores al 2% de K de la CIC no se registran valores inferiores al 2% de K en planta.

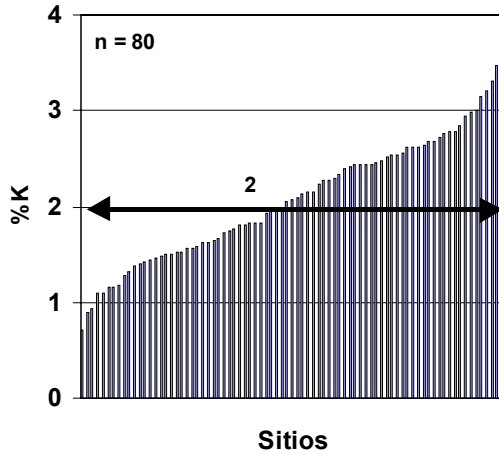


Figura 12. Contenido de potasio en parte aérea de plantas de trébol blanco

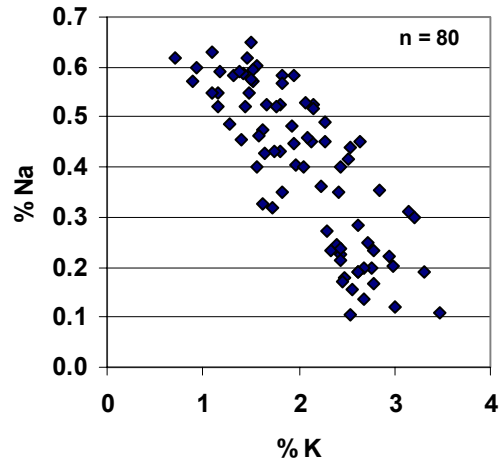


Figura 13. Relación entre el contenido de potasio y sodio en parte aérea de trébol blanco

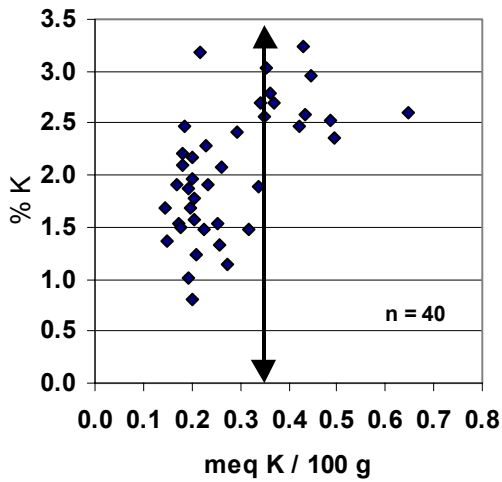


Figura 14. Relación entre el contenido de K en trébol blanco y K intercambiable en el suelo

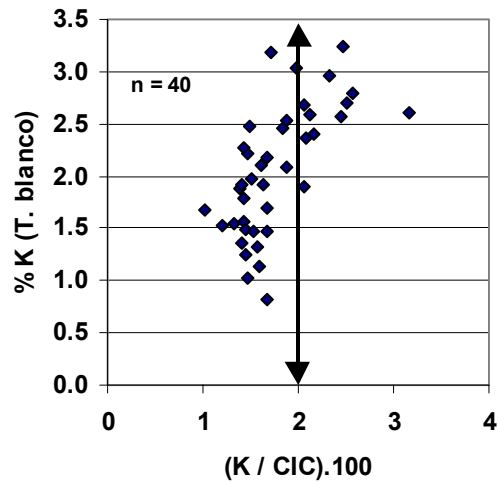


Figura 15. Relación entre el contenido de potasio de trébol blanco y el porcentaje de K en la CIC a pH 7

Calcio y Magnesio. En las figuras 16 y 17 se observan los valores obtenidos para la concentración de calcio y magnesio en planta. En ambos casos, según el cuadro 1, no existen elementos para pensar en la existencia de limitaciones al rendimiento del trébol blanco por parte de estos macronutrientes. Esto es concordante con los valores de Ca y Mg intercambiables existentes en el suelo reportados en el cuadro 3.

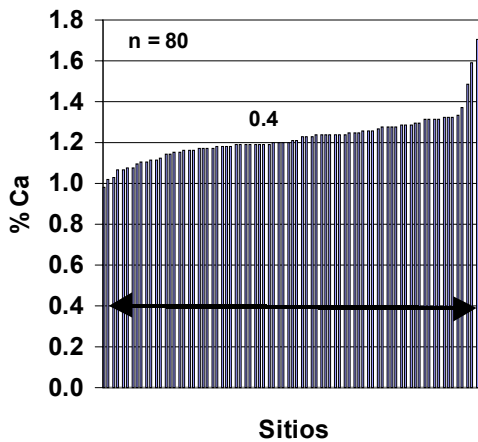


Figura 16. Contenido de calcio en parte aérea de plantas de trébol blanco

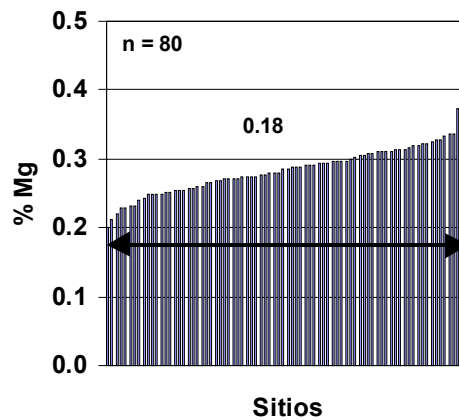


Figura 17. Contenido de magnesio en parte aérea de plantas de trébol blanco

b) Micronutrientes

Cobre. Hierro. Tanto Cu (Figura 18) como Fe (Figura 19) no presentan valores que puedan significar limitaciones al rendimiento. Los valores de análisis de suelo de ambos micronutrientes presentados en el cuadro 3 se encuentran sustancialmente por encima de los valores presentados como críticos por van Raij et al (1996).

Manganeso. En el caso particular del Mn (Figura 20) no presenta valores por debajo del nivel crítico. Su problema podría ser por la inversa. Es conocido que el exceso de Mn puede provocar toxicidad en las plantas y esta situación se encuentra asociada generalmente a suelos fuertemente ácidos (Martens & Westermann, 1991). Según los valores generales presentados por Jones (1991) los máximos valores encontrados en este relevamiento no estarían dentro de la zona de toxicidad (300-500 mg Mn / kg). Esto sería concordante con los valores de pH moderadamente ácidos, reportados en el cuadro 3, para la mayoría de los suelos.

Zinc. En el caso del Zn (Figura 21), al igual que el Mn, no existen valores en planta de trébol blanco inferiores al nivel crítico citado en el cuadro 1. Se presentan en algunas pocas chacras valores muy altos y en algunos casos sólo en una de las dos muestras analizada por chacra. No existe hasta el momento una explicación satisfactoria para esto.

Boro. El B es el único micronutriente que presenta en aproximadamente un 15% de los casos valores moderadamente inferiores al nivel crítico en planta (Figura 22).

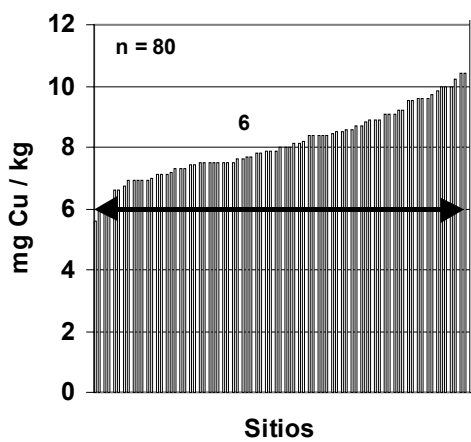


Figura 18. Contenido de cobre en parte aérea de plantas de trébol blanco

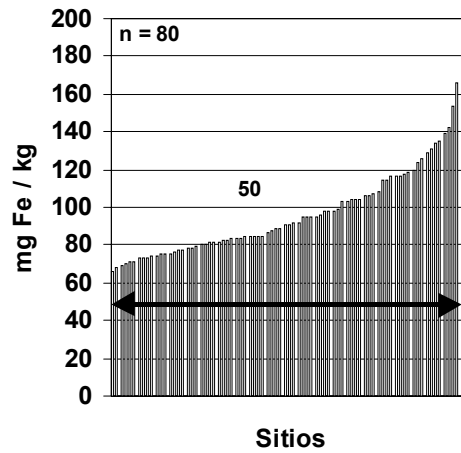


Figura 19. Contenido de hierro en parte aérea de plantas de trébol blanco

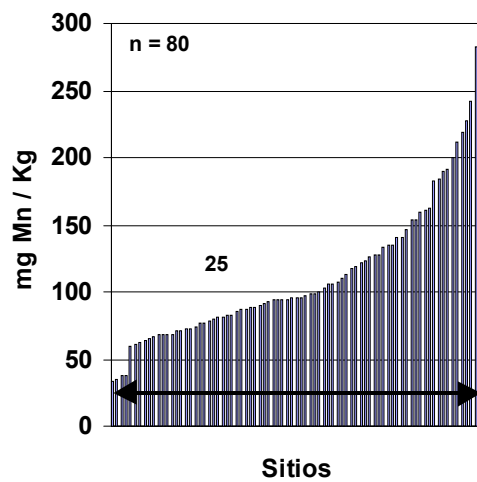


Figura 20. Contenido de manganeso en parte aérea de plantas de trébol blanco

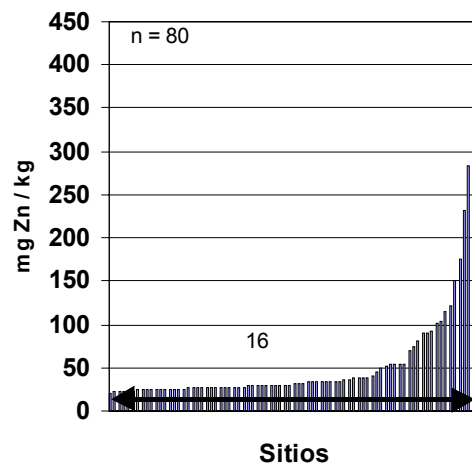


Figura 21- Contenido de zinc en parte aérea de plantas de trébol blanco

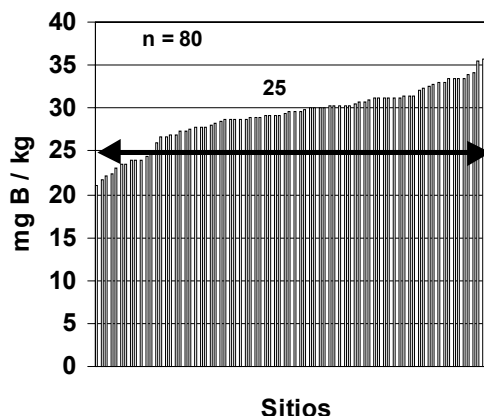


Figura 22. Contenido de boro en parte aérea de plantas de trébol blanco

Consideraciones finales

Se constatan importantes deficiencias en el contenido de N en planta que encuentran una significativa asociación con los niveles de P y S en planta. Generalmente, el contenido de N en planta esta estrechamente ligado al rendimiento.

La fertilización fosfatada utilizada se presenta como deficiente en la mayoría de las chacras analizadas. El diagnóstico de la deficiencia de P es confirmado tanto por el método rápido como por el análisis de P total en planta. A nivel de P disponible en suelo el método más promisorio es el del Ácido cítrico.

La asociación entre los niveles de azufre y el contenido de N en la planta de trébol blanco plantea la necesidad de estudiar más detalladamente la respuesta al agregado de S así como la búsqueda de indicadores confiables que puedan predecir la respuesta a su agregado. El agregado de fertilizantes fosfatados que contengan azufre, como el Superfosfato simple, probablemente sea una de las soluciones más prácticas y económicas para estos sistemas de producción.

Los bajos niveles de K en planta en un importante porcentaje de las chacras son llamativos. Pueden constituir una limitante al rendimiento. El nivel de K intercambiable en el suelo y/o su porcentaje de la CIC parecen ser indicadores utilizables. Es necesario encarar algún trabajo de respuesta a su agregado en las situaciones catalogadas como deficientes. Queda la interrogante del rol del Na en las situaciones de posibles deficiencias de K y consecuentemente el posible cambio en los niveles críticos de K.

Los micronutrientes estudiados no parecen limitantes, quedando como observación un bajo porcentaje de casos con niveles de B inferiores al nivel crítico. Como denominador común con el presente trabajo cabe mencionar que en relevamientos anteriores realizados en maíz (Morón & Baethgen, 1998) y alfalfa (Morón, 1998), en otras regiones de Uruguay, Fe y Mn no aparecieron como posibles limitantes al rendimiento.

Si bien este trabajo presenta por primera vez en el país información sobre el estado nutricional y la fertilidad de suelos en cultivos de trébol blanco en un número importante de chacras, debe tenerse cautela en la generalización o extrapolación de los resultados obtenidos para otras regiones con otros suelos y manejos del trébol blanco.

Por último, debe mencionarse que en esta región no es clara la ubicación del cultivo del trébol blanco en un sistema de rotaciones que utilice y capitalice las importantes cantidades de N que es capaz de incorporar el trébol blanco a través de la FBN.

Bibliografía citada

- Cornforth, I.S. 1984. Plant Analysis. *In* Cornforth, I.S. & Sinclair, A.G., compiled. Fertiliser and lime recommendations for pasture and crops in New Zealand. Ministry of Agriculture & Fisheries. Second Revised Edition. p.40-42.
- Dunlop, J. ; Hart, A. L. 1987. Mineral nutrition. *In* Baker, M.J. & Williams, W.M., eds., White Clover. CAB international. Cap. 5. p. 153-183.
- Edmeades, D.C.; Sinclair, A.G.; Watkinson, J.H.; Ledgard, S.F.; Ghani, A.; Thorrold, B.S. ; Bosell, C.C., Braithwaite, A.C.; Brown, M.W. 1994. Some recent developments en Sulphur research in New Zealand Agriculture. *Sulphur in Agriculture*, 18: 3-8.
- García, J.; Labandera, C.; Pastorini, D.; Curbelo, S. 1994. Fijación de nitrógeno por leguminosas en La Estanzuela. *In* Nitrógeno en Pasturas. INIA Serie Técnica 51. p.13-18
- Giller, K.E. & Wilson, K.J. 1991. Nitrogen Fixation in Tropical Cropping Systems. CAB International. 313 p.
- Jones, J. B. 1991. Plant Tissue Analysis in Micronutrients. *In* Mortvedt, J.J.; Cox, F.R.; Shuman, L.M.; Welch, R.M., eds. Micronutrients in Agriculture. SSSA. Cap. 13. p. 477-521.
- Martens, D.C.; Westermann, D.T. 1991. Fertilizer Applications for Correcting Micronutrients Deficiencias. *In* Mortvedt, J.J.; Cox, F.R.; Shuman, L.M.; Welch, R.M., eds. Micronutrients in Agriculture. SSSA. Cap. 15. p. 549-592.
- Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press. Second Edition. 889 p.
- McNaught, K.J. 1970. Diagnosis of mineral deficiencies in grass-legume pastures by plant analysis. *In* Proceedings XI International Grassland Congress. Australia. 334-338 p.
- Mills, H. A.; Jones, J. B. 1996. Plant analysis handbook II. Micro - Macro Publishing, Inc. 422 p.
- Ministerio de Agricultura y Pesca. 1979. Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay. Tomo III. Clasificación de Suelos. 452 p.
- Morón, A. 1997. Phosphorus requirements in legumes: calibration of a rapid simple tissue test . *In* Proceedings XVIII International Grassland Congress. Canadá. Session 10 Soil Fertility, 10-15.

- Morón, A. [1998]. Requerimientos de fertilización y relevamiento nutricional. *In* Jornada de Alfalfa. (1998, Canelones, Uru.) p.15-20
- Morón, A.; Baethgen, W. 1996. Relevamiento de la fertilidad de los suelos bajo producción lechera. INIA Serie Técnica 73.
- Morón, A.; Baethgen W. 1998. Micronutrient Status in Dairy Farms of Uruguay. *In* Proceedings XVI World Congress of Soil Science. Francia. CD ROM Symposium 14, 1-5 p.
- Reuter, D.J.; Robinson, J.B. 1997. Plant analysis: an interpretation manual. 2nd ed. CSIRO Publishing. 536 p.
- Rodríguez, M.; Sinclair, A.; Morton, J.; Morrison, J.; Smith, C.; Dodds, K. 1998. Nutrient ratios in herbage as indicators of balanced and adequate nutrition for white clover. *In* Proceedings XVI World Congress of Soil Science. Francia. CD ROM. Symposium 14, 1-9 p.
- Sinclair, A.G.; Smith, L.C.; Morrison, J.D. ; Dodds, K.G. 1996. Effects and interactions of phosphorus and sulphur on a mown white clover/ryegrass sward. 1. Herbage dry matter production and balanced nutrition. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 39: 421-433
- Sinclair, A.G.; Smith, L.C.; Morrison, J.D. ; Dodds, K.G. 1996. Effects and interactions of phosphorus and sulphur on a mown white clover/ryegrass sward. 2 Concentrations and ratios of phosphorus, sulphur, and nitrogen in clover herbage in relation to balanced plant nutrition. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 39: 435-445
- Sinclair, A.G.; Smith, L.C.; Morrison, J.D. ; Dodds, K.G. 1997 Effects and interactions of phosphorus and sulphur on a mown white clover/ryegrass sward. 3. Indices of nutrient adequacy. *New Zealand Journal of Agricultural Research*, 40: 297-307
- Towers N.R.; Smith, G.S. 1983. Sodium. *In*: Grace, N.D., ed. The mineral requirements of grazing ruminants. New Zealand Society of Animal Production. Occasional publication N° 9. cap. 17. p. 112-124.
- van Raij, B. ; Cantarella, H.; Quaggio, J.A.; Furlani, A.M.C. 1996. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. *Boletim Técnico* 100. 2° ed. Campinas. Instituto Agrônomo - Fundação IAC. 285 p.

Agradecimientos

A los productores y el Ing.Agr. G. Rovira de la Cooperativa CALVASE por su apoyo en la realización de este trabajo. A los funcionarios de la Sección Suelos de INIA La Estanzuela N. Cabrera, M. Ernst y D. Bassahun por su dedicación y esfuerzo en distintas partes de este trabajo.

1.4. Fertilización fosfatada

Un insumo determinante del éxito en los suelos con restricciones de la Región Este

Milton Carámbula ⁽¹⁾

Características de los suelos con restricciones de la Región Este

El hecho de hablar de suelos con restricciones significa que también existen suelos sin restricciones con condiciones favorables para la producción de forraje.

En este sentido y de acuerdo con Durán (1985) cuando se confronta la información referente a suelos con la producción de forraje de sus campos naturales, se puede concluir que los mejores suelos desde el punto de vista agrícola son también los mejores suelos desde el punto de vista pastoril. Dichos suelos presentan texturas medias a pesadas, colores oscuros con niveles elevados de materia orgánica, buena profundidad, elevada capacidad de retención de agua y drenaje bueno a moderadamente bueno.

A medida que los suelos se apartan de dichas condiciones o que una o varias de ellas se hacen limitantes, motivan que se registren descensos en los grados de aptitud de uso de los mismos, desde agrícolas hasta de aptitud pastoril muy baja.

De ahí que una definición de suelos con restricciones, suelos con limitaciones, suelos marginales o suelos con problemas, son aquellos suelos que por distintas causas, pero principalmente, tanto por características internas propias, como por topografía y alto riesgo de erosión, presentan restricciones de uso agronómico, que determinan porcentajes bajos de tierras arables y por lo tanto la explotación ganadera es predominante.

Las restricciones que presentan estos suelos no son únicas, estrictas y fijas, sino que muestran distintos grados de importancia, por lo que un porcentaje importante de estos suelos "marginales" son destinados a la agricultura conservacionista, a la agricultura forrajera o a la ganadería, según las condiciones económicas o de oportunidad del predio, así lo indiquen. De ahí entonces, que su destino esté expuesto a que se registren avances de la agricultura sobre la ganadería y de la ganadería sobre la agricultura; para lo cual el destino de dichos suelos se debe planificar de tal manera, que permita ajustar el objetivo de acuerdo a cada circunstancia en particular.

No obstante, es evidente que la gran mayoría de los suelos con limitaciones, se presentan como casos extremos en los que la ganadería será el rubro que domine en las tres grandes zonas de la Región Este.

Este comportamiento significa que la potencialidad de los suelos de la Región Este puede ser extremadamente variable, lo que provoca que al pretender agrupar los suelos desde muy productivos a poco productivos, o de agrícolas a pastoriles, muchas veces resulte complicado. Ello se debe a que en la práctica, la productividad de cada suelo está condicionada en gran parte por las

⁽¹⁾ Ing. Agr., MSc, Programa Plantas Forrajeras INIA Treinta y Tres (hasta diciembre 1999.)

posibilidades que disponga el productor para aplicar medidas correctivas que permitan modificar los factores que imponen las principales restricciones dominantes en los mismos (Figura 1).

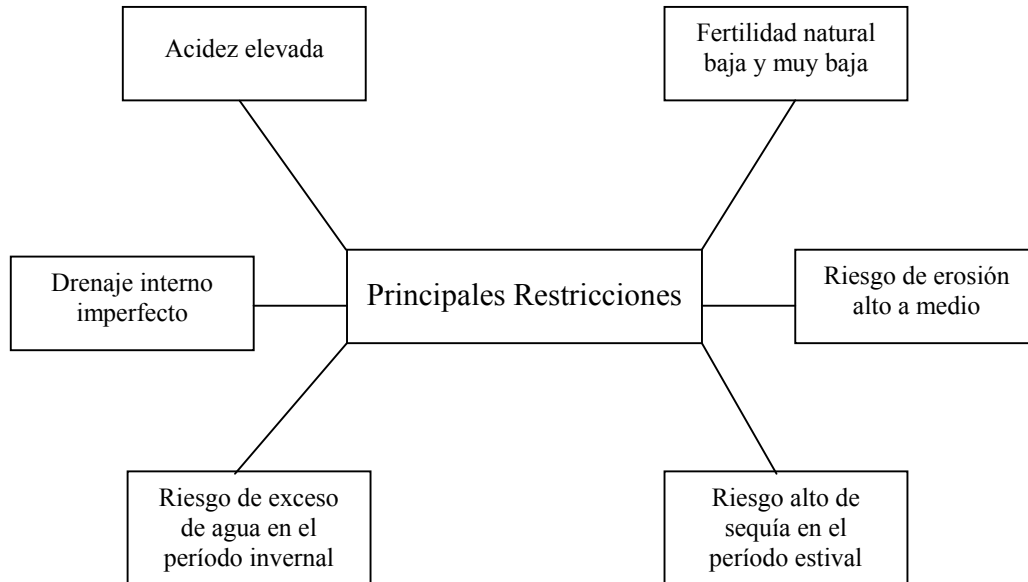


Figura 1. Principales restricciones de los suelos de la Región Este.

Así, mientras en ciertos suelos la escasa profundidad y/o los problemas de orden textural son caracteres restrictivos de difícil solución, porque afectan mayoritariamente el régimen hídrico de los mismos; en otros como los suelos profundos de baja fertilidad natural y/o degradados, las soluciones que se proponen son más fáciles técnica y prácticamente, ya que se trata de una restricción básicamente nutritiva, solucionable por la aplicación planificada de fertilizantes.

La habilidad para reducir las restricciones que imponen los suelos marginales

Antes de iniciar la mejora de los suelos marginales presentes en un establecimiento, el técnico asesor y el productor tendrían que considerar que los esfuerzos para elevar su productividad deberían ser dirigidos, prioritariamente, a las mejores situaciones o sea aquellos suelos en los que se pueda lograr una mayor producción forrajera mediante una mejor aptitud de uso pastoril.

Una vez tomada la resolución de cual será el tipo de suelo a ser considerado, se tendría que asumir que los gastos máximos para mejorar las pasturas de cualquier suelo marginal deberían corresponder a aquellas aplicables a los sistemas extensivos de producción y no más (implantación simple y bajo mantenimiento).

En estas situaciones, no cabría la implementación de sistemas intensivos de producción dado que si bien el potencial productivo de la Región en un todo es alta, el potencial productivo de muchos suelos marginales es relativamente bajo.

Por otra parte, las áreas que ocupan algunos suelos marginales están constituídas por superficies pequeñas y localizadas, distribuidas al azar y en proporciones variables acompañando al suelo

principal y distribuidas al azar y en proporciones variables acompañando al suelo principal. Por lo tanto, no se justifica ni es posible un manejo específico, aparte del que recibe el suelo dominante.

La mayor o menor marginalidad de un suelo depende no sólo de sus propias características sino también de las acciones que el productor realice.

En tal sentido, se debe tener en cuenta que así como, mientras algunos suelos húmedos considerados marginales pueden pasar a ser bien utilizados y su vegetación mejorada sensiblemente siempre que se realicen obras de drenaje para eliminar el estancamiento de las aguas de lluvia; otros de profundidad media y con pendientes moderadas, sin ser marginales, pueden pasar a serlo simplemente por la aplicación equivocada de tecnologías desarrolladas para otras situaciones diferentes.

Por otra parte, se debe comprender que si bien los suelos pueden ser calificados, por sus caracteres dominantes, dentro de determinada aptitud; también se debe considerar la posibilidad de que su situación pueda ser revertida cuando la investigación permita disponer de nuevas tecnologías.

En todos los casos en que los costos de dichas tecnologías a ser aplicadas fueran accesibles y de baja complejidad para el productor, muchos suelos podrían mejorar su aptitud pastoril. El problema dependería entonces no ya de la falta de soluciones, sino primordialmente de definiciones económicas y financieras.

Por consiguiente, resulta imperativo enfatizar la existencia de una necesidad insoslayable de incrementar la productividad de los suelos con restricciones, a través de la búsqueda de soluciones a las mismas y del desarrollo de sistemas de producción apropiados, que permitan diversificar y elevar sus producciones animales. Todo ello, a los efectos de aumentar dichos rubros y por consiguiente obtener con ellos beneficios económicos que satisfagan al productor ganadero (Figura 2).

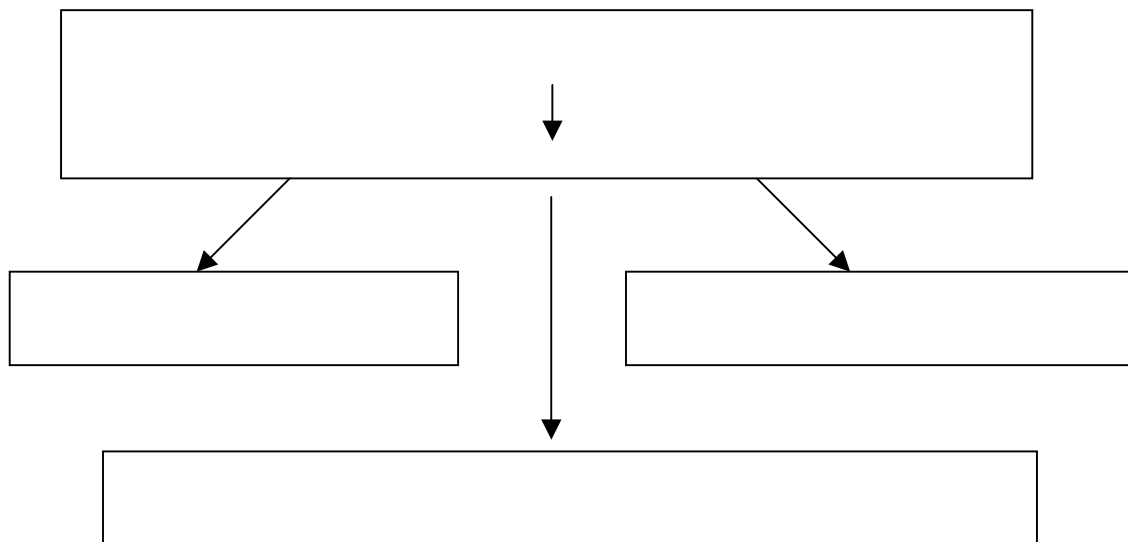


Figura 2. Metas de las mejoras para reducir las restricciones que imponen los suelos marginales.

Recursos básicos para reducir el impacto de las restricciones

Reducir el impacto de las principales restricciones ambientales de los suelos de aptitud de uso pastoril en cada establecimiento, debería ser uno de los objetivos impostergables de los técnicos asesores.

Esta presentación se realiza con la finalidad de ilustrar la importancia de la manipulación del agua del suelo (agua disponible), de la fertilidad (fósforo disponible) y de la oferta de distintas forrajeras (especies disponibles) en la producción de forraje para enfrentar las restricciones anteriormente citadas; ya que el tipo en el que se apoya una buena Producción de Forraje comprende los tres recursos mencionados (Figura 3).

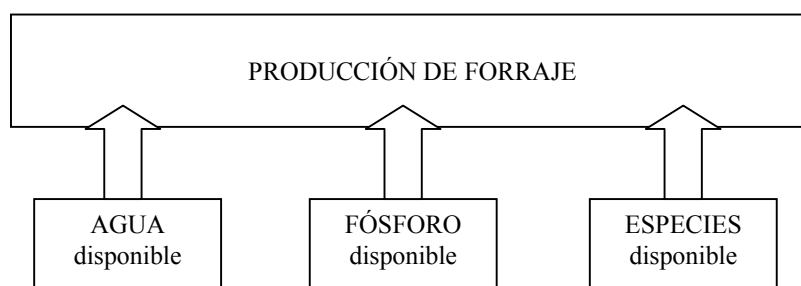


Figura 3. Recursos básicos para producir forraje en suelos con restricciones.

Agua disponible

La gran mayoría de los suelos de la Región Este presentan, como una de las limitantes más importantes para el crecimiento de las especies forrajeras, inconvenientes en sus regímenes hídricos. Éstos registran épocas de déficits y de excesos de agua marcados, los que afectan sensiblemente la absorción de los nutrientes y particularmente la del fósforo.

De acuerdo con los conocimientos disponibles, la importancia del agua para recuperar los nutrientes del suelo es innegable y no requiere mayores comentarios.

De ahí que, en los períodos de déficit de agua tan comunes en la Región, la absorción de fósforo y por lo tanto la respuesta de las plantas a este nutriente puede ser baja y los rendimientos de materia seca, pobres.

A los efectos de enfrentar estas situaciones Carámbula y Terra (2000) han propuesto acciones para alcanzar la máxima capacidad de agua disponible en el suelo, así como acciones para lograr el mejor uso de ésta, ante riesgos de déficits hídricos y sequías.

Pero así como la falta de agua puede causar inconvenientes serios en el crecimiento de las plantas forrajeras, un exceso de agua también puede afectar muy seriamente el comportamiento forrajero de las plantas y sus pasturas.

En efecto, en suelos saturados de agua y en consecuencia pobremente aireados, la falta de oxígeno a nivel de las raíces provoca decrementos en el movimiento del agua dentro de las plantas y en su crecimiento. De esta manera, aún cuando en estas circunstancias el agua y el fósforo no sean restrictivos, la limitante está dada por la falta de oxígeno (Ferry y Ward, 1959).

Se debe comprender entonces, que el principal efecto nocivo del exceso de agua en el suelo es el desplazamiento del aire de sus poros y por lo tanto del oxígeno de los mismos, ya de por sí disminuido naturalmente debido al consumo que hacen las raíces, así como los animales y los microorganismos aeróbicos que viven en el suelo.

De acuerdo con Carámbula y Terra (2000), el oxígeno es vital para que las raíces de las plantas forrajeras puedan absorber los nutrientes disueltos en el agua del suelo, ya que este proceso requiere de energía, la cual debe proceder de la respiración de las raíces.

Para ello se hace necesario mantener siempre los suelos bien estructurados, que faciliten la aireación, con la finalidad de favorecer la respiración de las raíces. Dicho efecto se logra mejor realizando la siembra mediante métodos tales como los laboreos mínimos o la siembra directa.

Fósforo disponible

Cualquiera sea el o los factores que limitan la productividad de un suelo y la intensidad con que estos intervengan, una de las condiciones ambientales que debe ser considerada con especial énfasis cuando se trata de dar soluciones a dichas limitantes, consiste ineludiblemente, en elevar la fertilidad, para lo cual se comenzará muy particularmente con los niveles de fósforo.

En este sentido, para que en estos suelos el sistema para producir forraje sea exitoso y eficiente, es imprescindible, primero elevar el nivel de **Fósforo** disponible en el suelo, de acuerdo con las leguminosas que serán sembradas; y segundo confiar en la fijación biológica del **Nitrógeno**, por parte de las mismas, en beneficio de las gramíneas asociadas.

Si bien estos dos nutrientes son muy importantes, se debe tener en cuenta que el escenario ambiental en el que crecen las pasturas afecta sensiblemente su comportamiento y será quien determine finalmente, su producción de forraje.

Así, los suelos de la Región Este pueden presentar, desde limitaciones fácilmente enfrentables y solucionables que permitirán realizar una agricultura conservadora o una agricultura forrajera; hasta limitaciones de difícil solución, al punto que los mismos deberían ser destinados irremediablemente a una ganadería pastoril extensiva, en los que sólo se puedan aplicar modificaciones menores a las limitaciones que los caracterizan.

De ahí entonces que el rol de los nutrientes y especialmente del fósforo en cada una de dichas situaciones debería ser diferente, acompañando las posibilidades de mejora que ofrecen las mismas así como las metas del productor.

En otras palabras, es posible afirmar que en aquellos ambientes con techos bajos de producción de materia seca, como son muchos de los suelos destinados a este tipo de pastura, se puede y se debe usar dosis menores, en particular de fósforo, desde que no es precisamente la fertilización fosfatada el único factor que fija el techo de rendimiento de muchos ambientes.

Por consiguiente, con referencia a las necesidades de elevar la fertilidad de estos suelos, la idea es tratar de minimizar tanto la fertilización fosfatada inicial como las refertilizaciones de mantenimiento a los efectos de que sólo cumplan una misión de balance o de reposición; pero teniendo siempre en cuenta que de todas maneras estas acciones deberían permitir sobrellevar las restricciones que presentan estos suelos desde el punto de vista de su fertilidad.

Las fuentes y dosis del fertilizante fosfatado, la época de aplicación (ya sea a cada cultivo individual o en secuencia de cultivos), la distribución de las refertilizaciones (según la persistencia productiva esperada), el techo de producción de forraje potencial o de la producción deseada, etc. deben ser tenidas en cuenta para definir para cada circunstancia, la utilización y aplicación de los diferentes tratamientos fosfatados a tener en cuenta.

También, se debe recordar que los requerimientos en fósforo son tan importantes para el crecimiento de la leguminosa en sí misma, como para la fijación de nitrógeno por parte de los nódulos. Esto ha sido demostrado tanto en trébol blanco como en lotus, ya que las concentraciones de fósforo en planta son más altas en leguminosas noduladas, que en leguminosas que disponen de nitrógeno mineral.

Además, resulta de interés tener en cuenta que a bajos niveles de fósforo las micorrizas asociadas a las leguminosas pueden favorecer un incremento en la absorción de las escasas cantidades de este nutriente disponibles para las plantas en estos suelos naturalmente pobres y muchos de ellos degradados.

Especies disponibles

Las especies y cultivares forrajeros son el primer insumo de una pastura y por lo tanto la elección de los mismos para iniciar las mejoras en los suelos con restricciones resulta particularmente determinante del éxito o el fracaso, aspecto éste que puede adquirir menor relevancia en los suelos sin restricciones.

En todas las situaciones, se debería recurrir a la siembra de leguminosas que sean eficientes en el uso del fósforo para producir materia seca y por lo tanto valiosas para reducir las necesidades por este nutriente en términos de la cantidad de fertilizante requerido por la cantidad total de forraje producido. Por ello el género *Lotus* ofrece grandes ventajas.

Si bien las leguminosas son las especies pratenses más valiosas e indispensables para poner en marcha las mejoras de los suelos con limitaciones, también es cierto que los géneros más aconsejables son *Lotus* y *Trifolium*. Varias de las especies que los componen, varían en sus exigencias de suelo, nutrientes y condiciones climáticas, lo que hace que la oferta de especies y cultivares sea amplia. Esto permite dar sin dificultades con la leguminosa apropiada para cada circunstancia.

Por consiguiente, el productor agropecuario puede recurrir a los géneros recomendados para cada situación y dentro de ellos a las especies y en particular a los cultivares de mejor adaptación, rústicos y versátiles, que ofrezcan una gran seguridad sin riesgos de fracasos tempranos. Dichos cultivares deberían presentar la más alta performance en ambientes variados, incluyendo condiciones contrastantes.

En cuanto a las gramíneas se debe destacar el hecho de que las especies de esta familia presentan, en general, requisitos muchos menos específicos que las leguminosas, y aunque la oferta de especies y cultivares que existe en la Región también es amplia, algunas de ellas presentan posibilidades muy seguras de éxito en suelos distintos.

En todas las situaciones el productor debería preferir especies y cultivares seleccionados en el país, o en el extranjero bajo climas homólogos.

Optar por especies y cultivares con exigencias en hábitats muy definidos y con manejos muy específicos resulta en una complicación extra y por lo tanto deben ser deshechados. Por otra parte sembrar forrajeras de comportamiento a campo poco conocido puede terminar siendo muy caro, ya que agregan un riesgo más a los ya mencionados con anterioridad.

Al desarrollar las limitantes de cada tipo de suelo en particular, se presentan las especies más adecuadas para enfrentar las mismas; pero no se mencionan los cultivares recomendados a tales efectos, dado que éstos deberían variar con los requerimientos de cada productor para satisfacer sus necesidades. Al respecto, una vez determinada la o las especies adecuadas para cada suelo y tipo de pastura, el productor deberá considerar los atributos de cada uno de los cultivares ofertados con relación a: época de siembra, precocidad, ciclo, época de floración, etc. a los efectos de optar por el que más le convenga.

Por último, en los suelos con grandes riesgos de sequías, particularmente en el verano, se aconseja utilizar siempre cultivares de floración temprana cualquiera sea la especie por la cual se haya optado. Ellos permitirá que el proceso de autoresiembrado se complete antes de que se registren los primeros déficits hídricos estivales.

Interacciones agua-fertilidad-especies

Si bien en este ítem se ha presentado en forma separada el agua disponible, el fósforo disponible y las especies disponibles, resulta de gran valor destacar que dichos parámetros interactúan entre sí, de tal manera que, una adecuada disponibilidad de agua es esencial para que las plantas de las distintas especies obtengan los nutrientes del suelo, de la forma más eficiente, muy particularmente el fósforo y el nitrógeno.

En tal sentido, se debe recordar que una provisión adecuada de agua, resulta básica para alcanzar la producción elevada de forraje, tanto en cantidad como en calidad. Esta meta solamente es lograda si los niveles de humedad disponibles son suficientes para que las plantas de las distintas especies puedan acceder a los nutrientes ofrecidos.

Ello significa que tanto un déficit como un exceso de agua puede afectar la eficiencia de las distintas especies en el uso de ambos nutrientes aquí considerados.

Información disponible para mejorar los suelos con restricciones de la Región Este

A los efectos de ofrecer la información disponible sobre la mejora de las pasturas ubicadas mayoritariamente sobre suelos con restricciones, se consideren tres situaciones correspondientes a las tres áreas más importantes de la Región Este, las cuales a grandes rasgos se refieren a la

topografía dominante en las mismas: zona de sierras, zona ondulada (incluye colinas y lomadas) y zona de llanuras.

A continuación se presentan los tipos de suelos correspondientes a las citadas zonas:

- Suelos superficiales y muy superficiales
- Suelos con horizontes B textural
- Suelos muy húmedos inundables y húmedos drenados

Suelos superficiales y muy superficiales

La mayoría de estos suelos son derivados principalmente de rocas cristalinas, y se caracterizan por mostrar la presencia de pedregosidad y de afloramientos rocosos. Se trata de suelos con alto riesgo de erosión al presentar muchos de ellos un relieve fuertemente ondulado, a veces quebrado.

Agua disponible

El escaso espesor de estos suelos determinado por la profundidad a la que se encuentra la roca madre, provoca fluctuaciones muy importantes en su capacidad de almacenaje de agua, con serios riesgos de sequías, siendo su vegetación natural tanto más rala, cuanto más superficial es el suelo en cuestión.

Estos suelos se saturan de agua muy fácilmente debido a su limitado espesor y a que su excesiva pendiente provoca pérdidas importantes del agua de lluvia por escurrimiento y por lo tanto es muy poca el agua que queda retenida en su perfil, por lo que sufren serios déficits hídricos en cualquier época aunque particularmente en verano.

De ahí entonces que en los suelos superficiales la producción de las especies introducidas, no sólo es menor a la presentada en otros suelos, por insuficiencia de agua en distintos momentos a lo largo del año; sino que además el fósforo se encuentra concentrado en el horizonte superficial, generalmente seco por las razones expuestas.

El manejo de estos suelos debe dirigirse a conservar la humedad en los mismos, mediante el no laboreo. Esta práctica ofrece un gran potencial para ser aplicada en zonas amplias de la Región y particularmente en épocas secas, así como proteger la pastura natural y promover la introducción de especies que permitan realizar pastoreos en forma precaria sin demasiadas exigencias. A tales efectos las especies deberían ser en lo posible de hábito semipostrado y/o postrado por lo que las especies rizomatosas, estoloníferas o decumbentes serían más adecuadas que las cespitosas de hábito de crecimiento erecto.

Fósforo disponible

La información disponible correspondiente a este ítem se presenta en la sección sobre suelos superficiales y muy superficiales.

Especies disponibles

Afortunadamente, se ha podido mantener una luz verde frente a los resultados registrados en cuestión de especies, tanto a nivel parcelario como a nivel de validación en establecimientos comerciales.

Ello se debe a la disponibilidad del lotus anual (*Lotus subbiflorus*) cv. El Rincón que no sólo presenta un balance muy positivo entre sus fortalezas y debilidades sino además una adaptación agroecológica de gran destaque.

Como leguminosa perenne merece ser citada *Lotus pedunculatus* la cual no sólo presenta muy buenos rendimientos de materia seca, sino además muy buena recuperación luego de déficits hídricos; así como una red de rizomas estoloneiformes y raíces que ofrecen una excelente cobertura en este tipo de suelos con pendientes y riesgos importantes de erosión. Aquí deben citarse los cultivares Maku, Sunrise y LE 627).

En cuanto a *Lotononis bainesu* cv. INIA Glencoe, leguminosa perenne de reciente liberación por INIA Tacuarembó y de buen comportamiento en suelos superficiales de Basalto, no se dispone de información suficiente para decidir su inclusión o no, entre las especies recomendadas para los suelos superficiales del Cristalino del Este.

En cuanto a las gramíneas deben destacarse para suelos con menos espesor el pasto lanudo (*Holcus lanatus*) y el raigrás (*Lolium multiflorum*) y en suelos con más espesor el dactilis (*Dactylis glomerata*).

Las citadas gramíneas y leguminosas presentan al productor diferentes opciones, según la profundidad y pendiente del suelo en cuestión, mediante la oferta de especies tanto anuales como perennes. De esta manera se podrá satisfacer los requerimientos para complementar diferentes composiciones botánicas y densidades del tapiz natural.

Suelos con horizonte B textural

Agua disponible

En los suelos con un horizonte B textural, la recarga de agua de éstos es acorde con la profundidad y espesor a los que se encuentra dicho horizonte arcilloso y compacto.

En estos suelos, se registra en invierno, períodos con excesiva humedad, los cuales por ser muy comunes complican el manejo adecuado de las pasturas por falta de piso. Por ello, de decidirse por algún tipo de mejora, se deberá preferir las partes más altas del predio y con las mejores vías de drenaje.

Por el contrario, cuando llega el verano las pasturas deben enfrentar una creciente y progresiva restricción hídrica como consecuencia de una demanda atmosférica alta, acompañada por temperaturas elevadas y una falta de reposición de agua por un proceso lento a muy lento de ascenso capilar debido a la presencia del horizonte B textural.

En estos suelos, el mencionado horizonte B, determina que la capacidad de almacenamiento de agua disponible sea bastante restringida (50-80mm en el mejor de los casos); pasando en breves lapsos a extremos contrastantes en el horizonte superficial, desde excesos a deficiencias hídricas.

La presencia de este horizonte afecta no sólo su régimen hídrico, sino además, en forma notable el uso y la eficiencia de los fertilizantes fosfatados.

En tal sentido, los fosfatos ubicados naturalmente debajo del horizonte B textural son en la práctica inaccesibles y por lo tanto muy poco utilizables por las pasturas, por lo que el crecimiento de las plantas depende básicamente del nivel de fertilidad del horizonte superficial. Cuanto más angosto sea éste, más rápido será el desabastecimiento de agua y fósforo, y mayor será la necesidad de reponerlos para satisfacer los requerimientos de las especies; teniendo en cuenta a su vez, que los sistemas radiculares de dichas plantas son reducidos por el poco espesor del suelo que pueden explorar.

Debido al exceso de humedad que sufren en invierno y teniendo en cuenta que no todas las especies forrajeras en el horizonte A logran extender sus raíces a través del horizonte B textural, las pasturas sobre estos suelos pueden estar expuestas a riesgos de sequía, en cualquier época del año, pero principalmente en verano, al poseer sistemas radiculares poco extendidos.

Dicha restricción hídrica estival, produce en los suelos que poseen el horizonte B relativamente superficial, una marcada escasez en la disponibilidad de forraje debido a que estos suelos, como ya se ha expresado, tienen reducida capacidad de almacenamiento de agua y muchas veces en que se produce un excesivo sobrepastoreo, el riesgo por la sequía se intensifica aún más.

Fósforo disponible

La información disponible correspondiente a este ítem se presenta en la sección suelos de Colinas y Lomadas (Suelos con horizonte B textural).

Especies disponibles

Las características que presentan estos suelos indican que las soluciones para ellos deberían involucrar primordialmente la siembra mediante técnicas de implantación por distintos métodos no convencionales como coberturas, laboreos mínimos y siembra directas.

Con referencia a las especies disponibles y recomendadas para sembrar en estos suelos, es posible incluir a *Lotus pedunculatus*, *Lotus corniculatus* y *Lotus subbiflorus* y los tréboles rojo (*Trifolium pratense*) y blanco (*Trifolium repens*). En cuanto a gramíneas raigrás (*Lolium multiflorum*), holcus (*Holcus lanatus*), festuca (*Festuca arundinacea*), bromus (*Bromus auleticus*) y paspalum (*Paspalum dilatatum*) prosperan sin dificultades. En todas ellas, la aplicación del manejo más adecuado será determinante de su persistencia productiva.

Suelos muy húmedos inundables y húmedos drenados

Agua disponible

En estos suelos, el drenaje pobre es probablemente el factor más importante que afecta a la fertilidad y a todas las especies forrajeras. Sin embargo, se debe tener presente que normalmente las leguminosas son más afectadas que las gramíneas.

Por lo tanto, resulta importante enfatizar algunas medidas que deberían aplicarse para atenuar los efectos nocivos del exceso de agua, particularmente sobre los sistemas radiculares. Para lograr este objetivo se tendrá que facilitar el drenaje tanto superficial como interno del suelo, sembrar especies tolerantes al exceso de agua y optar por cultivares resistentes a enfermedades.

No obstante, parecería que los suelos saturados, en ciertas oportunidades podrían favorecer el movimiento libre de los rizobios en el agua hacia los horizontes inferiores, ya que ellos no son transportados por las raíces.

Se debe recordar que como ya fue expuesto previamente, el principal efecto nocivo del exceso de agua en un suelo es el desplazamiento del oxígeno. Este elemento resulta vital para que las raíces de las especies forrajeras puedan absorber los nutrientes disueltos en el agua del suelo, entre otros el fósforo. Ello se debe a que el proceso de absorción requiere de energía, la cual debe proceder de la respiración de las raíces.

Los suelos muy húmedos inundables corresponden casi en su totalidad a gleysoles, los cuales pasan gran parte del año con exceso de agua y con grandes riesgos de inundaciones, por lo que aún siendo de uso exclusivo ganadero, su uso pastoril es restringido.

Dicha aptitud de uso pastoril de estos suelos dependerá de la severidad con que se presente el régimen de lluvias y de las características intrínsecas de los mismos, así como de las obras de drenaje y control de inundaciones que se pongan en marcha. No obstante, debido a que poseen una napa freática alta presentan de todas maneras humedad excesiva en invierno, pero escaso riesgo de sequía en verano.

En cuanto a los suelos húmedos drenados, éstos están formados básicamente por planosoles. Ellos presentan exceso de agua en invierno como consecuencia de la presencia de un horizonte B compacto, el cual impide que no sólo se registre un buen almacenaje de agua sino además el desarrollo de sistemas radiculares profundos. Estos efectos atentan contra el buen crecimiento y desarrollo de las plantas; lo que conduce a que estos suelos sean particularmente sensibles a las sequías.

En estos suelos, se debe considerar también que la disponibilidad de fósforo en los mismos es incrementada cuando se registran situaciones de anaerobiosis (falta de oxígeno). Bajo estas condiciones se produce una disminución en la inmovilización del fósforo del fertilizante mediante la reducción de los compuestos de hierro.

Este comportamiento se observa en los suelos arrozados, donde la disponibilidad incrementada de fósforo permite realizar la siembra de pasturas en que la necesidad de aplicar fertilizaciones fosfatadas pueden ser bajas, aspecto fundamental sobre el cual se basa en gran parte la tecnología de

bajo costo desarrollada en la Estación Experimental del Este en las rotaciones arroz-pasturas (Mas, 1978; Grierson y otros, 1979).

No obstante, una aireación insuficiente durante los períodos de excesos de agua, provocaría no sólo atrasos en el calentamiento del suelo y por consiguiente un acortamiento de la estación de crecimiento, sino también fallas en la fijación de nitrógeno por parte de las bacterias, al no disponer éstas de suficiente oxígeno. Asimismo, en aquellos períodos de exceso de agua, el potencial de rendimiento es generalmente bajo y un incremento en las dosis de fertilizantes, no se ven reflejados en mejores producciones forrajeras.

Fósforo disponible

La información correspondiente a este ítem se presenta en la sección Zona de Llanuras (Suelos muy húmedos inundables y húmedos drenados).

Especies disponibles

En estos suelos, la elección de las especies deberá considerar si los suelos presentan subsuelos impermeables que limitan la capacidad de almacenaje de agua, o si se trata de suelos con napa freática alta. Si bien ambos tipos de suelos registrarán humedad excesiva en invierno, mientras el primero presenta riesgos de sequía en verano, el segundo muestra escasos riesgos de sequía en dicha estación. Por lo tanto, se deberá tener en cuenta si los suelos se caracterizan por ser húmedos inundados gran parte del año o si son húmedos drenados con excesos de agua por períodos cortos del año.

A pesar de que los suelos muy húmedos inundables son generalmente fértiles, hoy día se dispone de muy pocas especies que soporten dichas condiciones de excesiva humedad, el lotus rizomatoso (*Lotus pedunculatus*) y el trébol frutilla (*Trifolium fragiferum*) son citados en todo el mundo como leguminosas muy adaptadas a las citadas condiciones, lo cual coincide con los registros efectuados sobre el comportamiento de estas especies en Uruguay.

Dado que un porcentaje elevado de los suelos húmedos drenados comprendidos en la Región Este ya ha sido arrojado, las mejoras programadas para gran parte de su superficie deberían efectuarse bajo el régimen arrocero-pastoril, aunque en ciertas zonas es exclusivamente pastoril.

Entre las leguminosas invernales anuales que son tolerantes al hábitat que presentan dichos suelos húmedos drenados deben citarse trébol subterráneo (*Trifolium subterraneum*), trébol persa (*Trifolium resupinatum*), trébol alejandrino (*Trifolium alexandrinum*) y lotus anual (*Lotus subbiflorus*).

Entre las leguminosas perennes se incluyen trébol blanco (*Trifolium repens*), lotus de los bajos (*Lotus tenuis*) y lotus rizomatoso (*Lotus pedunculatus*). En los casos en que sólo se pretenda una vida corta se pueden sembrar lotus común (*Lotus corniculatus*) y trébol rojo (*Trifolium pratense*).

Entre las gramíneas invernales anuales tolerantes al hábitat que imponen los suelos drenados se pueden citar: raigrás anual (*Lolium multiflorum*), raigrás bianual (*Lolium spp*), pasto lanudo (*Holcus lanatus*), y entre las perennes: bromus (*Bromus auleticus*) y festuca (*Festuca arundinacea*), así como raigrás perenne (*Lolium perenne*) en climas fríos.

Finalmente, algunas gramíneas estivales perennes han demostrado muy buen comportamiento en los suelos bajos de la Región. Tal es el caso de la nativa *Paspalum dilatatum* y de varias introducidas en especial *Setaria sphacellata*, así como *Panicum maximum*, *Chloris gayana* y *Cenchrus ciliaris* las cuales se han mostrado como muy adaptadas a las condiciones predominantes en los suelos con restricciones de las llanuras del Este.

Comentarios finales

Las mejoras de las pasturas ubicadas sobre suelos con limitaciones, conocidas generalmente por términos imprecisos, tales como mejoramientos extensivos y mejoramientos de campo, han demostrado ser tecnologías simples, válidas y confiables, para complementar la producción restringida de forraje de dichas pasturas naturales.

Estas tecnologías requieren una inversión inicial menor que la necesaria para poner en marcha una mejora convencional y deberían basarse en tres pilares de indiscutible valor tanto básico como práctico: el agua, el fósforo y las especies forrajeras, muy particularmente las leguminosas. El agua porque determina el grado de aprovechamiento del fertilizante fosfatado que se aplique y las especies forrajeras porque permiten optar por aquellas más eficientes del uso del fósforo utilizado. Así, el techo de producción de forraje al que se llegue o el que se pretenda alcanzar es afectado por los tres recursos mencionados, constituyendo la fertilización fosfatada el pivot principal.

Por último, no se debe olvidar que las mejoras de los suelos con restricciones no admiten grandes gastos y que serán tanto más rentables cuanto menores y más eficientes sean utilizados los citados recursos disponibles.

Si bien, en muchos casos las soluciones propuestas para minimizar ciertos inconvenientes de estos tipos de suelos no son totalmente eficientes, de todas maneras pueden llevar a reducir los aspectos negativos de ellos a grados tolerables y de sus pasturas a niveles aceptables, siempre que los costos para lograr la mejora sean redituables.

Bibliografía consultada

Carámbula, M. y Terra, J. 2000. Las Sequías: Antes, durante y después. INIA Treinta y Tres. Boletín de Divulgación 74. 133 p.

Durán, A. 1985. Los Suelos del Uruguay, Ed. Hemisferio Sur. 398 p.

Ferry, J.F. y Ward, H.S. 1959. Fundamentals of Plant Physiology. The MacMillian Company. New York. 288 p.

Grierson, J.; Bonilla, O. y Acevedo, A. 1979. Producción de carne en rotaciones con arroz. In: Jornada idem. 31.101979 CIAAB. Estación Experimental del Este. Uruguay.

Mas, C. 1978 Región Este. *In* Pasturas IV. M.A.P. Centro de Investigaciones Agrícolas "Alberto Boerger" Miscelánea No. 18. pp 37-64. Montevideo.

Fertilización fosfatada
2. Zona de Sierras
Suelos superficiales y muy superficiales
Región Este

2.1. Fertilización fosfatada sobre mejoramientos de campo con lotus cv. El Rincón y lotus cv. Maku en suelos superficiales(1)

Walter Ayala⁽²⁾, Raúl Bermúdez⁽³⁾

Introducción

Lotus subbiflorus cv. El Rincón (lotus El Rincón) y *Lotus pedunculatus* cv. Grasslands Maku (lotus Maku) se han destacado notoriamente en los ensayos de evaluación realizados en suelos superficiales, tanto en producción de forraje como en persistencia. El objetivo de este trabajo consiste en evaluar diferentes fuentes y dosis de fertilizante fosfatado en mejoramientos de campo con estas leguminosas para suelos superficiales.

Materiales y Métodos

El estudio se lleva a cabo en el Campo Experimental de Arbolito en Cerro Largo, sobre la Unidad de Suelos de Sierra de Polanco, con las siguientes características (cuadro 1).

Cuadro 1. Análisis químico del suelo

Profundidad (cm)	pH (agua)	M. Orgánica (%)	P(Ac. cítrico) (µg P/g)	K (meq/100 g)	Al (meq/100 g)
0-7.5	5.4	5.1	6.4	0.42	0.31
7.5-15.0	5.3	2.9	2.6	0.16	0.51

El 25/03/2002 se instalaron dos experimentos, uno con lotus El Rincón y otro con lotus Maku a razón de 5 y 3 kg/ha de semilla respectivamente, sembrados al voleo sobre el tapiz natural previamente cortado a 2.5 cm de altura, evaluándose diferentes fuentes y dosis de fertilización fosfatada (cuadro 2).

Las determinaciones incluyen la producción de materia seca total y de sus componentes (lotus y resto). Se evalúa la semillazón de manera indirecta a través del estudio de las reservas de semilla presentes en el suelo y el desarrollo de los rizomas en el caso de lotus Maku. Asimismo en el otoño de cada año se realiza el muestreo de suelos, a los efectos de realizar los análisis químicos correspondientes. El presente trabajo resume los resultados alcanzados en los dos primeros años de la evaluación (2002-2003).

(1) El presente artículo tiene ampliaciones respecto al publicado en la Serie Actividades de Difusión No. 324 de INIA Treinta y Tres (2003).

(2) Ing. Agr., PhD, Programa Plantas Forrajeras, INIA Treinta y Tres

(3) Ing. Agr., MPhil, Programa Plantas Forrajeras, INIA Treinta y Tres

Cuadro 2. Tratamientos de fertilización (fuentes y dosis) evaluados en ambos ensayos

Fuente	Fórmula (kg de P ₂ O ₅ cada 100 kg de fertilizante)	Siembra (kg/ha de P ₂ O ₅ en el 2002)	Refertilización (kg/ha de P ₂ O ₅ en el 2003)
Fosforita Natural de Gafsa	0-10/28-0	0	0
		30	30
		60	0
		90	30
			0
Hyperfos	0-14/27-0	60	30
Superfosfato de Calcio	0-21/23-0	60	0
			30

Resultados y Discusión

A. Mejoramiento con lotus El Rincón

PRIMER AÑO

Respuesta a la fertilización inicial con Fosforita natural

La producción de forraje se situó entre 11558 y 13324 kg/ha de materia seca para niveles de fertilización entre 0 y 90 kg/ha de P₂O₅ respectivamente. Los tratamientos fertilizados no difirieron significativamente entre sí. El aporte de la leguminosa varió entre 2225 y 3990 kg/ha de materia seca para 0 y 90 kg/ha de P₂O₅ respectivamente, diferenciándose todos los tratamientos entre sí (Cuadro 3). No se encontró respuesta en producción de las especies nativas frente a la fertilización inicial. Se encontró una respuesta lineal entre 0 y 90 kg/ha de P₂O₅ aplicado en producción de leguminosa, con un aporte de 18.8 kg/ha MS/kg/ha de P₂O₅ aplicado ($y=2232+18.8x$, $R^2=0.98$, $p<0.05$, $n=4$).

Cuadro 3. Respuesta del mejoramiento en producción de forraje total, fracción lotus El Rincón y especies nativas a la fertilización con Fosforita natural aplicada a la siembra en la producción del primer año de la pastura.

Nivel (kg/ha de P ₂ O ₅)	Forraje total	Lotus El Rincón	Especies nativas
0	11558 b	2225 d	9333
30	12745 a	2874 c	9871
60	12677 ab	3224 b	9454
90	13324 a	3990 a	9334
Significancia	*	**	ns

a, b, c, d: medias con letras distintas dentro de una misma columna son significativamente diferentes entre sí; (LSD 0.05); ns, no significativo ; *, $p<0.05$; **, $p<0.01$

Cuadro 4. Efecto de la fertilización inicial con Fosforita natural en la producción de semillas y peso de mil semillas de lotus EL Rincón evaluado en el otoño del primer año.

Nivel (kg/ha de P ₂ O ₅)	Producción de semillas (kg/ha)	Semillas producidas (nº/ m ²)	Peso de mil semillas (g)
0	100	20250	0.49
30	71	14600	0.49
60	91	19100	0.48
90	119	24350	0.49
Significancia	ns	ns	--

ns, no significativo ; --, sin estadística

Al año de sembrado el mejoramiento se evaluó el banco de semillas de la leguminosa, no encontrándose diferencias significativas en la producción de semillas (kg/ha), en el número de semillas/m² y en el peso de mil semillas por efecto del nivel de fertilización aplicado (Cuadro 4).

Respuesta a diferentes fuentes fosfatadas

La producción total del mejoramiento fue un 14% superior cuando la fuente utilizada fue Fosforita natural a cuando fue Superfosfato, mostrando el Hyperfos un comportamiento intermedio (Cuadro 5). La producción de la leguminosa se vió afectada significativamente por el tipo de fuente utilizada, siendo la eficiencia relativa de la Fosforita natural y del Hyperfos un 29 y 14% superiores al Superfosfato respectivamente. No se detectaron diferencias en la producción de las especies nativas como consecuencia de las diferentes fuentes utilizadas.

Cuadro 5. Producción de forraje total anual y de los distintos componentes (MS kg/ha) de la pastura en respuesta a la fuente de fósforo utilizada para una dosis inicial de 60 kg/ha de P₂O₅ y eficiencia relativa (ER) de las distintas fuentes en la producción de la leguminosa.

Fuente	Forraje Total	Lotus El Rincón	Especies nativas	ER
Fosforita Natural	12678 a	3224 a	9454	129
Hyperfos	12066 ab	2857 b	9209	114
Superfosfato	11165 b	2496 c	8669	100
Significancia	*	**	ns	--

a, b, c: medias con letras distintas dentro de una misma columna son significativamente diferentes entre sí; V *, p<0.05; **, p<0.01; ns, no significativo

Cuadro 6. Efecto de la fuente de fósforo en la producción de semillas y peso de mil semillas de lotus El Rincón en el otoño del primer año.

Fuente	Producción de semillas (kg/ha)	Semillas producidas (nº/ m ²)	Peso de mil semillas (g)
Fosforita Natural	91	19100	0.48
Hyperfos	89	18550	0.48
Superfosfato	46	9000	0.51
Significancia	ns	ns	--

ns, no significativo; --, sin estadística

En el cuadro 6 se puede destacar que las diferentes fuentes no tuvieron efecto en la producción de semillas, en el número de semillas producidas por unidad de superficie y en el peso de mil semillas.

SEGUNDO AÑO

Efecto residual de la fertilización inicial con Fosforita natural

En la producción del segundo año no se encontraron efectos significativos de la fertilización inicial en la producción de forraje total y en la producción de las especies nativas. La producción de la leguminosa se situó entre 1470 y 2075 kg/ha de materia seca para 0 y 90 kg/ha de P_2O_5 de Fosforita natural aplicada en el año previo respectivamente (Cuadro 7). El aporte de la leguminosa para los tratamientos fertilizados sólo mostró diferencias entre 30 y 90 kg/ha de P_2O_5 de Fosforita natural.

Cuadro 7. Efecto del nivel inicial y de la refertilización en la producción de forraje total (MST), lotus El Rincón y especies nativas de un mejoramiento de 2do año fertilizado con Fosforita natural.

Fuente	MST	L. El Rincón	Especies nativas
Nivel inicial			
0	6770	1470 c	5299
30	7063	1593 bc	5470
60	7220	1838 ab	5382
90	7944	2075 a	5869
Refertilización			
0	6485 b	1272 b	5213 b
30	8014 a	2217 a	5797 a
Significancia			
Dosis inicial	ns	**	ns
Refertilización	**	**	*
Inicial*Refertilización	ns	ns	ns

a, b, c: medias con letras distintas dentro de una misma columna son significativamente diferentes entre sí ; (LSD 0.05), *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ns, no significativo

Efecto de la refertilización con Fosforita natural

La aplicación de 30 kg/ha de P_2O_5 de Fosforita natural al segundo año mostró un efecto significativo en la producción de forraje, leguminosa y especies nativas, con respuestas de 24, 74 y 11% respectivamente (Cuadro 7).

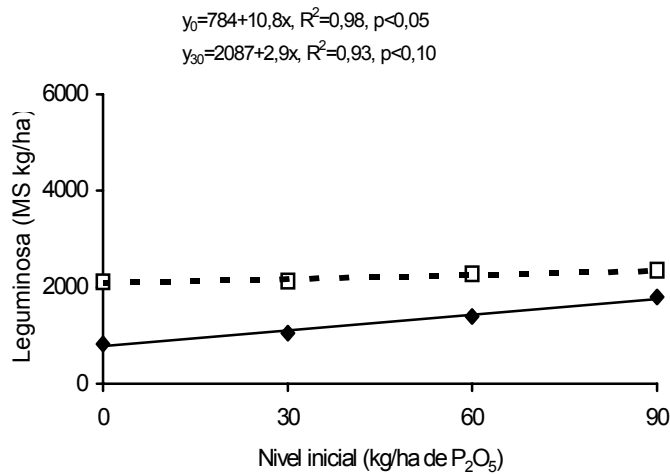


Figura 1. Efecto residual de la fertilización fosfatada a la siembra bajo dos niveles de refertilización con Fosforita natural (0 — ◆ y 30 --- □ kg/ha P₂O₅) en la producción del 2do. año de la fracción leguminosa (lotus El Rincón).

En el mejoramiento no refertilizado al segundo año se observó una respuesta de 10.8 kg/ha de materia seca de lotus El Rincón por kg/ha de P₂O₅ aplicado, mientras que en el mejoramiento refertilizado con 30 kg/ha de P₂O₅ no se encontró un modelo de ajuste significativo (P<0.10). La producción de la leguminosa en el mejoramiento refertilizado superó en todos los niveles de fertilización inicial al mejoramiento sin refertilización (Figura 1).

Respuesta a diferentes fuentes fosfatadas

Al segundo año, la producción de materia seca total no fue afectada por el tipo de fuente, encontrándose respuesta a la refertilización únicamente para la Fosforita natural, con un 24% de incremento al refertilizar con 30 kg/ha de P₂O₅. Las especies nativas no fueron afectadas ni por el tipo de fuente ni por el nivel de refertilización empleado (Cuadro 8).

La producción de la leguminosa resultó afectada únicamente por el tipo de fuente empleado cuando en el segundo año se refertilizó, siendo la eficiencia relativa promedio de la Fosforita natural y del Hyperfos 138% respecto al Superfosfato (100%).

Cuadro 8. Efecto de la fuente y el nivel de refertilización en la producción de forraje total, lotus El Rincón y especies nativas de un mejoramiento de 2do año fertilizado a la siembra con 60 kg/ha de P₂O₅.

Fuente	Refertilización (kg/ha P ₂ O ₅)	Forraje total	L. El Rincón	Especies nativas
Fosforita natural	0	6452 c	1397 b	5055
Hyperfos	0	7466 abc	1732 b	5734
Superfosfato	0	7011 bc	1587 b	5424
Fosforita natural	30	7988 ab	2280 a	5708
Hyperfos	30	8592 a	2387 a	6205
Superfosfato	30	7612 abc	1685 b	5927
Significancia				
Fuente		ns	*	ns
Refertilización		*	**	ns
Fuente*Refertilización		ns	*	ns

a, b, c: medias con letras distintas dentro de una misma columna son significativamente diferentes entre sí (LSD 0.05); ns, no significativo; **, p<0.01; *, p<0.05

Consideraciones finales

Año de implantación

- La producción de forraje total del mejoramiento mostró respuesta importante a la fertilización con Fosforita natural a la siembra.
- La producción de forraje de la especie introducida mostró un muy buen aporte al mejoramiento cuando no se lo fertilizó a la siembra, producto de que el suelo tenía 6 ppm de fósforo, aunque respondió hasta dosis de 90 kg/ha de P₂O₅ con Fosforita natural.
- La eficiencia relativa respecto al Superfosfato de la Fosforita natural y del Hyperfos fue de 129 y 114 respectivamente en el aporte de la leguminosa.
- La producción de semillas en el primer año no fue afectada por el nivel de fósforo aplicado a la siembra ni por las fuentes utilizadas.

Segundo año

- No se encontró un efecto residual de la fertilización inicial en producción de forraje total así como en el aporte de las especies nativas, mientras que ambas respondieron significativamente a la refertilización.
- En lotus El Rincón se encontró un efecto residual de la fertilización inicial, con una respuesta de 41% al pasar de 0 a 90 kg/ha de P₂O₅, y se registró una respuesta a la refertilización de 74%.
- No se registró efecto del tipo de fuente empleado en la producción de forraje total y especies nativas. De las mismas, la única fuente que respondió a la refertilización fue la Fosforita natural.
- El tipo de fuente afectó la producción de leguminosa únicamente cuando se refertilizaron los mejoramientos, mostrando en promedio la Fosforita y el Hyperfos una eficiencia relativa de 138% respecto al Superfosfato.

B. Mejoramiento con lotus Maku

PRIMER AÑO

Respuesta a la fertilización inicial con Fosforita natural

La producción de forraje se situó entre 7288 y 8308 kg/ha de materia seca para niveles de fertilización entre 0 y 90 kg/ha de P_2O_5 respectivamente (Cuadro 9). No se logró un modelo de ajuste significativo entre producción de materia seca y fertilización inicial. El aporte de la leguminosa varió entre 19 y 57% para 0 y 90 kg/ha de P_2O_5 respectivamente, mostrando una respuesta de tipo lineal de 28.3 kg/ha MS/kg/ha de P_2O_5 aplicado respectivamente ($y=1647+28.3x$, $r^2=0.96$, $p<0.05$, $n=4$). Se registraron diferencias significativas en la producción de las especies nativas, con un efecto depresivo en su contribución en los niveles de 60 y 90 kg/ha de P_2O_5 .

Cuadro 9. Respuesta del mejoramiento en producción de forraje total y de la fracción lotus Maku a la fertilización con Fosforita natural aplicada a la siembra en la producción del primer año de la pastura.

Nivel (kg/ha de P_2O_5)	Forraje total	Lotus Maku	Especies nativas
0	7745	1442 d	6003 a
30	8308	2831 c	5477 a
60	7443	3298 b	4145 b
90	7288	4121 a	3167 c
Significancia	ns	**	**

a, b, c, d: medias con letras distintas dentro de una misma columna son significativamente diferentes entre sí (LSD 0.05); ns, no significativo ; **, $p<0.01$

Al año de implantado el mejoramiento, la fertilización a la siembra no mostró efecto en la densidad, diámetro y peso de los rizomas (Cuadro 10). Se puede destacar el importante desarrollo de los rizomas en el primer año de vida del mejoramiento con esta especie, mostrando valores entre 56 y 127 metros de rizomas por metro cuadrado.

Cuadro 10. Efecto de la fertilización inicial con Fosforita natural en la densidad, diámetro y peso de los rizomas de lotus Maku evaluado al año de sembrado el mejoramiento.

Nivel (kg/ha de P_2O_5)	Densidad (m/m ²)	Diámetro (mm)	Peso (kg/ha)
0	56	1.1	40
30	101	1.6	81
60	76	1.5	48
90	127	1.9	81
Significancia	ns	ns	ns

ns, no significativo

El banco de semillas muestra una importante respuesta a la fertilización inicial cuando se pasa de 0-30 a 60-90 kg/ha de P_2O_5 (Cuadro 11). Se puede destacar que con una fertilización a la siembra de 60 kg/ha de P_2O_5 se agregan en el orden de los 49 kg de semilla al banco de semillas en el primer año de vida del mejoramiento.

Cuadro 11. Efecto de la fertilización inicial en base a Fosforita natural en la producción de semillas y peso de mil semillas de lotus Maku evaluado al año de sembrado el mejoramiento.

Nivel (kg/ha de P ₂ O ₅)	Producción de semillas (kg/ha)	Semillas producidas (no./ m ²)	Peso de mil semillas (g)
0	6 b	750 b	0.83
30	8 b	1150 b	0.70
60	49 a	6100 a	0.81
90	41 a	5400 a	0.76
Significancia	*	*	--

a, b: medias con letras distintas dentro de una misma columna son significativamente diferentes entre sí (LSD 0.05); *, p<0.05; --, sin estadística

Respuesta a diferentes fuentes fosfatadas

En el cuadro 12 se puede observar que la producción del total del mejoramiento y las especies nativas no fueron afectadas por la fuente utilizada. En cambio la producción de la leguminosa resultó afectada significativamente por el tipo de fuente utilizada, siendo la eficiencia relativa de la Fosforita natural y del Hyperfos un 11 y un 24% superiores al Superfosfato respectivamente.

Cuadro 12. Producción de forraje total anual y de los distintos componentes (MS kg/ha) de la pastura en respuesta a la fuente de fósforo utilizada para una dosis inicial de 60 kg/ha de P₂O₅ y eficiencia relativa (ER) de las distintas fuentes en la producción de la leguminosa.

Fuente	Forraje Total	Lotus Maku	Especies nativas	ER
Fosforita Natural	7443	3298 ab	4145	111
Hyperfos	7881	3682 a	4199	124
Superfosfato	7699	2980 b	4719	100
Significancia	ns	*	ns	--

a, b: medias con letras distintas dentro de una misma columna son significativamente diferentes entre sí (LSD 0.05); *, p<0.05; ns, no significativo; --, sin estadística

No se detectó un efecto en el desarrollo del sistema de rizomas así como en la producción de semillas atribuible al uso de diferentes fuentes de fósforo (Cuadros 13 y 14).

Cuadro 13. Efecto de la fertilización inicial con diferentes fuentes de fósforo en la densidad, diámetro y peso de los rizomas de lotus Maku en el otoño del primer año.

Fuente	Densidad (m/m ²)	Diámetro (mm)	Peso (kg/ha)
Fosforita Natural	76	1.5	48
Hyperfos	74	1.6	37
Superfosfato	147	2.0	91
Significancia	ns	ns	ns

ns, no significativo

Cuadro 14. Efecto de la fuente de fósforo con una fertilización inicial de 60 kg/ha de P₂O₅ en la producción de semillas y peso de mil semillas de lotus Maku en el otoño del primer año.

Fuente	Producción de semillas (kg/ha)	Semillas producidas (nº./ m ²)	Peso de mil semillas (g)
Fosforita Natural	49	6100	0.81
Hyperfos	16	2150	0.74
Superfosfato	25	3300	0.76
Significancia	ns	ns	--

ns, no significativo; --, sin estadística

SEGUNDO AÑO

Efecto residual de la fertilización inicial con Fosforita natural

No se encontró un efecto significativo de la fertilización inicial en la producción de forraje total del 2do año (Cuadro 15). Al pasar del nivel inicial 0 a 90 kg/ha P_2O_5 , la producción de lotus Maku se incrementó un 55%, mientras que la producción de las especies nativas se redujo un 40%.

Cuadro 15. Efecto del nivel inicial y refertilización anual en la producción de forraje total, lotus Maku y especies nativas de un mejoramiento de 2do año fertilizado con Fosforita natural.

Fuente	Forraje total	L. Maku	Especies nativas
Nivel inicial			
0	7702	2846 c	4856 a
30	8049	3364 bc	4685 a
60	7439	3907 ab	3532 b
90	7333	4425 a	2907 b
Refertilización			
0	7345	3138 b	4207
30	7916	4133 a	3783
Significancia			
Nivel inicial	ns	**	**
Refertilización	ns	**	ns
Inicial*Refertilización	ns	ns	ns

a, b, c: medias con letras distintas dentro de una misma celda son significativamente diferentes entre sí (LSD 0.05 ; ns, no significativo; **, $p < 0.01$)

Efecto de la refertilización con Fosforita natural

La aplicación al 2do año de 30 kg/ha de P_2O_5 no afectó la producción de forraje total de materia seca ni de las especies nativas (Cuadro 15). La producción de la leguminosa se incrementó un 32% por efecto de la refertilización.

En el mejoramiento no refertilizado al segundo año se encontró un ajuste significativo de tipo cuadrático para la producción de la leguminosa, mostrando un efecto residual a partir de 60 kg/ha P_2O_5 (Figura 2). Para el mejoramiento refertilizado, también se encontró una respuesta cuadrática mostrando los mayores incrementos entre 0 y 30 kg/ha P_2O_5 .

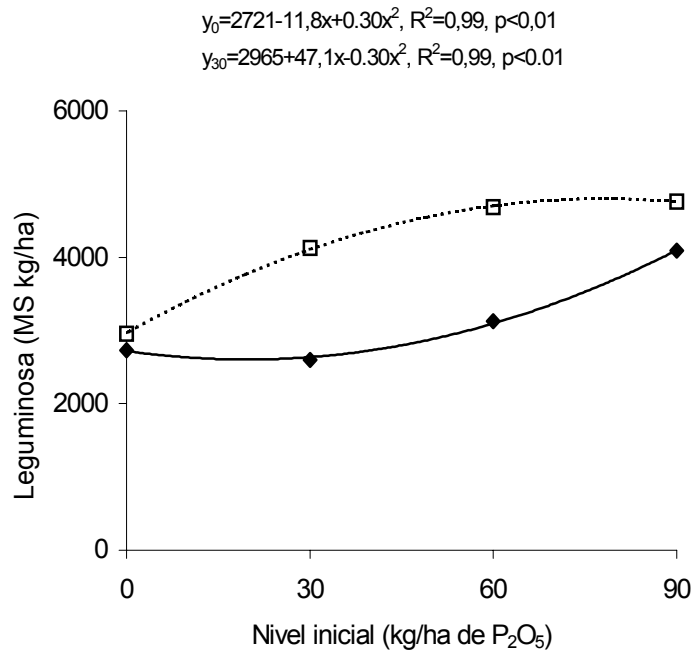


Figura 2. Efecto residual de la fertilización fosfatada a la siembra bajo dos niveles de refertilización con Fosforita natural (0 — ◆ y 30 --- □ kg/ha P₂O₅) en la producción del 2do. año de la fracción leguminosa (lotus Maku).

Respuesta a diferentes fuentes fosfatadas

Se encontró una respuesta diferente para las distintas fuentes dependiendo del nivel de refertilización en la producción total, lotus Maku y especies nativas del mejoramiento (Cuadro 16). Para la producción de materia seca total, no se encontró diferencias entre fuentes para los tratamientos que no recibieron refertilización. En los refertilizados, la Fosforita natural superó al Superfosfato y el Hyperfos presentó un comportamiento intermedio.

En lotus Maku, se encontró una superioridad del Hyperfos sobre la Fosforita natural con un comportamiento intermedio del Superfosfato para los tratamientos sin refertilizar. Para el caso de los tratamientos refertilizados, la Fosforita natural superó en un 37% al promedio de las otras fuentes (Cuadro 16).

El aporte de las especies nativas en el caso de los tratamientos sin refertilización mostró una superioridad del Superfosfato de 34% sobre el promedio de las restantes fuentes. Por su parte, para los tratamientos refertilizados no se detectaron diferencias significativas en la producción de las especies nativas.

Cuadro 16. Efecto de la fuente y el nivel de refertilización en la producción de forraje total, lotus Maku y especies nativas de un mejoramiento de 2do año fertilizado a la siembra con 60 kg/ha de P₂O₅.

Fuente	Refertilización (kg/ha P ₂ O ₅)	Forraje total	L. Maku	Especies nativas
Fosforita natural	0	6342 b	3132 c	3211 b
Hyperfos	0	7439 ab	4231 ab	3208 b
Superfosfato	0	7948 ab	3640 bc	4308 a
Fosforita natural	30	8537 a	4683 a	3854 ab
Hyperfos	30	7316 ab	3623 bc	3694 ab
Superfosfato	30	6614 b	3197 c	3417 b
Significancia				
Fuente		ns	ns	ns
Refertilización		ns	ns	ns
Fuente*Refertilización		*	*	*

a, b, c: medias con letras distintas dentro de una misma columna son significativamente diferentes entre sí; ns, no significativo; **, p<0.01

Consideraciones finales

Año de implantación

- La producción de forraje total del mejoramiento no fue afectada significativamente por la fertilización a la siembra.
- La producción de forraje de la especie introducida mostró un muy buen aporte al mejoramiento cuando no se lo fertilizó a la siembra producto de que el suelo tenía 6 ppm de fósforo y a su vez respondió en forma importante hasta las dosis máxima evaluada.
- El uso del Hyperfos mostró ventajas sobre el uso del Superfosfato en el aporte de la leguminosa, mostrando la Fosforita natural un comportamiento intermedio.
- El desarrollo de los rizomas no fue afectado ni por la fuente utilizada ni por el nivel de fósforo aplicado a la siembra.
- La producción de semillas no fue afectada por la fuente utilizada y mostró una importante respuesta al incrementar la fertilización entre 30 y 60 kg/ha de P₂O₅.

Segundo año

- No se encontró un efecto residual de la fertilización inicial ni del nivel de refertilización en la producción de forraje total.
- En lotus Maku se encontró un efecto residual de la fertilización inicial en los tratamientos no refertilizados a partir de los 60 kg/ha de P₂O₅ aplicado, mientras que en los tratamientos refertilizados las mayores respuestas estuvieron entre 0 y 30 kg/ha de P₂O₅ aplicado.
- Se encontró un comportamiento diferente para las distintas fuentes dependiendo del nivel de refertilización empleado.

Consideraciones finales integradoras de ambos experimentos

Los estudios realizados sobre las respuestas de los lotus cv El Rincón y L. Maku a distintas fuentes y dosis de fósforo fueron registrados en experimentos separados para cada una de ellas, lo cual impide comparar de manera estricta su comportamiento ante las variables estudiadas.

No obstante, es posible realizar algunas puntualizaciones generales que permitan conocer mejor sus requerimientos en cuanto a nutrición fosfatada se refiere; dado que ambos estudios fueron llevados a cabo paralelamente en sitios contiguos y bajo condiciones de suelo y clima similares.

En resumen, cuando se consideran las fuentes iniciales de fósforo, se debe destacar que a pesar de que lotus Maku mostró una tendencia a responder mejor a Hyperfos, tanto esta especie como lotus El Rincón, se comportaron de manera superior en presencia de Fosforita natural.

Sin embargo, la respuesta de ambas especies al incremento de las dosis de Fosforita natural fue distinta, mostrando lotus Maku una mayor capacidad para producir materia seca que lotus El Rincón (28.3 versus 18.8 kg/ha MS por kg/ha P_2O_5 utilizado). Este comportamiento confirma a lotus Maku como un lotus con características morfofisiológicas tales que le permitirían alcanzar una mayor eficiencia.

En breve, cuando se considera el comportamiento de ambas especies de 2º año se detecta que, mientras lotus Maku respondió con un incremento de materia seca del 37% con la refertilización con Fosforita natural sobre los otros fertilizantes, lotus el Rincón promedió aproximadamente la misma cifra (38%) sobre el Superfosfato, tanto con Fosforita natural como con Hyperfos. Por lo que ambas especies respondieron con incrementos altamente significativos frente a la refertilización fosfatada con Fosforita natural.

Sin embargo, mientras que para lotus El Rincón la refertilización con 30 kg/ha/ P_2O_5 fue muy eficiente para el reclutamiento y producción de materia seca (74%) de sus plantas nuevas con sistemas radiculares superficiales; para lotus Maku, con una trama densa de plantas adultas en plena competencia y con sistemas radiculares más profundos fue menos eficiente (32%), demostrando además que la dosis aplicada habría sido insuficiente para que esta especie expresara su máxima capacidad productiva.

En cuanto al comportamiento de los tratamientos no refertilizados, se observó que ambas especies presentan, en general, una respuesta progresiva al incremento de las dosis iniciales aplicadas de Fosforita natural; mostrando frente a la dosis máxima (90), lotus Maku una capacidad mayor (55%) que lotus El Rincón (41%) frente al tratamiento testigo sin fósforo, situación que repite el comportamiento de ambas especies para utilizar el fósforo inicial.

Aquí se debe tener en cuenta que mientras lotus Maku utiliza el fósforo residual con una población densa de plantas adultas ya desarrolladas, lotus El Rincón lo utiliza con plántulas y plantas jóvenes muy exigentes en disponibilidades altas de fósforo rápidamente soluble, y por lo tanto el fósforo residual le resultaría insuficiente para lograr un mejor comportamiento.

Por último, resulta importante destacar que en ambas especies no se detectó al segundo año la existencia de interacciones entre la fertilización inicial y la refertilización.

2.2. Residualidad del fósforo en mejoramientos de trébol blanco y lotus común sobre suelos superficiales⁽¹⁾

Raúl Bermúdez⁽²⁾, Walter Ayala⁽³⁾, Alejandro Morón⁽⁴⁾, Carlos Mas⁽⁵⁾

Introducción

Los suelos del Uruguay presentan un rango relativamente amplio de características físico químicas que determinan una variación importante en la dinámica del fósforo agregado por distintas fuentes. La mayoría de los suelos muestra un pasaje bastante rápido del fósforo agregado a formas no disponibles, siendo la magnitud y velocidad de este proceso definida a través de *la tasa de descenso*, que indica el porcentaje anual de disminución del fósforo disponible (Baethgen y Pérez, 1981). Una segunda característica que importa conocer es el incremento en la disponibilidad de fósforo estimado por análisis de suelo, luego de agregar una determinada cantidad de fertilizante fosfatado lo que se define como *equivalente fertilizante* que es la cantidad de kg de fósforo necesarios para aumentar el valor de análisis en una ppm (Díaz et al. 1981). Con tal fin se planteó una serie de trabajos sobre distintos suelos, realizándose en la Región Este dos de los mismos, uno sobre suelos superficiales.

Materiales y Métodos

Los estudios se realizaron sobre un suelo de la unidad Sierra de Polanco el cual poseía las siguientes características (Cuadro 1).

Cuadro 1. Análisis químico del suelo de la Unidad Sierra de Polanco.

Profundidad (cm)	pH (agua)	M. Orgánica (%)	P(Ac. cítrico) (ug P/g)	K (meq/100g)
0-5	5.5	4.4	2.0	0.48
5-10	5.3	2.3	1.6	0.21

En 4 años consecutivos (1982-1985) se instalaron mejoramientos constituídos por una mezcla de trébol blanco Zapicán y lotus San Gabriel a razón de 4 y 8 kg/ha de semilla respectivamente sembrados previo laboreo mínimo del suelo.

Los tratamientos consistieron en dos fuentes de fósforo (Superfosfato simple 0-21/23-0 e Hiperfosfato micropulverizado (0-12/30-0) y dos niveles de fósforo en el año de implantación (bajo: 88 kg/ha de P₂O₅ y alto: 220 kg/ha de P₂O₅). El diseño experimental fue un factorial (2*2) en bloques al azar con 4 repeticiones.

Las determinaciones durante los cuatro primeros años de la pastura incluyeron la producción de materia seca total así como de sus componentes (trébol blanco, lotus y especies nativas).

⁽¹⁾ Información recabada por el CIAAB, Estación Experimental del Este, sin publicar

⁽²⁾ Ing. Agr., MPhil, Programa Plantas Forrajeras, INIA Treinta y Tres

⁽³⁾ Ing. Agr., PhD, Programa Plantas Forrajeras, INIA Treinta y Tres

⁽⁴⁾ Ing. Agr., Dr., Sección Suelos, INIA La Estanzuela

⁽⁵⁾ Ing. Agr., MSc, Programa Plantas Forrajeras, INIA Tacuarembó

Anualmente se realizaron muestreos de suelo a dos profundidades (0-5 cm y 5-10 cm) para determinar el contenido de fósforo del suelo, presentándose los resultados obtenidos en este estudio por el método de Ácido cítrico.

Se realizaron ajustes de regresión de las curvas de descenso del fósforo disponible con la edad de la pastura, fuente de fósforo y nivel aplicado a la siembra, para lo cual se utilizó el procedimiento seguido por Castro et al. (1981) a saber:

$y = \log$ del promedio de; (fósforo disponible con fertilización inicial y sin fertilización menos fósforo disponible en el tratamiento testigo)
 $x =$ no. de años después de la fertilización.

El coeficiente lineal de la regresión es negativo y el antilogaritmo de este coeficiente (Pr) expresa el efecto residual de cada kg de P_2O_5/ha . El valor de $1-Pr$ representa el la tasa anual de descenso del valor de análisis. Se calculó el equivalente fertilizante (EF) en forma de kg/ha de P_2O_5 necesarios para incrementar en 1 ppm el contenido de fósforo en el suelo.

Resultados

1. Efecto de la fuente y dosis fósforo en la producción del primer año

No se detectó efecto de la fuente de fósforo en la producción total del primer año de los mejoramientos, así como en ninguno de los componentes (Cuadro 2). No obstante la producción de forraje total, el trébol blanco y el lotus se vieron incrementadas en 36, 128 y 61% respectivamente al pasar de la dosis baja a la alta. Se registró un efecto aditivo de la contribución de las leguminosas al rendimiento de la pastura, dado que las especies nativas mantuvieron su producción independientemente del nivel de fósforo aplicado.

La producción promedio del campo natural de este suelo en el primer año fue de 1365 kg/ha de MS (Mas et al., 1991), siendo la misma incrementada en 2.7 y 3.6 veces por las pasturas mejoradas de primer año fertilizadas con el nivel bajo y alto respectivamente; no detectándose interacción fuente*dosis.

Cuadro 2. Efecto de la fuente y dosis de fertilizante fosfatado en el año de implantación en la producción del primer año (MS kg/ha) de forraje total, trébol blanco, lotus y especies nativas (promedio de 4 años).

		Forraje total	T. blanco	Lotus	Especies nativas
Fuente*Dosis					
Superfosfato	Bajo	3663 b	583 b	1127 b	1953
Superfosfato	Alto	5091 a	1137 a	1931 a	2023
Hiperfosfato	Bajo	3601 b	390 b	1042 b	2169
Hiperfosfato	Alto	4768 a	1088 a	1565 a	2115
Significancia					
Fuente		ns	ns	ns	ns
Dosis		**	**	**	ns
Fuente*Dosis		ns	ns	ns	ns

a, b: medias con letras distintas dentro de una misma columna son significativamente diferentes entre sí, LSD 0.05 ; **, $p < 0.01$; ns, no significativo

2. Residualidad de fuentes y dosis iniciales en la producción del mejoramiento

Segundo año

La producción total de forraje del segundo año del mejoramiento resultó afectada por la fuente y dosis aplicada a la siembra (Cuadro 3). La misma se incrementó en un 23% por el uso de Hiperfosfato respecto al Superfosfato, mientras que la dosis alta produjo un 49% más que la dosis baja.

Para trébol blanco se detectó una interacción significativa fuente*dosis, mostrando para el caso del Superfosfato una respuesta de 616% al pasar de la dosis baja a alta y para el Hiperfosfato de 456%. Se registró una superioridad del Hiperfosfato sobre el Superfosfato, de 235% en el nivel bajo y de 160% para el nivel alto (Cuadro 3).

En lotus no se detectó efecto de la fuente pero sí de la dosis, siendo la respuesta de 81% superior al pasar del nivel bajo al alto. En el segundo año se vuelve a registrar un efecto aditivo en la producción como consecuencia del agregado de las leguminosas, ya que las especies nativas no variaron significativamente frente a las fuentes ni a las dosis (Cuadro 3).

La producción promedio del campo natural de ese suelo y en ese período resultó de 1394 kg/ha de MS (Mas et al., 1991), siendo la misma superada, según el tratamiento aplicado en un rango entre 3 y 5.6 veces por las pasturas mejoradas de segundo año.

Cuadro 3. Efecto de la fuente y dosis de fertilizante fosfatado aplicadas a la siembra en la producción (MS kg/ha) del segundo año de forraje total, trébol blanco, lotus y especies nativas (promedio de 3 años).

		Forraje total	T. blanco	Lotus	Especies nativas
Fuente*Dosis					
Superfosfato	Bajo	4174 d	85 c	1412 b	2677
Superfosfato	Alto	6703 b	609 b	3190 a	2904
Hiperfosfato	Bajo	5552 c	285 bc	2036 b	3231
Hiperfosfato	Alto	7807 a	1584 a	3049 a	3174
Significancia					
Fuente		**	**	ns	ns
Dosis		**	**	**	ns
Fuente*Dosis		ns	**	ns	ns

a, b, c: medias con letras distintas dentro de una misma columna son significativamente diferentes entre sí, LSD 0.05; **, p<0.01; ns, no significativo

Tercer año

Para el tercer año, los mejoramientos fertilizados a la siembra con Hiperfosfato produjeron un 19% más de forraje total que aquellos fertilizados con Superfosfato. Asimismo, se mantiene un efecto de la dosis aplicada a la siembra que alcanza un 62% más de producción para la dosis alta (Cuadro 4).

El aporte del trébol blanco decayó de manera importante, en parte asociado a la ocurrencia de dos años secos. Se destaca el aporte que se alcanza para el nivel alto de Hiperfosfato, superando en un 676% al promedio de los restantes tratamientos (Cuadro 4).

El lotus mantiene durante el tercer año un aporte de 26% en el total de la pastura, encontrándose una respuesta significativa ($P<0.01$) a la dosis aplicada, de 102% en el promedio de las fuentes; ya que no se detectó diferencia significativa entre ellas. Las especies nativas incrementaron la producción del tercer año en un 20% cuando la fuente usada había sido Hiperfosfato y un 36% al ser fertilizadas con el nivel alto (Cuadro 4).

La producción promedio del campo natural de este suelo y en el período bajo estudio resultó de 744 kg/ha de MS (Mas et al., 1991), siendo la misma incrementada en un rango entre 3.3 y 6.3 veces por las pasturas mejoradas de tercer año dependiendo del tratamiento aplicado.

Cuadro 4. Efecto de la fuente y dosis de fertilizante fosfatado aplicadas a la siembra en la producción (MS kg/ha) del tercer año de forraje total, trébol blanco, lotus y especies nativas (promedio de 2 años).

		Forraje total	T. blanco	Lotus	Especies nativas
Fuente*Dosis					
Superfosfato	Bajo	2478 c	22 b	700 bc	1756 c
Superfosfato	Alto	3640 b	145 b	1033 ab	2462 ab
Hiperfosfato	Bajo	2661 c	29 b	441 c	2191 bc
Hiperfosfato	Alto	4669 a	507 a	1275 a	2886 a
Significancia					
Fuente		*	**	ns	*
Dosis		**	**	**	**
Fuente*Dosis		ns	**	ns	ns

a, b, c: medias con letras distintas dentro de una misma columna son significativamente diferentes entre sí LSD 0.05; *, $p<0.05$; **, $p<0.01$; ns, no significativo

Cuarto año

Para el cuarto año sólo se detectó un efecto significativo ($P<0.01$) de la dosis en la producción de materia seca total, siendo un 63% mayor la producción con la dosis alta (Cuadro 5).

En trébol blanco se registró una presencia mínima independientemente de los tratamientos previos (Cuadro 5). Lotus respondió de manera significativa ($P<0.05$) a las dosis, siendo un 278% mayor el aporte de esta especie con la dosis alta respecto a la baja (Cuadro 5).

En las especies nativas se registró una interacción significativa fuente*dosis ($P<0.05$), no registrándose diferencias entre fuentes. En el caso del Superfosfato el aporte al aumentar la dosis se incrementó en un 69% y para el Hiperfosfato este incremento fue del 34% (Cuadro 5).

La producción promedio del campo natural de ese suelo y en ese período resultó de 825 kg/ha de MS (Mas et al., 1991), siendo la misma superada, dependiendo del tratamiento aplicado, en un rango entre 2.7 y 4.7 veces por las pasturas mejoradas de tercer año.

Cuadro 5. Efecto de la fuente y dosis de fertilizante fosfatado aplicadas a la siembra en la producción (MS kg/ha) del cuarto año de forraje total, trébol blanco, lotus y especies nativas (datos de 1 año).

		Forraje total	T. blanco	Lotus	Especies nativas
Fuente*Dosis					
Superfosfato	Bajo	2267 b	7	197 ab	2063 c
Superfosfato	Alto	3915 a	0	421 ab	3493 a
Hiperfosfato	Bajo	2519 b	0	73 b	2446 b
Hiperfosfato	Alto	3876 a	4	599 a	3273 a
Significancia					
Fuente		ns	ns	ns	ns
Dosis		**	ns	*	**
Fuente*Dosis		ns	ns	ns	*

a, b, c: medias con letras distintas dentro de una misma columna son significativamente diferentes entre sí, LSD 0.05; *, p<0.05, **, <0.01; ns, no significativo

3. Eficiencia relativa de las fuentes

Para la pastura de 1er. año la eficiencia del Superfosfato fue superior para todos los parámetros evaluados independientemente de la dosis (Cuadro 6). Para el segundo y tercer año, este comportamiento se revirtió a favor del Hiperfosfato, a excepción del lotus en la dosis alta y baja en el segundo y tercer año respectivamente. Al cuarto año de la aplicación sólo se mantiene un efecto a favor del Hiperfosfato para la materia seca total en el nivel bajo y para el lotus en el nivel alto. A esta edad del mejoramiento, la contribución de las especies introducidas fue insignificante en todos los casos.

Cuadro 6. Eficiencia relativa del Hiperfosfato respecto al Superfosfato (base 100), en producción de forraje total (FT), trébol blanco (TB) y lotus (L), para dos dosis aplicadas en la implantación para mejoramientos de diferentes edades.

Edad del mejoramiento	88 kg/ha P ₂ O ₅			220 kg/ha P ₂ O ₅		
	FT	TB	L	FT	TB	L
1er. año	98	67	92	94	96	81
2do. año	133	235	144	116	260	96
3er. año	107	132	63	128	350	123
4to. año	117	0	37	99	∞	142

4. Relación entre el contenido de fósforo en el suelo y la producción de leguminosa

La producción de forraje en los distintos años y para ambas fuentes se correlacionó con el contenido de fósforo en el suelo medido por el método del Ácido cítrico (Figura 1).

Al quinto año las reducciones en el contenido de fósforo en el suelo fueron notorias, disminuyendo la producción. Es posible asumir que existan otros factores que estén incidiendo en el bajo aporte de las leguminosas en pasturas de esa edad.

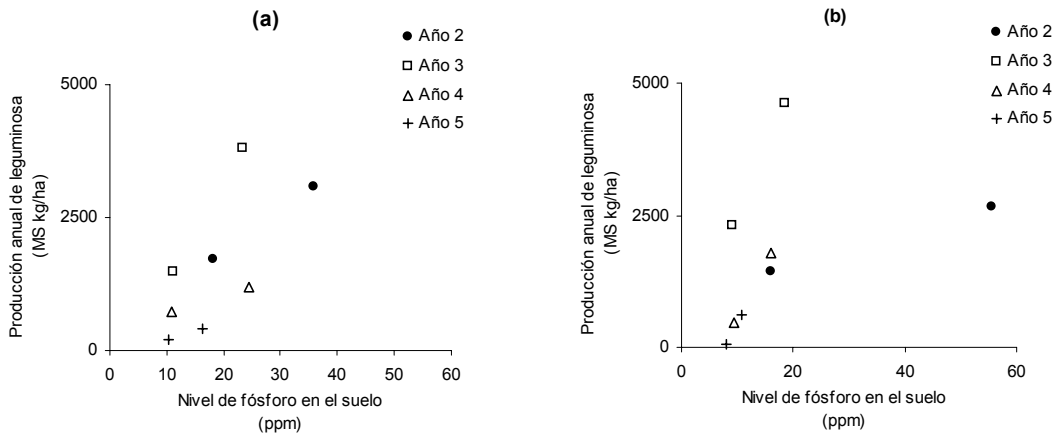


Figura 1. Relación entre la producción de la fracción leguminosa en pasturas de distinta edad y el contenido de fósforo en el suelo medido por el método del Ácido cítrico para un suelo de la Unidad Sierra de Polanco para dos pasturas fertilizadas a la siembra con Superfosfato (a) e Hiperfosfato (b).

5. Relación entre el fósforo disponible y años desde su aplicación

La relación entre el fósforo agregado inicialmente y el fósforo disponible en el suelo durante los cuatro primeros años luego de la aplicación, fue disminuyendo en forma lineal (Figura 2). El patrón lineal de descenso muestra que el efecto residual está directamente relacionado a la dosis inicialmente aplicada, tal lo reportado por Castro et al. (1981).

En base a estos datos, la cantidad de P_2O_5 /ha necesaria para aumentar una ppm de fósforo en el suelo variaron entre 13.5-14.2 kg de P_2O_5 en Superfosfato y entre 8-17.5 kg de P_2O_5 en Hiperfosfato (Cuadro 7).

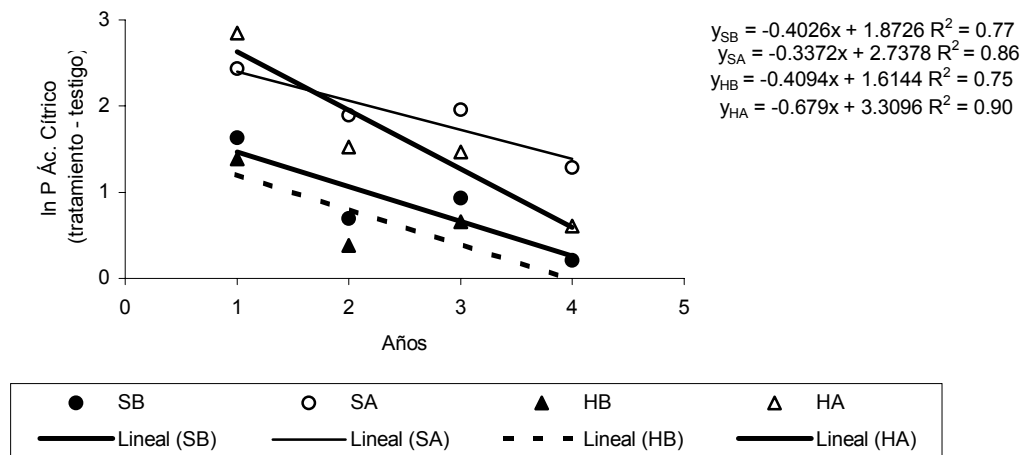


Figura 2. Relación entre fósforo disponible y edad de la pastura para un suelo de la Unidad Sierra de Polanco.

Cuadro 7. Valores de Pr, 1-Pr y EF para un suelo de la Unidad Sierra de Polanco fertilizado con dos fuentes y dosis de fósforo.

Tratamiento	Pr	1-Pr	EF
Superfosfato alto	0.71	0.29	14.2
Superfosfato bajo	0.67	0.33	13.5
Hiperfosfato alto	0.51	0.49	8
Hiperfosfato bajo	0.66	0.34	17.5

Consideraciones finales

- En este suelo, la producción de materia seca total, así como la del trébol blanco y del lotus del primer año fueron incrementadas por las dosis altas de fósforo aplicado. En general, para el segundo y tercer año se mantuvo el efecto positivo de las dosis iniciales sobre los parámetros evaluados, aunque en menor magnitud. Al cuarto año el trébol blanco realizó un bajo aporte a la pastura pero en lotus y producción total aún se observan los efectos favorables de la dosis inicial.
- En la producción del primer año se manifestó una tendencia a favor de la fuente de mayor solubilidad (Superfosfato), mientras que este comportamiento se revirtió en el segundo y tercer año a favor del Hiperfosfato. En el cuarto año no se detectaron mayores diferencias como consecuencia de la paulatina merma en la población de la especie.
- La producción de materia seca de la leguminosa estuvo asociada al contenido de fósforo en el suelo principalmente los primeros años de la pastura.
- Las tasas de descenso anual del nivel de fósforo en el suelo (ppm) estuvieron en un rango entre 29-33% anual para Superfosfato y entre 34-49% para Hiperfosfato, dependiendo de la dosis inicial aplicada.
- El equivalente fertilizante alcanzó valores de 13.8 y 12.7 kg de P₂O₅ para el promedio de las dosis evaluadas en Superfosfato e Hiperfosfato respectivamente.

Bibliografía consultada

- Baethgen, W.; Pérez, J. (1981). Efecto residual de la fertilización fosfatada en una rotación agrícola-ganadera. I. Etapa de pasturas. *In Fertilización de Pasturas. Miscelánea 37. CIAAB pp2-17.*
- Castro, E.; de Zamuz, E.; Barboza, S. (1981). Fertilización de pasturas en el litoral oeste de Uruguay. *In Investigaciones Agronómicas. CIAAB. Año 2. No.1. pp. 56-67*
- Díaz, R.; Morón, A.; Santiñaque, F. (1981). Propuesta de trabajos experimentales CIAAB-CHPA. Mimeo.
- Mas, C.; Bermúdez, R.; Ayala, W. (1991). Crecimiento de las pasturas naturales en dos suelos de la Región Este. *In Pasturas y producción animal en áreas de ganadería extensiva. INIA. Serie Técnica 13. pp 59-67.*

2.3. Manejo de la fertilización fosfatada en zona de Sierras

Omar Casanova ⁽¹⁾

Introducción

La decisión de incluir o no la fertilización ha sido anterior incluso a los mejoramientos. Nadie duda hoy por hoy que un mejoramiento sin aporte de fertilizante fosfatado es inviable y/o cuando menos no sustentable en función de las reconocidas limitantes nutricionales de los suelos de Sierra. Independientemente de la especie que deseamos incluir en el mejoramiento el cambio del equilibrio existente se rompe y si vamos hacia propuestas de mayor productividad y calidad de la oferta forrajera, la decisión implica necesariamente la inclusión de nutrientes al sistema.

El campo natural produciendo de acuerdo a sus padrones de rendimiento y calidad no es capaz de romper los límites ya conocidos en cuanto a su curva y nivel de producción, así como sus niveles de nutrientes ofrecidos a través del forraje aportado. Para este tipo de suelo estamos hablando de no más de 4000 kg/ha/año, con marcado déficit estacional y contenidos de nutrientes de la pastura muy bajos (<1% N y K y 0.1 a 0.12 P).

La inclusión de especies en el tapiz natural genera cambios en la demanda de nutrientes frente a la potencialidad de mayores rendimientos. Lograr duplicar los niveles de rendimientos implicaría “cosechar” el doble de P y K y 3 a 4 veces más de nitrógeno.

Partiendo de la base de un aporte de nitrógeno a través de la fijación que cubra la nueva demanda y un aporte suficiente de K por parte de estos suelos (>0.5 meq K /100grs de suelo), la principal limitante será sin duda la fertilización fosfatada.

Cuando deseamos cambiar los padrones productivos en suelos como los de referencia surgen una serie de cuestionamientos técnicos, que hacen que una incorrecta decisión pueda afectar el producto final a través de un menor rendimiento o calidad, e incluso del retorno económico.

Las preguntas mas frecuentes serán:

- a) Mejoramiento con leguminosa solamente o existen otras alternativas?
- b) Existen limitante de acidez que ameriten encalar?
- c) En caso de agregar fósforo, cuanto agregar en instalación y en refertilización?
- d) Qué fuente de fósforo y manejada de que manera, será la más adecuada?
- e) Debe existir una política constante de refertilizaciones o puede ser flexible?

Intentaremos dar respuesta parcial a las interrogantes planteadas en función de resultados obtenidos sobre suelos de Sierra en ensayos a largo plazo y en función de la consistencia de los resultados.

⁽¹⁾ Ing. Agr. Facultad de Agronomía

A. Alternativas de mejoramiento de campo natural

La existencia de limitantes a nivel de suelo asociadas a la presencia de Aluminio intercambiable hacen difícil la implantación de especies de elevada sensibilidad a la acidez. En este caso utilizando lotus como especie incorporada pueden existir dudas respecto a la posibilidad de otras alternativas que proporcionen forraje en etapas críticas como el invierno. En un ensayo realizado sobre un luvisol Úmbrico de la Unidad Sierra de Polanco se evaluaron diferentes posibilidades respecto al campo natural (CN), con lotus sin fertilizar (CNN + L), fertilizado con 30 kg/ha de P₂O₅ y nitrógeno (C+N+P) (nitrógeno, 70 kg/ha de N en 2 veces, a fin de otoño y de invierno) y lotus con fertilización fosfatada similar a la anterior (CN+L+P) PN corresponde a la dosis de fósforo no limitante, demostrando la potencialidad de una capacidad de respuesta superior a la dosis de 30 kg/ha de P₂O₅. Para los 5 años evaluados se observan incrementos sin fertilización respecto al campo natural de escasa magnitud. La opción de fertilización con nitrógeno sobre igual fertilización fosfatada con lotus muestran un comportamiento inicial favorable al agregado de nitrógeno, con ventajas de la inclusión de lotus a partir del 2^{do} año, siendo similar al 5^{to} año.

Cuadro 1. Producción de materia seca anual (kg/ha) para diferentes alternativas de mejoramiento. Luvisol de Sierra Polanco, Tupambaé.

Tratamiento.	1989	1990	1991	1992	1993
CN	600	3320	3966	2548	1662
CN+L	915	2115	4160	3129	2109
CN+N+P	1422	2890	6503	3597	4038
CN+L+P	1135	3274	8858	5530	4176
PNL	1479	4340	11391	7609	5385

La población inicial de lotus explicaría la ventaja obtenida el primer año a favor de la fertilización nitrogenada, mostrándose como una alternativa en estas circunstancias coyunturales (año seco).

Los valores de nutrientes absorbidos determinados al segundo año donde el mejoramiento está estabilizado, reflejan elevados incrementos en el contenido de nitrógeno, menos en potasio y menos aún para fósforo. El mejoramiento con leguminosa logra los niveles más relevantes, sobre todo en nitrógeno respecto a la fertilización NP.

Cuadro 2. Contenidos de NPK en planta para el 2^{do} año de evaluación de diferentes mejoramientos. Luvisol de Sierra Polanco, Tupambaé.

Tratamiento	N	P	K
CN	52.48	4.59	32.03
CN+L	70.70	5.50	-
CN+L+P	175.81	13.47	7394
CM+N+P	98.46	10.31	54.20

Otra alternativa utilizada al comienzo consistió en el agregado de fósforo solamente sin incorporar especie alguna. En general este tipo de mejoramiento no muestra incrementos en producción de materia seca, apareciendo un efecto importante en el contenido de fósforo en la planta (de 0.10% a 0.15% de P)

De acuerdo a los precios actuales de los fertilizantes nitrogenados es evidente la conveniencia de los mejoramientos con leguminosas, siendo la fertilización nitrogenada como una alternativa coyuntural.

B. Encalado como forma de levantar limitantes a la acidez

El agregado de una dosis fija de 1000 kg/ha de caliza en cobertura 3 meses previo a la realización de ésta, mostró un efecto positivo respecto al campo natural.

Mantuvo un efecto superior al testigo e incluso a la misma dosis de fertilización fosfatada sin re-fertilización al segundo año. El encalado actuaría manteniendo la residualidad del fosfato agregado a la instalación, efecto este que desaparece cuando se refertiliza. La residualidad permitiría mantener un stand de plantas de lotus mayor al segundo año, pasando de 16% a 22% de lotus en el tapiz para 60 (SNR) (superfosfato sin refertilizar respecto a 60SCNR (Superfosfato luego de encalar, sin re-fertilizar) obteniéndose 45% para SRS (Superfosfato de 30 kg/ha de P₂O₅ refertilizado con igual dosis).

Es evidente la elevada dependencia respecto al fósforo de la aplicación inicial y con igual dosis de la refertilización respecto al encalado, lo que dificultaría la recomendación de neutralizar la acidez en una primera etapa. La inclusión de especies más sensibles a la acidez como trébol blanco y en condiciones iniciales de fósforo en el suelo superiores, podrían cambiar la decisión de encalar o no.

C. Recomendación de la dosis de instalación y refertilización

Los ensayos realizados muestran una importante respuesta a la aplicación de fósforo en la instalación. Partiendo de suelos sin historia de fertilización, encontramos una marcada respuesta a la 1era. dosis evaluada, siendo menor, aunque importante para la segunda dosis (60 kg/ha de P₂O₅/).

Los experimentos realizados durante 3 y 4 años sobre un luvisol de Sierra Polanco (Tupambaé) y un brunosol de Sierra Polanco (Parallé) respectivamente muestran al año 1 una duplicación del rendimiento en el 1^{er}. sitio y algo mayor en el 2^{do}.

Cuadro 3. Producción de materia seca anual (kg/ha) y suma de 4 años de un mejoramiento con lotus realizado en Tupambaé , (Sr. Mastropiero). Luvisol de Sierra Polanco

TRATAMIENTO			TOTALES				
Dosis P	Fuente P	Refert.	año 1	año 2	año 3	año 4	4 años
0	-	NR	721	594	594	1508	3417
30	S	R	1510	1743	1743	2685	7682
60	S	R	2010	1916	1916	4070	9911
30	NF	R	1265	1488	1488	3106	7348
60	NF	R	1854	2286	2286	2912	9338
30	ST	R	1624	1442	1442	2566	7074
60	ST	R	2598	2120	2120	3102	9940

Cuadro 4. Producción de materia seca anual (kg/ha) y suma de 3 años mejoramiento con lotus realizado en Parallé, (SR. Artigalás) Brunosol de Sierra Polanco.

TRATAMIENTO			TOTALES			
Dosis P	Fuente P	Refert.	año 1	año 2	año 3	3 años
0	-	NR	245	3065	1856	5165
30	S	R	643	3349	2188	6180
60	S	R	990	3982	2404	7376
30	HF	R	550	3439	2649	6638
60	HF	R	710	3112	2006	5828
30	ST	R	540	3438	1583	5561
60	ST	R	759	3979	2244	6982
30	FN	R	450	3772	2406	6628
30	FN	R	423	3680	2380	6483

Evidentemente la modificación del suministro de fósforo produce un efecto marcado sobre el tapiz generando incrementos en la materia seca producida.

La comprobación de una absorción incremental del fósforo en la planta, más allá del máximo de producción de materia seca y en consecuencia de una mayor calidad de pastura, nos llevaría a una recomendación inicial mas cercana a los 60 kg/ha de P₂O₅ que de 30.

En base a esta recomendación deberíamos analizar la posibilidad de manejar la residualidad y en consecuencia definir la re-fertilización. El otro elemento imprescindible de la definición anterior será el análisis de suelo al 2^{do} año. Los resultados obtenidos no mostraron diferencias en cuanto al nivel de P por Bray 1, (de 2 a 4 ppm), siendo imposible intentar una calibración con tan baja variabilidad.

De acuerdo a los resultados de producción de materia seca y la población de lotus existen evidencias de la existencia de residualidad de la dosis inicial.

Cuadro 5. Rendimiento de materia seca (kg/ha) a partir del 2^{do} año del mejoramiento para diferentes combinaciones de fuentes de fósforo, (H) Hiperfosfato,(S) Superfosfato y no (R) refertilizado. Luvisol de Sierra Polanco

Tratamiento	1990	1991	1992	1993
60H NR	3000	6529	3097	2319
60H RH	3560	10118	5898	4088
60H RS	3770	9907	5816	4187
60S NR	3127	6997	3530	2570
60S RH	3362	9433	6879	4105
60S RS	3413	10105	6301	4266
90S RS	3768	10460	5882	4524
240S RS	4340	11391	7609	5385
TESTIGO	3320	3966	2548	1662

Para los 4 años posteriores al agregado de la dosis de instalación se observan rendimientos superiores al testigo sin fertilizar. Es evidente que independientemente del valor de análisis existió efecto residual.

Independientemente de la combinación de fuentes utilizadas inicialmente el efecto de la re-fertilización resultó elevado mostrando la necesidad de complementación de la reposición de

fósforo en estos suelos. Las características de alta retención del fósforo agregado, a través de su acidez y elevado contenido de óxido de hierro de estos suelos explicarían la incidencia de la reposición de fósforo a través de las refertilizaciones.

D. Que fuente de fósforo utilizar en instalación y en refertilización

Los resultados obtenidos no marcan diferencias importantes en instalación entre fuentes solubles e insolubles. Evidentemente las condiciones de acidez elevada y baja actividad de Ca favorecen una capacidad de aporte del fósforo similar de las diferentes fuentes. La implantación lenta del mejoramiento es muy probable que haya conspirado en la apreciación de diferencias a favor de la fuente soluble.

Dentro de las fuentes solubles apareció a favor de la fuente Superfosfato respecto al Supertriple. En los años de elevado rendimiento se manifiestan las mayores diferencias, siendo la presencia de azufre y una distribución más homogénea del superfosfato las posibles causas de las diferencias observadas.

Cuadro 6. Rendimiento de materia seca anual (kg/ha) para 2 fuentes soluble de fósforo. S(superfosfato), ST (supertriple), R(refertilizado). Luvisol de Sierra Polanco

Tratamiento	Año 1989	Año 1990	Año 1991	Año 1992	Año 1993
60S RS	1235	3413	10105	6301	4266
60ST RST	868	3811	8885	4949	4144

De acuerdo a la dinámica del azufre en el suelo lo esperable sería un aumento de la inmovilización de los años del mejoramiento. En este caso las diferencias son desde el 1^{er} año. La existencia de un fenómeno de distribución mas homogénea del superfosfato podría explicar su predominancia inicial, siendo posteriormente, la posible diferencia de azufre las que expliquen a partir del 3^{er} año.

E. Política de refertilización anual o bianual

De acuerdo a las coyunturas desfavorables cada vez más frecuente resulta interesante saber lo que perdemos o ganamos para una misma dosis de refertilización si lo hacemos todos los años o año por medio. Los resultados obtenidos mostraron una oferta más constante de forraje con las aplicaciones anuales. La aplicación bianual mostró una gran capacidad de compensación logrando un comportamiento similar en promedio, sobre todo a dosis bajas (30 kg/ha de P₂O₅). A dosis mayores (60 kg/ha de P₂O₅) incluso resultó más favorable la aplicación bianual.

La pérdida de oferta forrajera en años de crisis podrían compensarse al año siguiente para mejoramientos como el de referencia, aunque lo ideal sería la re-fertilización anual que lograría una oferta más homogénea y menos propensa al fracaso en años secos

F. Cuál es la fertilización para el mejoramiento con Lotus sobre suelos de Sierra?

De acuerdo a lo discutido:

- a) En suelos sin historia de fertilización deberíamos instalar el mejoramiento con un mínimo de 30 kg/ha de P_2O_5 y re-fertilizar con una dosis similar
- b) La elección de la fuente resultaría de 2^{do} nivel, excepto a partir del 3 año donde fuentes con azufre serían más recomendables. De acuerdo a la relación de precio, las fosforitas de uso directo presentarían ventajas comparativas para los 1eros años del mejoramiento.
- c) En un tercer nivel ubicaríamos la recomendación de encalar, siendo una práctica a considerar a futuro.
- d) La refertilización anual es la recomendable, aunque en momentos críticos puede optarse por diferir la aplicación, duplicando la dosis

2.4. Consideraciones integradoras sobre la Fertilización fosfatada en los Suelos Superficiales

La información registrada en los estudios realizados sobre suelos superficiales, permite confirmar y reafirmar conocimientos previos sobre la posibilidad de descartar al Superfosfato como fuente de fósforo, para cubrir los requerimientos de este nutriente por parte de los lotus más comunes sembrados sobre suelos superficiales típicos de la Región Este; así como considerar a la Fosforita natural como el fertilizante particularmente recomendado por la seguridad y estabilidad de su comportamiento bajo las condiciones señaladas (experimentos 2.1 y 2.2).

En estos suelos el Superfosfato podría ocupar un rol aceptable en el año de implantación ante la alta demanda de fósforo soluble por parte de las plántulas así como en el tercer año donde las fuentes con azufre serían las más recomendadas (experimento 2.3). El contenido de fósforo soluble que posee la Fosforita Natural podría ser suficiente para la mayoría de las circunstancias en que se utilicen las dosis iniciales recomendadas de este fertilizante. Por otra parte la información disponible muestra que las tendencias favorables del Superfosfato al primer año, se perderían al año siguiente.

Tanto la producción inicial como la alcanzada al segundo año y años sucesivos, fue mayor a medida que se aumentó el volumen de fósforo aplicado a la siembra con un mínimo de 30 kg/ha de P_2O_5 ; siendo los lotus quienes revelaron que pueden aprovechar por más tiempo el fósforo residual. Este comportamiento se registró particularmente, cuando se aplicaron a la siembra las fuentes menos solubles de fósforo (experimentos 2.1, 2.2 y 2.3).

La mayor producción de materia seca de la fracción leguminosa acompañó siempre al contenido de fósforo en el suelo, muy en especial al segundo y tercer año luego de establecida la pastura. Sin embargo, al cuarto año no se detectaron o fueron de poca magnitud como sucedió en lotus, las diferencias entre las distintas dosis iniciales de fósforo, debido probablemente a que el efecto fertilidad habría quedado diluido ante la presencia de otros factores ambientales con efectos dominantes, tanto bióticos (muerte de plantas, bajo reclutamiento de plántulas, enfermedades, plagas...) como abióticos (déficits y excesos de agua, erosión, compactación por exceso pisoteo..).

Por otra parte la refertilización fosfatada anual resultó ser un tratamiento insoslayable en todos los casos en que se planteó obtener mayores rendimientos de materia seca. No obstante, si bien es cierto que ello es logable, también es cierto que sus efectos favorables se pierden progresivamente por las razones antedichas. En momentos críticos puede optarse por diferir la refertilización, duplicando las dosis (experimento 2.3).

Fertilización fosfatada
3. Zona de Colinas y Lomadas
Suelos con horizonte B textural
Región Este

3.1. Estrategias de fertilización fosfatada para mejoramientos de trébol blanco y lotus en suelos con B textural

Raúl Bermúdez⁽¹⁾, Walter Ayala⁽²⁾, Milton Carámbula⁽³⁾

Introducción

Los suelos de la zona de colinas y lomadas de la Región Este presentan alta acidez y deficiencias de fósforo, así como alta capacidad de retención de este nutriente. Estas características limitan la posibilidad de obtener mejoramientos de campo con leguminosas capaces de lograr altas producciones de forraje con una persistencia aceptable de las especies introducidas. A su vez pueden afectar la eficiencia de las distintas fuentes de fósforo que se ofrecen en el mercado. En el marco de convenios de INIA, uno con la empresa ISUSA y otro con el Banco Mundial-Facultad de Agronomía, se estudió la respuesta a la fertilización a la siembra y en años sucesivos con dos fuentes de fósforo de mejoramientos de campo con trébol blanco y lotus común. Los resultados obtenidos permiten avanzar en el conocimiento de la fertilización fosfatada de mejoramientos de campo para este tipo de situaciones.

Materiales y Métodos

El presente trabajo resume información recabada en dos experimentos realizados en la Unidad Experimental Palo a Pique en el período 1995-2000. En ambos se utilizó una mezcla de trébol blanco cv Zapicán y lotus cv San Gabriel sembrados en cobertura. Los tratamientos evaluados consistieron para el primero de los casos (experimento 1) la comparación entre dos fuentes fosfatadas (Fosforita natural de Gafsa 0-10/28-0, y Superfosfato simple 0-21/23-0), cuatro dosis iniciales (0, 40, 80 y 160 kg/ha de P_2O_5) y dos niveles de refertilización anual (0 y 40 kg/ha de P_2O_5). En el segundo caso (experimento 2) se evaluó el comportamiento del Superfosfato simple bajo cuatro dosis iniciales (0, 45, 90 y 135 kg/ha de P_2O_5) y tres niveles de refertilización anual (0, 30 y 60 kg/ha de P_2O_5).

Los experimentos se desarrollaron sobre un suelo de la Unidad Alferez, presentando el mismo un pH_{agua} de 5.3, materia orgánica 5%, fósforo Ácido cítrico 4.5 ppm y potasio 0.47 meq/100g.

Resultados

1. Efecto de la fuente y dosis inicial en la producción del primer año en ambos experimentos

Para la primera situación en la que se evaluó Superfosfato simple en un rango de dosis entre 0-160 kg/ha de P_2O_5 se observó una respuesta de tipo lineal con incrementos de 12.5 kg/ha de MS total por cada kg/ha de P_2O_5 aplicado, mientras que para Fosforita natural se encontró una respuesta de tipo cuadrático alcanzando el máximo en la producción del primer año con 124 kg/ha de P_2O_5 aplicado. La respuesta entre 0-80 kg/ha de P_2O_5 utilizando Fosforita natural fue de 25.2 kg/ha de MS total por cada kg de P_2O_5 aplicado, duplicando los niveles de respuesta que se lograron con Superfosfato simple en dicho período (Figura 1a). En la segunda situación utilizando un rango de dosis inicial entre 0-135 kg/ha de P_2O_5 , también en base a Superfosfato simple se obtuvo una

⁽¹⁾ Ing. Agr., MPhil, Programa Plantas Forrajeras, INIA Treinta y Tres

⁽²⁾ Ing. Agr., PhD, Programa Plantas Forrajeras, INIA Treinta y Tres

⁽³⁾ Ing. Agr., MSc, Programa Plantas Forrajeras, INIA Treinta y Tres (hasta diciembre 1999).

respuesta de tipo cuadrático con un máximo en 116 kg/ha de P₂O₅ aplicado, con una respuesta lineal entre 0 y 90 kg/ha de P₂O₅ aplicado de 36.5 kg/ha de MS total (Figura 2). Las diferencias registradas entre ambas situaciones con respecto a los niveles de respuesta alcanzados con el uso de Superfosfato simple, se pueden atribuir principalmente a diferencias en el aporte de las leguminosas de la mezcla en cada caso, debido a las condiciones ambientales imperantes en cada situación.

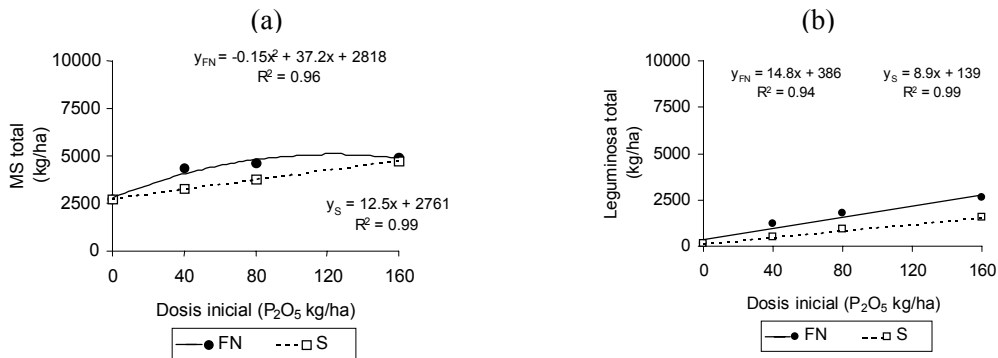


Figura 1. Efecto de la fuente y dosis inicial (a) en la producción total de materia seca (b) y en el aporte de la leguminosa de un mejoramiento de trébol blanco y lotus

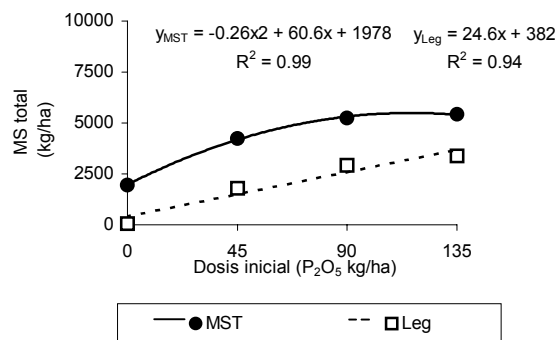


Figura 2. Efecto de la dosis inicial de superfosfato simple en la producción del primer año, tanto de la materia seca total como de las leguminosas de un mejoramiento de trébol blanco-lotus.

El contenido de la leguminosa en la pastura de primer año se incrementó en forma lineal hasta los 160 kg/ha de P₂O₅ aplicado, con tasas de crecimiento de 14.8 y 8.9 kg/ha de MS para Fosforita natural y Superfosfato simple, respectivamente (Figura 1b). En la figura 2 también se observa una respuesta de tipo lineal en la producción de la leguminosa entre 0-135 kg/ha de P₂O₅ aplicado como Superfosfato simple, siendo la misma superior con incrementos de 24.6 kg/ha de MS de la leguminosa.

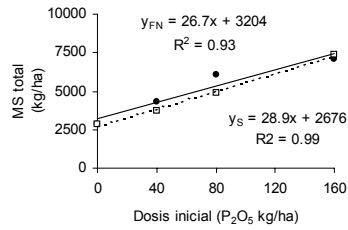
2. Residualidad de fuentes y dosis iniciales en la producción del mejoramiento

En el experimento 1 se evaluó la residualidad en un sentido amplio, ya que los resultados no se pueden atribuir solamente al efecto de la dosis y tipo de fuente de fósforo utilizadas.

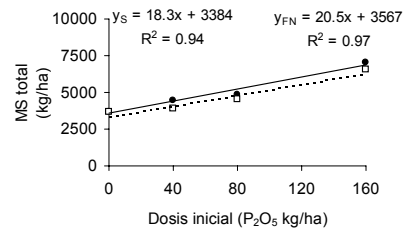
En esta primera situación entre el segundo y quinto año de la pastura no se detectaron diferencias importantes en cuanto a fuentes de fósforo sobre la producción de materia seca total, tanto en los mejoramientos que no fueron refertilizados como en aquellos fertilizados anualmente con 40 kg/ha de P₂O₅. El efecto residual de los niveles iniciales se manifestó hasta el cuarto año en los tratamientos no refertilizados y hasta el tercero en los refertilizados, siendo la respuesta mayor en el caso de los no refertilizados (Figura 3).

No Refertilizado

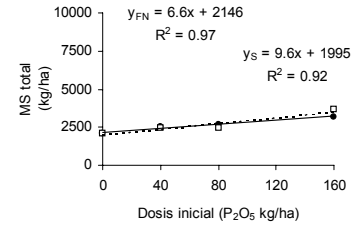
Año 2



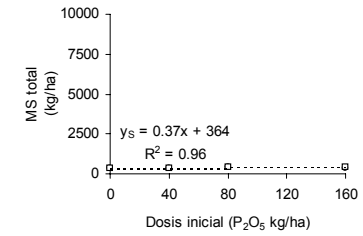
Año 3



Año 4

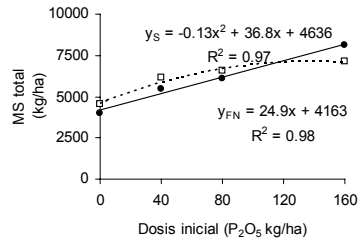


Año 5

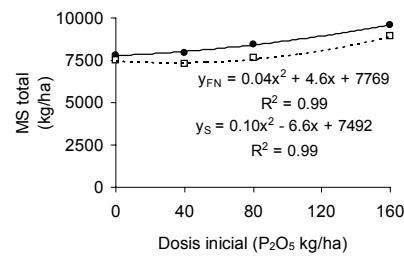


Refertilizado anualmente

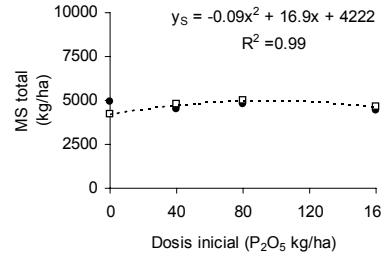
Año 2



Año 3



Año 4



Año 5

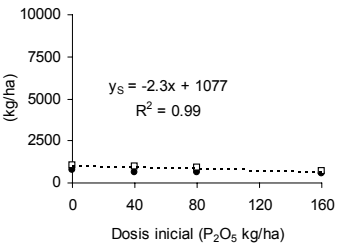
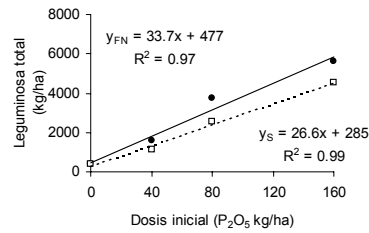


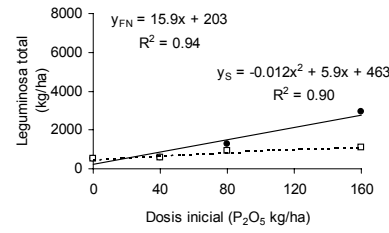
Figura 3. Efecto de la fuente (Fosforita natural —●, Superfosfato simple ---□) y dosis inicial en la producción de materia seca total de un mejoramiento entre el segundo y quinto año, no refertilizado y refertilizado anualmente con 40 kg/ha de P₂O₅

No Refertilizado

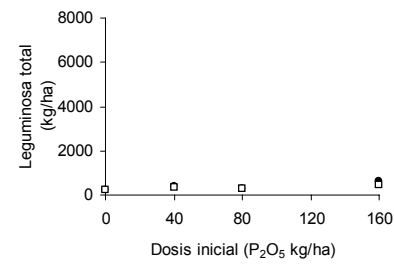
Año 2



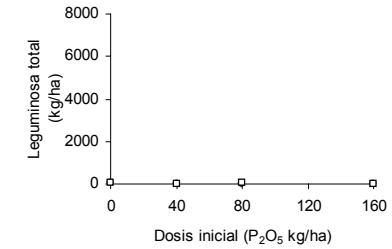
Año 3



Año 4

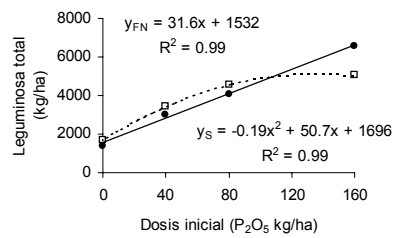


Año 5

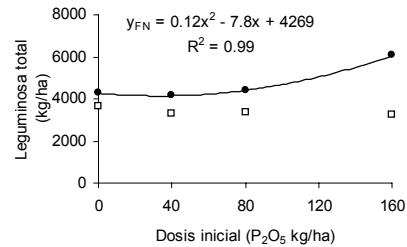


Refertilizado anualmente

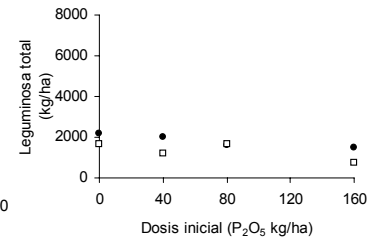
Año 2



Año 3



Año 4



Año 5

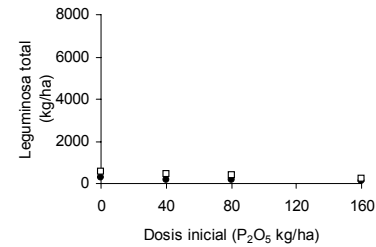


Figura 4. Efecto de la fuente (Fosforita natural — •, Superfosfato simple--- □) y dosis inicial en la producción de las leguminosas (trébol blanco más lotus) de un mejoramiento entre el segundo y quinto año, no refertilizado y refertilizado anualmente con 40 kg/ha de P₂O₅.

El efecto residual de la fertilización inicial en el aporte del componente leguminosa se manifestó hasta el tercer año en los mejoramientos no refertilizados. En los refertilizados anualmente con Superfosfato simple el efecto residual de la fertilización inicial se perdió luego del segundo año, mientras que para aquellos refertilizados con Fosforita natural este efecto se mantuvo por un año más (Figura 4). En general se detectó una superioridad de la Fosforita natural respecto al Superfosfato simple en la producción de la fracción leguminosa.

La residualidad que se manifiesta en materia seca total en el cuarto año del mejoramiento no refertilizado, se puede atribuir solamente al aporte que realizó el campo natural, ya que el aporte de las leguminosas fue mínimo. Este comportamiento se podría deber al enriquecimiento del suelo por la acción de las leguminosas el que habría sido aprovechado por el tapiz natural. En los tratamientos refertilizados este efecto no se manifestó a pesar de que el enriquecimiento del suelo debería haber sido mayor; pudiéndose atribuir este comportamiento a la excesiva competencia de las leguminosas sobre el tapiz natural, comprometiendo así el potencial de producción futura del mismo.

3. Estrategias de refertilización

La respuesta a la refertilización tanto en producción de materia seca total como en contenido de leguminosa se muestra como muy dependiente de la dosis aplicada a la siembra en el segundo año, efecto que pierde relevancia a partir del tercer año en adelante (Figuras 5 y 6).

Cuando se aplicaron a la siembra 45 kg/ha de P_2O_5 como Superfosfato simple se observó una respuesta en el segundo año de 67.7 kg/ha de MS total por kg/ha de P_2O_5 aplicado. En el otro extremo, con fertilizaciones a la siembra de 135 kg/ha de P_2O_5 , dicha respuesta se redujo a 32.3 kg/ha de MS total por cada kg/ha de P_2O_5 aplicado (Figura 5). Un comportamiento similar se observó para la fracción leguminosa en el segundo año, mostrando respuestas de 74.2 y 42.9 kg/ha de MS de leguminosa para dosis iniciales de 45 y 135 kg/ha de P_2O_5 , respectivamente (Figura 6).

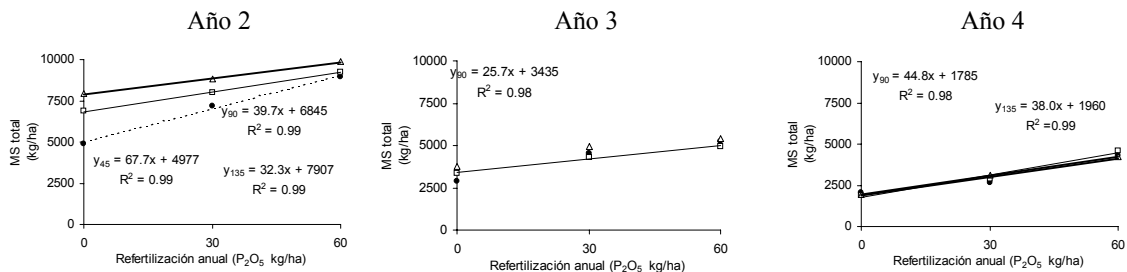


Figura 5. Efecto de la refertilización anual con Superfosfato simple en la producción de materia seca total con tres niveles de fertilización a la siembra (45 ●, 90 — □ y 135 — ▲) para un mejoramiento de trébol blanco-lotus entre su segundo y cuarto año.

En el tercer y cuarto año, luego de haberse perdido el efecto de las dosis iniciales, se obtuvo respuestas la refertilización en el rango evaluado (0-60 kg/ha de P_2O_5) de 25.7 y 44.8 kg/ha de MS total, respectivamente (Figura 5). El contenido de leguminosa presentó niveles de respuesta de 21.3 y 19.7 kg/ha de MS para el tercer y cuarto año (Figura 6).

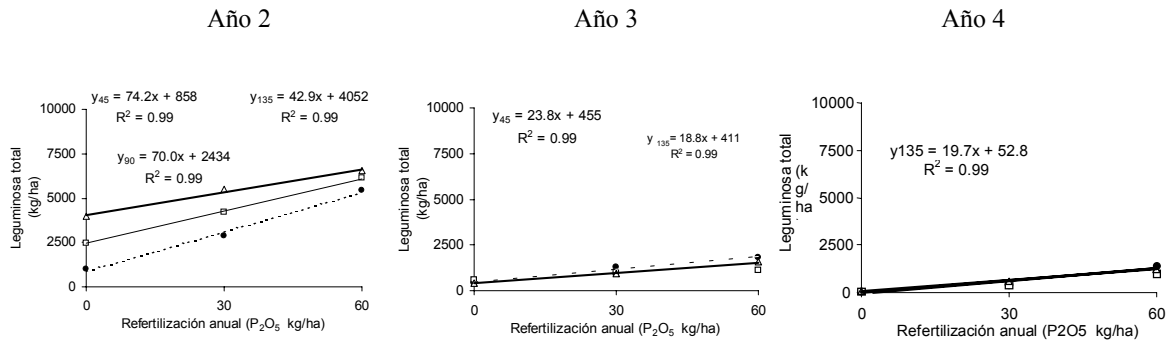


Figura 6. Efecto de la refertilización anual con Superfosfato simple en la producción de la fracción leguminosa con tres niveles de fertilización a la siembra (45 ●, 90 — □ y 135 — ▲) para un mejoramiento de trébol blanco-lotus, entre su segundo y cuarto año.

4. Balance trébol blanco-lotus en la mezcla

Siempre resulta importante conocer el balance existente entre el trébol blanco y el lotus en una mezcla, a los efectos de manejar el mismo mediante la fertilización fosfatada. En tal sentido se presenta en la figura 7 (experimentos 1 y 2) el total de forraje acumulado durante cinco años de ambas leguminosas en dos mejoramientos. El trébol blanco resultó beneficiado por el uso de Fosforita natural respecto al Superfosfato tanto en los casos que el mejoramiento fue o no refertilizado (experimento 1), mientras que el lotus no mostró mayores cambios en su aporte por el tipo de fuente. Cuando no se refertilizó, el trébol blanco superó al lotus por encima de los 120 kg/ha de P_2O_5 de dosis inicial, mientras que cuando se refertilizó anualmente, este comportamiento ocurrió entre las dosis 60 y 90 kg/ha P_2O_5 iniciales (experimento 1 y 2).

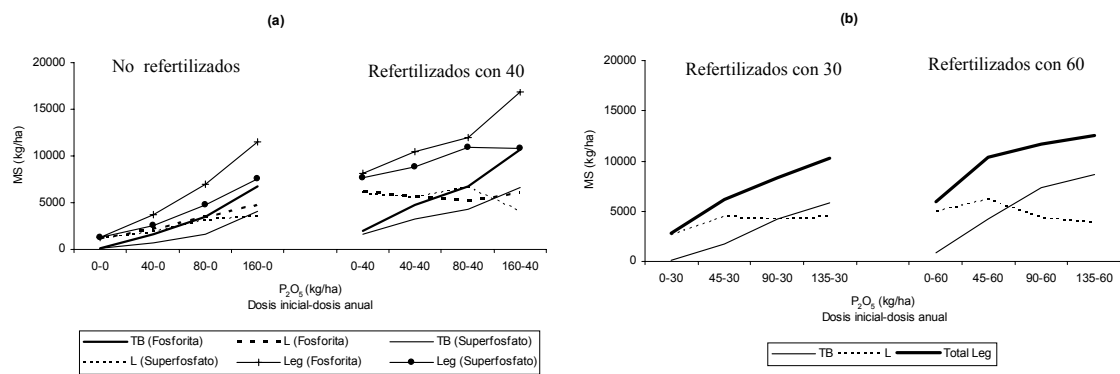


Figura 7. Balance entre trébol blanco y lotus en la mezcla de los mejoramientos bajo diferentes dosis (kg/ha P_2O_5) iniciales y anuales de Fosforita natural y Superfosfato (a - experimento 1) y dosis iniciales y anuales de Superfosfato (b - experimento 2) para el total acumulado en los primeros 5 años de producción.

Mientras el trébol blanco fue beneficiado por el uso de Fosforita natural respecto al Superfosfato (Figura 7 exp.1), fueran o no refertilizados (40), para las diferentes dosis iniciales; el lotus, aunque presenta cierta

respuesta a la refertilización no mostró mayores cambios frente a la utilización de ambas fuentes fosfatadas (Figura 7.a exp.1).

Con referencia a la respuesta de dichas especies frente a la fertilización y refertilización con Superfosfato como única fuente de fósforo, en la figura 7.b exp. 2 se observa que mientras el trébol blanco mostró una respuesta progresivamente mayor al aumentar la dosis de refertilización con fósforo de 30 a 60 kg/ha P_2O_5 , el lotus también presentó un incremento en su producción de materia seca refertilizado, hasta que la dosis inicial había sido de 45 kg/ha/ P_2O_5 , pero a partir de la misma, aparentemente, no hubo respuesta al incremento progresivo tanto de las dosis iniciales como de las dosis por refertilización (30-60 kg/ha (P_2O_5)).

No obstante, se debe destacar que la menor respuesta en materia seca por parte del lotus a la dosis mayor de refertilización de 60 frente a la de 30, pudo deberse a un efecto de competencia por espacio y luz del trébol blanco sobre el lotus, motivado por el incremento del fósforo disponible con la dosis alta (60).

5. Efecto del tipo de fuente en la producción otoño-invernal

La entrega de forraje en el período otoño-invernal resulta clave a los efectos de cubrir el período de mayor déficit forrajero. La disponibilidad de fósforo en este período resulta de sustancial importancia si se quiere potencializar la producción de las leguminosas. Se evaluó el uso de dos fuentes contrastantes en su grado de solubilidad del fósforo (Fosforita natural y Superfosfato) en la producción otoño-invernal de un mejoramiento de trébol blanco-lotus de segundo año. Se detectaron diferencias en la producción de trébol blanco del 44% a favor del a fosforita natural respecto al Superfosfato.

Consideraciones finales

- Se encontraron respuestas a la fertilización inicial para el primer año con las dos fuentes (Fosforita natural y Superfosfato) hasta niveles de 120 kg/ha de P_2O_5 , tanto en producción total del mejoramiento como de ambas leguminosas.
- La fertilización inicial mostró efectos residuales tanto en la producción total del mejoramiento, como de las leguminosas hasta el tercer año de vida. Este comportamiento se observó tanto en los mejoramientos que recibieron refertilizaciones como en los que no recibieron refertilizaciones anuales.
- El uso de la Fosforita natural mostró una superioridad sobre el uso del Superfosfato simple tanto en la producción de forraje total como de la leguminosa; efecto que se registró al primer año así como en los años subsiguientes. Estas diferencias se vieron maximizadas cuando las dosis iniciales fueron mayores (160 kg/ha de P_2O_5).
- Las respuestas en producción de forraje total y de la leguminosa a las refertilizaciones fue importante incluso cuando las fertilizaciones iniciales fueron altas.
- En la producción acumulada de 5 años de trébol blanco, el uso de Fosforita natural resultó beneficioso respecto al uso del Superfosfato, independientemente de la estrategia utilizada de refertilización. Por su parte el lotus resultó ser menos sensible a las distintas fuentes empleadas.
- La producción de otoño-invierno del trébol blanco en un mejoramiento de segundo año se vio incrementada por el uso de la Fosforita natural respecto al Superfosfato en un 44%.

Agradecimientos

A Industrias Sulfúricas del Uruguay S.A. (ISUSA), Banco Mundial y Facultad de Agronomía por la cofinanciación de los trabajos.

A los Ing. Agr. Santiago Ferrés, Pedro Queheille e Ignacio Riet por su colaboración en el análisis de la información.

Bibliografía consultada

Bermúdez, R.; Carámbula, M.; Ayala, W. (1998). Estudio comparativo de diferentes fuentes y dosis de fósforo sobre el comportamiento productivo de un mejoramiento extensivo con trébol blanco y lotus. Producción Animal. Unidad Experimental Palo a Pique. INIA Treinta y Tres. Actividades de Difusión 172. pp. 13-19.

Ayala, W.; Bermúdez, R.; Carámbula, M.; Risso, D.; Terra, J. (1999). Diagnóstico, propuestas y perspectivas de Pasturas en la Región Este. Producción Animal. Unidad Experimental Palo a Pique. INIA Treinta y Tres. Actividades de Difusión 195. pp. 1-41.

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. Producción Animal. Unidad Experimental Palo a Pique. INIA Treinta y Tres. Actividades de Difusión 225. pp. 17-24.

Morón, A. 2003. Posibles usos de fosforita para mejoramientos de pasturas en zonas ganaderas tradicionales en Uruguay. *In* Mejoramientos de campo en la Región de Cristalino: Fertilización, producción de carne de calidad y persistencia productiva. Serie Técnica No. 129, INIA Tacuarembó pp 97-113.

Ferrés, S.; Queheille, P.; Riet, I. (2003). Fertilización fosfatada en mejoramientos de campo en la Región Este. Tesis Facultad de Agronomía. Montevideo, Uruguay. 151 p.

3.2. Estrategias de fertilización para mejoramientos de lotus cv. El Rincón

Walter Ayala⁽¹⁾, Raúl Bermúdez⁽²⁾, Milton Carámbula⁽³⁾

Introducción

En el mercado existe una amplia gama de fertilizantes fosfatados con diferencias en su concentración de fósforo total y soluble, así como en su forma de presentación física (rocas fosfatadas con diferente grado de molienda, granulados). A los efectos de conocer mejor su comportamiento en el marco de un acuerdo de trabajo entre ISUSA e INIA, se realizó la evaluación de cuatro tipos de fertilizantes fosfatados con distintas características y atributos. Dicha evaluación se llevó a cabo sobre un mejoramiento de campo de lotus cv. El Rincón dada la amplia difusión que esta especie tiene para el área ganadera extensiva del país y particularmente de la Región Este.

Materiales y Métodos

El presente trabajo resume información recabada en el período 1997-2001 en un experimento realizado en la Unidad Experimental Palo a Pique. Sobre una pastura natural se sembró en cobertura *Lotus subbiflorus* cv El Rincón a una densidad de siembra de 5 kg/ha. Los tratamientos evaluados consistieron en la comparación de cuatro fuentes fosfatadas (Fosforita natural de Gafsa 0-10/28-0, Superfosfato simple 0-21/23-0, Hyperfos 0-14/28-0 e Hiperfosfato en polvo 0-12/30-0), a tres dosis iniciales (testigo, 30, 60 y 90 kg/ha de P₂O₅) y dos niveles de refertilización anual (0 y 30 kg/ha de P₂O₅). El experimento se desarrolló sobre un suelo de la Unidad Alférez, presentando el mismo un pH_{agua} de 5.3, materia orgánica 5%, fósforo Ácido cítrico 4.5 ppm y potasio 0.47 meq/100 g.

Resultados

1. Efecto de la fuente y dosis inicial en la producción del primer año

Para la producción de materia seca total del primer año no se encontró un modelo de ajuste significativo con la dosis inicial aplicada para ninguna de las fuentes evaluadas. A su vez no se encontraron diferencias significativas entre las mismas (Figura 1.a).

Para la producción de la leguminosa en el primer año, se determinó modelos de ajuste significativo (P<0.10) para tres de las fuentes estudiadas (Hyperfos, Hiperfosfato en polvo y Fosforita natural). Mientras que para el Hyperfos y el Hiperfosfato en polvo se encontró respuestas positivas de tipo cuadrático hasta las dosis de 55 y 60 kg/ha de P₂O₅ aplicado, respectivamente, alcanzando producciones en el entorno de los 1800 kg/ha de MS, para la Fosforita natural se encontró por parte de esta leguminosa una respuesta de tipo lineal de 14 kg/ha de MS por kg/ha de P₂O₅ en los rangos de dosis evaluados (Figura 1.b).

⁽¹⁾ Ing. Agr., PhD, Programa Plantas Forrajeras INIA Treinta y Tres

⁽²⁾ Ing. Agr., MPhil. Programa Plantas Forrajeras INIA Treinta y Tres

⁽³⁾ Ing. Agr., MSc, Programa Plantas Forrajeras INIA Treinta y Tres (hasta diciembre 1999)

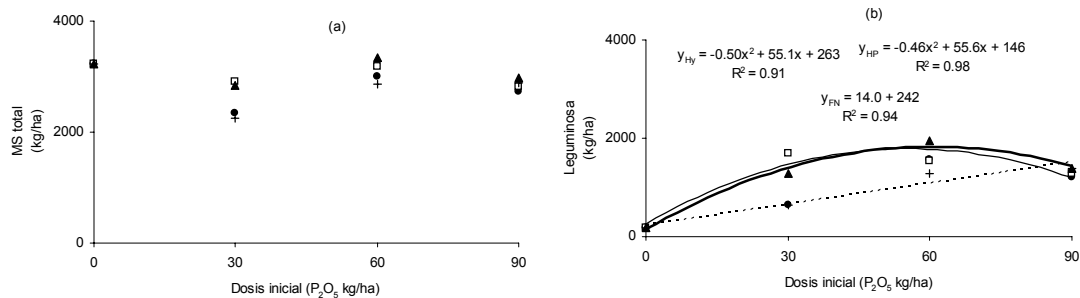


Figura 1. Efecto de la fuente (Superfosfato simple ●, Hyperfos □, Hiperfosfato en polvo ▲ y Fosforita natural +) y dosis inicial en la producción del primer año de materia seca total (a) y leguminosa (b) de un mejoramiento de lotus cv El Rincón.

2. Residualidad de fuentes y dosis iniciales en la producción del mejoramiento

La producción de materia seca de los tratamientos sin refertilizar al segundo año, no mostró modelos de ajuste significativos para las diferentes fuentes. Sin embargo existe un patrón respuesta que en promedio de las fuentes alcanzó los 14.8 kg/ha de MS por kg/ha de P_2O_5 aplicado a la siembra. Al tercer año tampoco se logró ajustes significativos para ninguna de las fuentes con la dosis inicial ni diferencias entre las mismas, aunque es de destacar la bajísima producción del año, producto de la sequía registrada en el año 1999. Al cuarto año, si bien se logró ajustes para algunas de las fuentes, no hay un patrón claro de respuesta a las dosis aplicadas a la siembra (Figura 2).

Para los tratamientos que recibieron refertilizaciones anuales se encontró ajustes significativos de tipo lineal entre la producción de materia seca total del segundo año y la dosis inicial, en particular para Superfosfato simple e Hyperfos con 19.2 y 15.1 kg/ha de MS por kg/ha de P_2O_5 aplicado a la siembra. Asimismo se detectaron diferencias significativas entre fuentes ($P < 0.01$) siendo la Fosforita natural el fertilizante que presentó el comportamiento más destacado. Si bien al tercer año no hubo efecto significativo de la fertilización inicial, se pudo determinar diferencias entre fuentes ($P < 0.05$), nuevamente con un comportamiento destacado de la Fosforita natural. Al cuarto año, se encontró un ajuste de tipo lineal sólo para el Hiperfosfato en polvo con respuestas de 23.1 kg de materia seca total por cada kg de P_2O_5 aplicado a la siembra. Al igual que en los años anteriores la Fosforita natural continuó mostrando un comportamiento destacado (Figura 2).

En cuanto a la producción del lotus cv. El Rincón en los tratamientos no refertilizados, se encontró una baja producción en el segundo y tercer año, mientras que en el cuarto se observó una contribución aceptable por parte de esta leguminosa detectándose un efecto residual bajo de las dosis iniciales para las diferentes fuentes (2.9-5.3 kg MS por kg de P_2O_5 aplicado a la siembra, Figura 3).

Para los tratamientos refertilizados, no se observó un efecto residual importante de las dosis entre el segundo y cuarto año, independientemente de la fuente utilizada (Figura 3). El comportamiento de las mismas no resultó consistente a lo largo de los años.

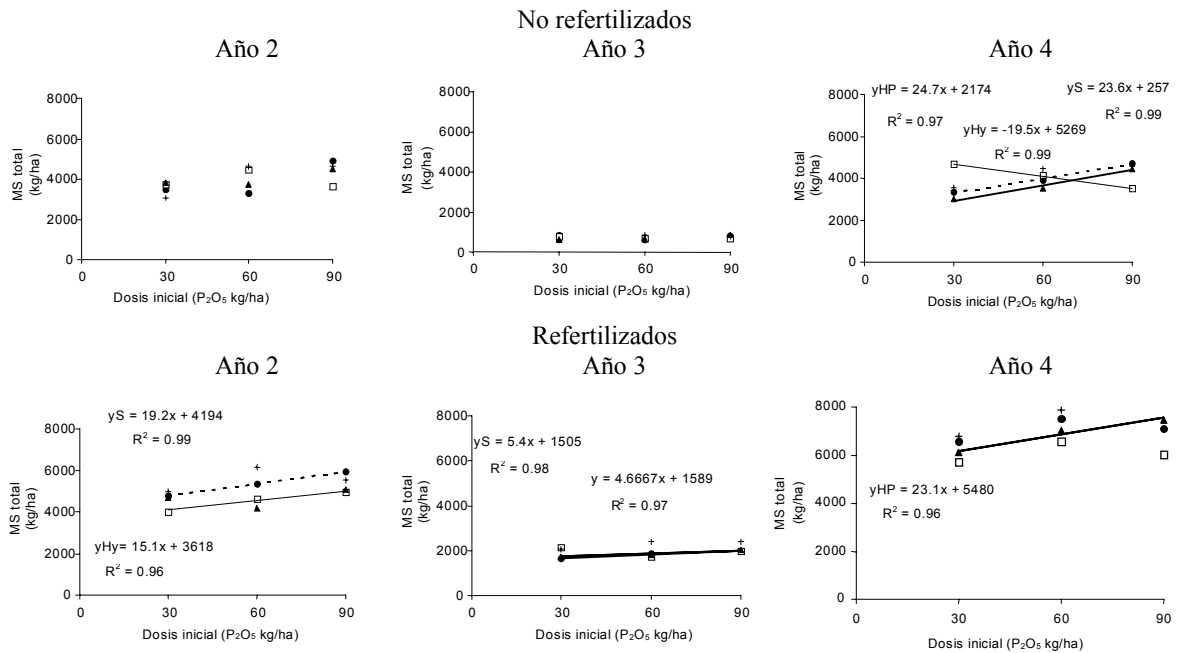


Figura 2. Efecto de la fuente (Superfosfato simple● Hyperfos —□ Hiperfosfato en polvo—▲ Fosforita natural +) y dosis inicial (0, 30, 60 y 90) en la producción de materia seca total del primer año de un mejoramiento de lotus El Rincón entre el segundo y cuarto año, no refertilizado y refertilizado anualmente con 30 kg/ha de P₂O₅.

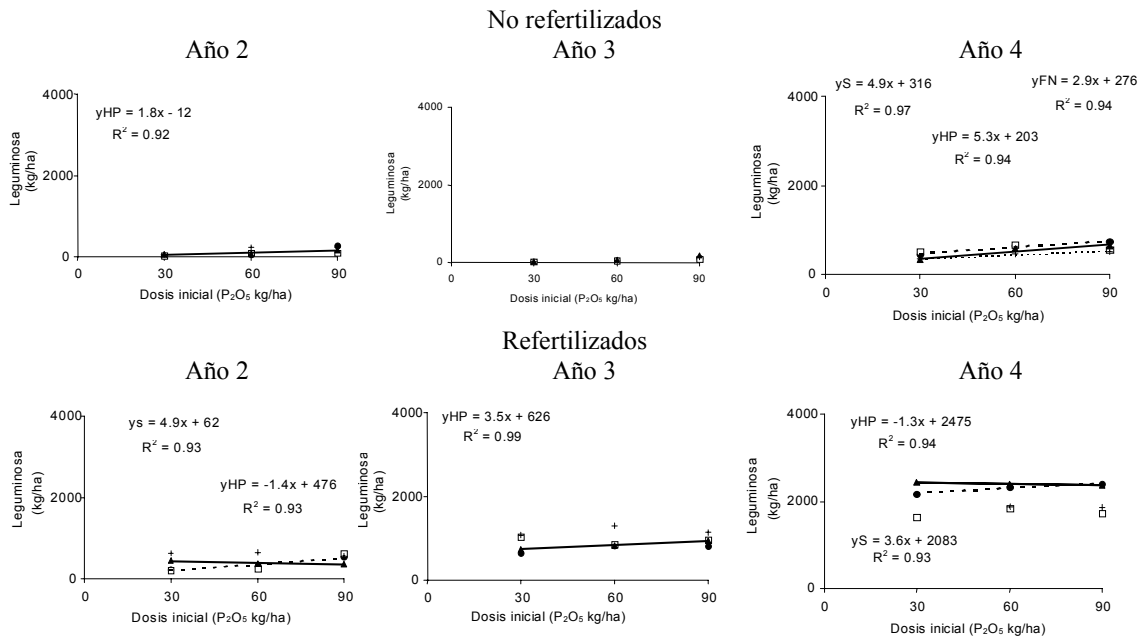


Figura 3. Efecto de la fuente (Superfosfato simple.....●, Hyperfos —□, Hiperfosfato en polvo —▲ y Fosforita natural +) y dosis inicial (0, 30, 60, 90) en la producción materia seca de la leguminosa (lotus cv El Rincón) de un mejoramiento entre el segundo y cuarto año, no refertilizado y refertilizado anualmente con 30 kg/ha de P₂O₅.

3. Estrategias de refertilización

En este estudio se observó una importante variación en la producción total de materia seca de los mejoramientos en los diferentes años estudiados, así como una importante respuesta a las refertilizaciones anuales con 30 kg/ha de P_2O_5 , en un rango de incremento entre 48-102 kg MS total por kg de P_2O_5 aplicado (Figura 4.a). Para la fracción leguminosa los incrementos en producción por efecto de la refertilización se situaron entre 15-50 kg MS total por kg de P_2O_5 aplicado anualmente en la refertilización. Estos valores resultan sustancialmente más bajos que los encontrados para la producción total del mejoramiento lo que indica un efecto dinamizador del lotus cv. El Rincón en la performance de la pastura natural.

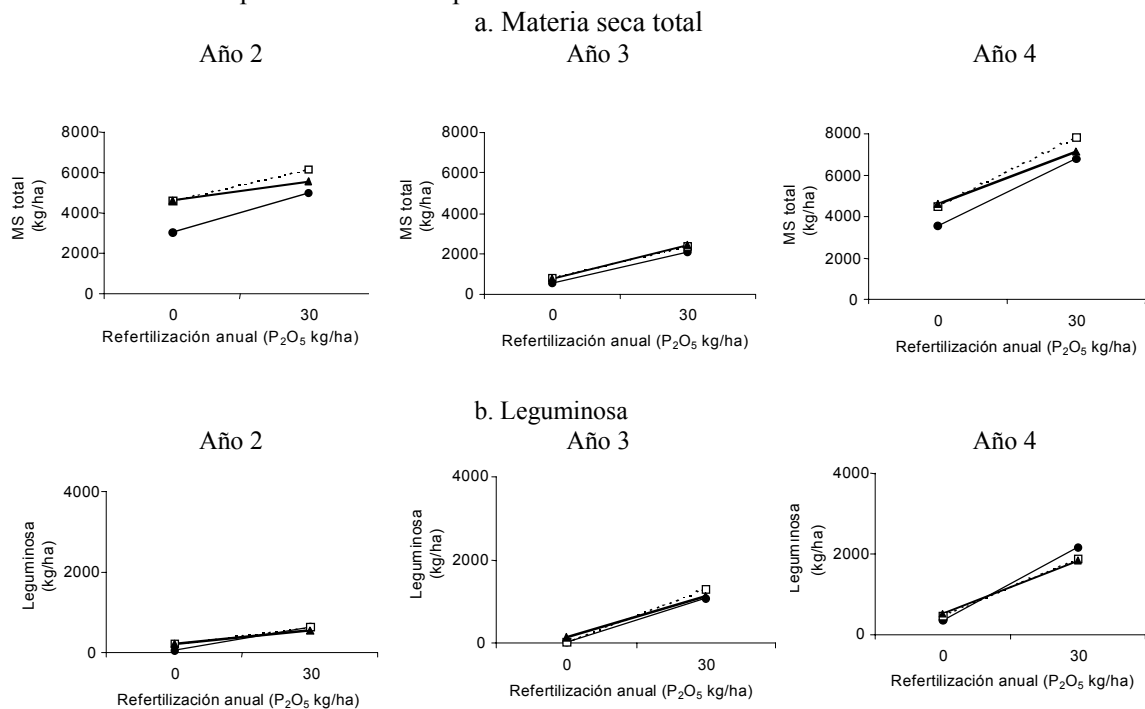


Figura 4. Efecto de la refertilización con Fosforita natural para distintas dosis iniciales (30.....●, 60 —□ y 90 —▲ kg/ha de P_2O_5) en la producción de materia seca total (a) y de la leguminosa (lotus El Rincón) (b) entre el segundo y cuarto año.

Consideraciones finales

- No se encontró una respuesta en producción de materia seca total del mejoramiento del primer año a las dosis de fertilización aplicadas a la siembra.
- El lotus cv El Rincón alcanzó los máximos de producción en el primer año con 55 y 60 kg/ha de P_2O_5 cuando se utilizó Hyperfos e Hiperfosfato en polvo respectivamente. La respuesta obtenida con Fosforita natural fue tipo lineal hasta 90 kg/ha de P_2O_5 , mientras que con Superfosfato no se logró un modelo de ajuste significativo.

- Se detectó un efecto residual de la fertilización inicial en la producción de materia seca total del segundo año de 14.8 kg MS por kg/ha de P_2O_5 para el promedio de las fuentes en los tratamientos no refertilizados, mientras que en los refertilizados este efecto se situó entre 15.1-23.1 kg/ha de P_2O_5 aplicado en el segundo y cuarto año respectivamente.
- A pesar de las variaciones registradas en este estudio, la Fosforita natural fue el fertilizante que mostró el comportamiento más destacado.
- En la producción de la leguminosa no se registró un efecto residual de la fertilización inicial, siendo la respuesta variable entre años e independiente de la fuente tanto para los tratamientos que no fueron refertilizados anualmente como aquellos que lo fueron.
- Se registró una importante respuesta a las refertilizaciones anuales tanto en producción de materia seca total como de la leguminosa, con rangos de 48 a 102 y 15-50 kg/ha de MS por kg de P_2O_5 respectivamente.

Agradecimientos

A Industrias Sulfúricas del Uruguay S.A. (ISUSA) por la cofinanciación del trabajo.

A los Ing. Agr. Santiago Ferrés, Pedro Queheille e Ignacio Riet por su colaboración en el análisis de la información.

Bibliografía consultada

Ferrés, S.; Queheille, P. y Riet, I. (2003). Fertilización fosfatada en mejoramientos de campo en la Región Este. Tesis Facultad de Agronomía. Montevideo, Uruguay. 151 p.

3.3. Estrategias de fertilización para mejoramientos de *Lotus pedunculatus*

Walter Ayala⁽¹⁾, Raúl Bermúdez⁽²⁾

Introducción

Bajo las condiciones de muchos de los suelos del Uruguay, con carencia aguda de fósforo y elevada acidez, *Lotus pedunculatus* muestra una gran capacidad para prosperar en esas condiciones, lo que resulta de suma relevancia para las regiones de ganadería extensiva. Si bien es una especie más eficiente que el trébol blanco para utilizar el fósforo disponible del suelo, necesita de todas maneras de la fertilización fosfatada, aunque más no sea en dosis bajas a moderadas, para facilitar su nodulación, establecimiento y persistencia productiva. En condiciones de baja fertilidad, esta especie se destaca por sobre trébol blanco en base a una mayor capacidad de extraer fósforo a través de una capacidad importante de acidificación de la rizósfera, lo que le permitiría obtener más fósforo de fuentes de lenta liberación ya que provoca una mayor disolución directa (Trolove et al., 1996). Todo esto ha llevado a que esta especie se encuentre hoy en una franca expansión en distintas regiones del país, siendo fundamental el conocimiento sobre las estrategias más apropiadas en cuanto al manejo de su fertilización.

Materiales y Métodos

El presente trabajo resume información recabada sobre el cultivar de *Lotus pedunculatus* cv. Maku (experimento 1, en marcha) y sobre una línea experimental a ser lanzada próximamente al mercado por INIA, LE627 (experimento 2), con resultados para el período 2000-2004 y 2000-2002 respectivamente. Los trabajos se desarrollaron en la Unidad Experimental Palo a Pique sobre un suelo de la Unidad Alférez, presentando el mismo un pH_{agua} de 5.3, materia orgánica 5%, fósforo Ácido cítrico 4.5 ppm y potasio 0.47 meq/100 g. Se sembraron en cobertura a una densidad de siembra de 4 y 5 kg/ha para lotus cv. Maku y lotus LE627, respectivamente.

El diseño del experimento 1 consiste en un factorial (2 x 7) en parcelas al azar al que se le agregó un testigo sin fertilización. Los tratamientos fueron constituídos por dos niveles de fósforo a la siembra (30 y 60 kg/ha de P₂O₅) y siete estrategias de refertilización anual todos en base a Hyperfós (0-14/28/0) los cuales son descriptos en el cuadro 1.

⁽¹⁾ Ing.Agr. PhD, Programa Plantas Forrajeras, INIA Treinta y Tres

⁽²⁾ Ing.Agr. MPhil, Programa Plantas Forrajeras, INIA Treinta y Tres

Cuadro 1. Estrategias de refertilización en kg/ha de P₂O₅ entre el segundo y quinto año del mejoramiento.

Año 2001	Año 2002	Año 2003	Año 2004	Total refertilizaciones
30	0	30	0	60
30	30	30	30	120
45	45	45	45	180
60	0	60	0	120
60	60	60	60	240
90	0	90	0	180
120	0	120	0	240

El diseño del experimento 2 consistió en cuatro niveles de fósforo a la siembra (0, 40, 80 y 160 kg/ha de P₂O₅) en parcelas al azar. Anualmente se refertilizaron todos los tratamientos con 40 kg/ha de P₂O₅ siendo la fuente utilizada Superfosfato simple (0-21/23-0), tanto en la siembra como en las refertilizaciones.

Las determinaciones en la pastura para ambos experimentos consistieron en producción de materia seca total y de lotus. Se realizó un muestreo anual de los suelos para determinar el contenido de fósforo por el método del Ácido cítrico.

Resultados

Lotus Maku (Experimento 1)

1. Efecto de la dosis inicial en la producción del primer año

Para la producción de materia seca total de la pastura y dosis inicial de fósforo, en el primer año no se logró un modelo de ajuste significativo, aunque entre el nivel 0 y 60 se obtuvo una respuesta de 39.8 kg de MS por cada kg de P₂O₅ aplicado (Figura 1).

Para la fracción lotus cv. Maku se ajustó un modelo lineal, con una respuesta de 45.8 kg de MS por cada kg de P₂O₅ aplicado para el rango de dosis evaluado (0-60 kg de P₂O₅) (Figura 1).

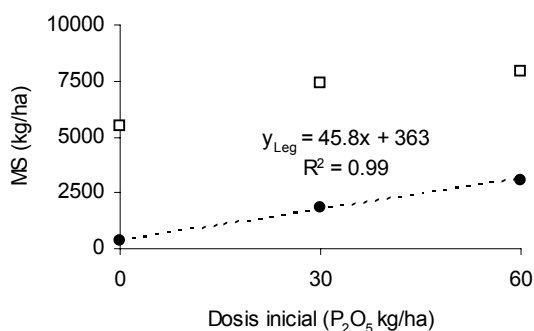


Figura 1. Efecto de la dosis inicial de Hyperfos en la producción de materia seca total y leguminosa de un mejoramiento con Lotus cv. Maku. (□ Producción total;● Producción del lotus cv. Maku).

2. Efecto de la refertilización anual en la producción del mejoramiento

La producción de materia seca total del segundo año no ajustó significativamente a una función lineal en los tratamientos fertilizados a la siembra con 30 o 60 kg/ha de P₂O₅, sin embargo se visualiza una tendencia a incrementar los rendimientos con el aumento de las dosis de refertilización (Figura 2).

La producción de la leguminosa mostró ajustes de tipo lineal con respuestas de 28.1 y 41.2 kg de MS por cada kg de P₂O₅ aplicado en los tratamientos fertilizados a la siembra con 30 y 60 kg/ha de P₂O₅ respectivamente (Figura 2). Asimismo se observa un efecto residual de la fertilización al primer año en la producción de leguminosa con un 48% más de producción al pasar de 30 a 60 kg/ha de P₂O₅ a la siembra.

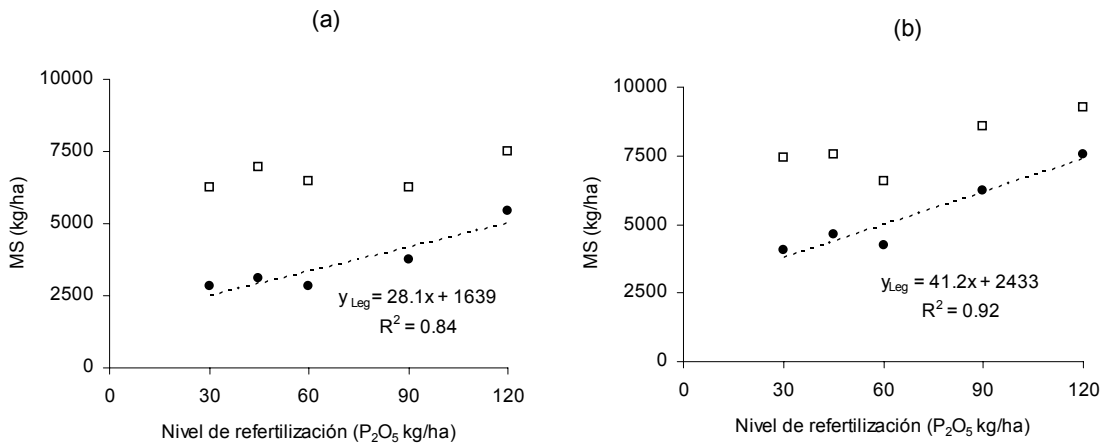


Figura 2. Efecto de la refertilización con Hyperfos para mejoramientos fertilizados a la siembra con (a) 30 y (b) 60 kg/ha de P₂O₅ en la producción de materia seca total (□) y leguminosa (..... ●) para un mejoramiento de segundo año de lotus cv. Maku.

La producción de materia seca total del tercer año no ajustó significativamente a una función lineal, tanto en los tratamientos refertilizados a la siembra con 30 o 60 kg/ha de P₂O₅, no mostrando mayores efectos de las dosis recibidas (Figura 3). No se registró un efecto residual de las dosis recibidas a la siembra del mejoramiento.

La producción de la leguminosa mostró ajustes de tipo lineal con respuestas de 51.0 y 65.7 kg de MS por cada kg de P₂O₅ aplicado en los tratamientos fertilizados a la siembra con 30 y 60 kg/ha de P₂O₅ respectivamente (Figura 3). No se observó un efecto residual de la fertilización inicial del mejoramiento en la producción de leguminosa del tercer año.

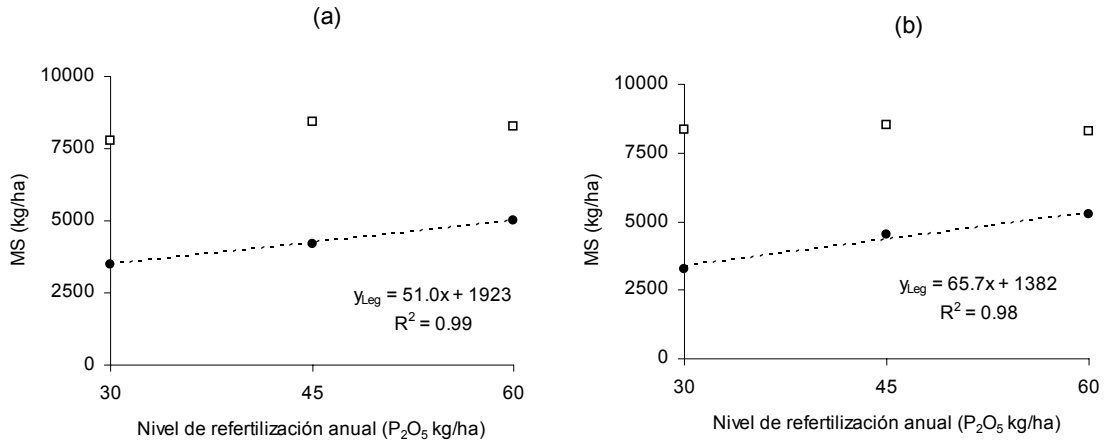


Figura 3. Efecto de la refertilización anual con Hyperfos en la producción de materia materia seca total (□) y leguminosa (..... ●) para mejoramientos fertilizados a la siembra con (a) 30 y (b) 60 kg/ha de P₂O₅ para un mejoramiento de tercer año de lotus Maku.

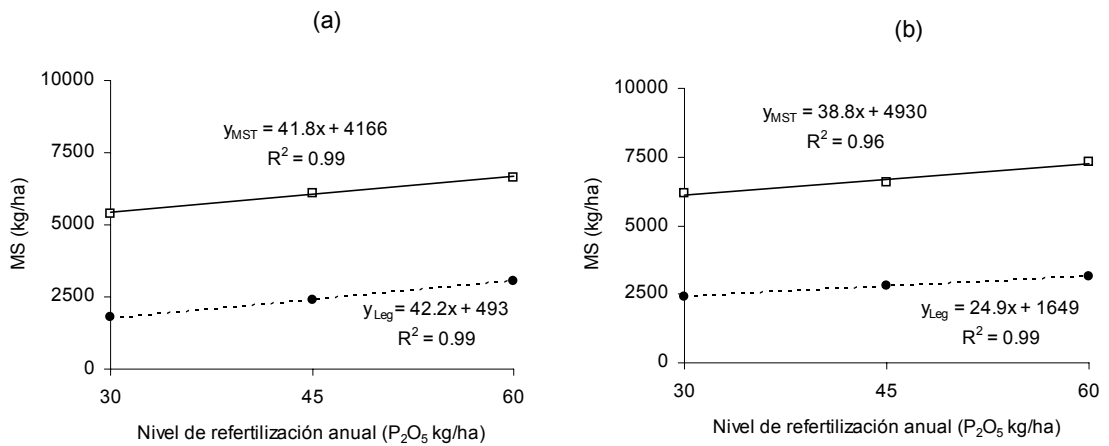


Figura 4. Efecto de la refertilización anual con Hyperfos en la producción de materia seca total (— □) y leguminosa (..... ●) para mejoramientos fertilizados a la siembra con (a) 30 y (b) 60 kg/ha de P₂O₅ para un mejoramiento de cuarto año de lotus cv. Maku.

La producción de materia seca total del cuarto año ajustó significativamente a una función lineal con respuestas de 41.8 y 38.8 kg de MS por cada kg de P₂O₅ aplicado, en los tratamientos refertilizados a la siembra con 30 o 60 kg/ha de P₂O₅ respectivamente. Visualizándose una tendencia a incrementar los rendimientos con el aumento de las dosis de refertilización (Figura 4). No se registró un efecto residual de las dosis recibidas a la siembra del mejoramiento.

La producción de la leguminosa mostró ajustes de tipo lineal con respuestas de 42.2 y 24.9 en los tratamientos fertilizados a la siembra con 30 y 60 kg/ha de P₂O₅ respectivamente (Figura 2). La producción de la leguminosa fue un 36% superior en el mejoramiento que fue instalado con 60 kg/ha de P₂O₅ respecto al que lo fue con 30 kg/ha de P₂O₅, cuando se lo refertilizó con 30 kg/ha/año de P₂O₅. Este efecto residual se anuló cuando se los refertilizó anualmente con 60 kg/ha de P₂O₅.

3. Efecto de la refertilización en años alternados

Se estudió el efecto que produjo en la producción de la leguminosa el hecho de refertilizar o no al tercer año. Se observó que para los tratamientos que se refertilizaban con un plano bajo (30 kg/ha de P_2O_5 , Figura 5a), el no refertilizar redujo la producción del tercer año un 40% respecto al tratamiento fertilizado siempre con 30 kg/ha de P_2O_5 (trat. 30-30-30-30 base=100). Para los tratamientos inicialmente fertilizados con 60 kg/ha de P_2O_5 (trat. 60-30-0-30) la producción de leguminosa del tercer año cayó un 31% por el hecho de no refertilizar. En todos los tratamientos se perdió el efecto de la dosis inicial en el tercer año, aunque se volvió a manifestar el mismo al cuarto año en el refertilizado anualmente.

Para los tratamientos que inicialmente recibieron 60 kg/ha de P_2O_5 y se refertilizaban con un plano medio (60 kg/ha de P_2O_5 , Figura 5b), el no refertilizar redujo la producción del tercer año un 50% respecto al tratamiento fertilizado siempre con 60 kg/ha de P_2O_5 (trat. 60-60-60-60). Para los que inicialmente fueron fertilizados con 30 kg/ha de P_2O_5 (trat. 30-60-0-60) la producción de leguminosa del tercer año cayó un 46% por el hecho de no refertilizar. Tanto en los tratamientos fertilizados regularmente, como en los fertilizados en años alternados, el efecto de la dosis inicial se pierde a partir del tercer año (Figura 5b).

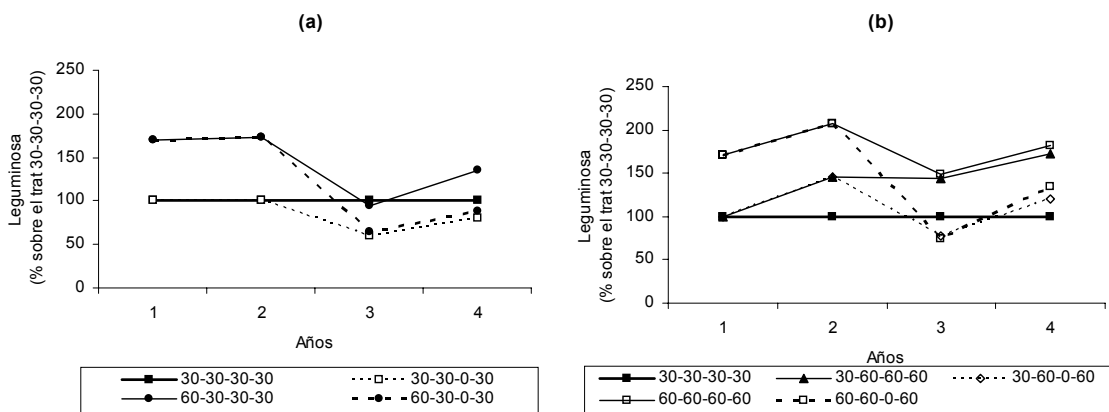


Figura 5. Evolución del contenido de leguminosa en relación al tratamiento fertilizado anualmente con 30 kg/ha de P_2O_5 (ver 30-30-30-30) para todos los tratamientos refertilizados con 30 kg/ha de P_2O_5 (a) y para todos los tratamientos refertilizados con 60 kg/ha de P_2O_5 (b), siendo los números que figuran en la leyenda los kg/ha de P_2O_5 aplicados anualmente.

Lotus LE627 (Experimento 2)

1. Efecto de la dosis inicial en la producción del primer año

Para la producción de materia seca total del primer año se encontró un modelo de ajuste significativo de tipo cuadrático con la dosis inicial aplicada de superfosfato, alcanzando el máximo de producción en los 130 kg/ha de P_2O_5 . Entre 0 y 80 kg/ha de P_2O_5 los niveles de respuesta en producción de materia seca se situaron en 46.5 kg/ha de MS por kg de P_2O_5 aplicado (Figura 6).

Para la fracción leguminosa, se ajustó un modelo lineal entre 0 y 160 kg/ha de P_2O_5 , con respuestas de 23 kg/ha de MS por kg de P_2O_5 aplicado en forma de superfosfato (Figura 6). La contribución del lotus LE627 al total del mejoramiento en el primer año fue 10, 29, 43 y 55% para los niveles de 0, 40, 80 y 160 kg/ha de P_2O_5 aplicado respectivamente.

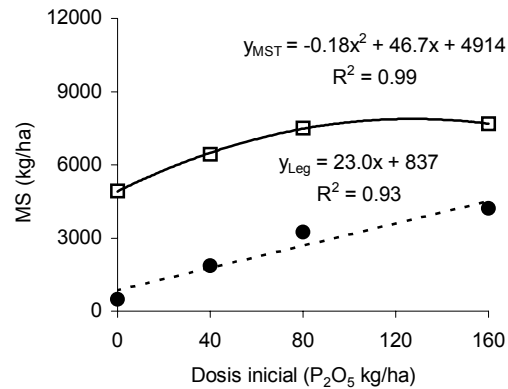


Figura 6. Efecto de la dosis inicial de Superfosfato simple en la producción de materia seca total (— □) y leguminosa (..... ●) de un mejoramiento con *Lotus pedunculatus* LE627.

2. Residualidad de las dosis iniciales en la producción del segundo año del mejoramiento

Para la producción de materia seca total del segundo año se encontró un modelo de ajuste significativo de tipo cuadrático con la dosis inicial aplicada, alcanzando el máximo de producción en los 120 kg/ha de P_2O_5 . Entre 0 y 80 kg/ha de P_2O_5 los niveles de respuesta en producción de materia seca se situaron en 67.1 kg/ha de MS por kg de P_2O_5 aplicado (Figura 7).

La leguminosa también presentó un modelo de ajuste cuadrático, con un máximo de producción en 127 kg/ha de P_2O_5 . Entre 0 y 80 kg/ha de P_2O_5 los niveles de respuesta en producción de leguminosa resultó de 70.6 kg/ha de MS por kg de P_2O_5 aplicado (Figura 7). La contribución del lotus LE627 al total del mejoramiento en el segundo año para los niveles aplicados en el primer año de 0, 40, 80 y 160 kg/ha de P_2O_5 , y refertilizados al segundo año con 160 kg/ha de P_2O_5 fue 7, 33, 42 y 46% respectivamente.

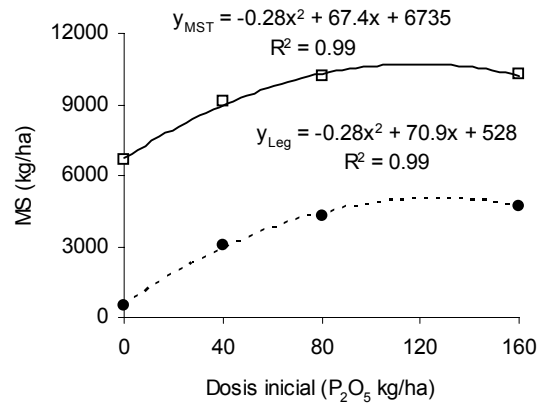


Figura 7. Efecto de la dosis inicial en la producción de materia seca total (— □) y leguminosa (.....●) de un mejoramiento de *Lotus pedunculatus* LE627 refertilizado con 40 kg/ha de P₂O₅ de Superfosfato simple

Consideraciones finales

- La producción del primer año tanto de lotus Maku como la línea experimental LE627 se incrementó en forma lineal por el aumento de la fertilización inicial, con respuestas de 45.8 y 23 kg/ha de MS por kg de P₂O₅ aplicado, respectivamente.
- La respuesta de lotus Maku a la refertilización anual dependió de la dosis inicial, incrementándose de 28.1 a 41.2 kg/ha de MS cuando se habían fertilizado a la siembra con 30 y 60 kg/ha de P₂O₅. Para el tercer y cuarto año se perdió el efecto de la dosis inicial, encontrándose respuestas a la refertilización anual que se situaron en un rango entre 24.9 y 65.7 kg/ha de MS por kg de P₂O₅ aplicado.
- El hecho de no refertilizar al tercer año hizo que la producción se resintiera inmediatamente, aunque si al cuarto año o sea al año siguiente se refertiliza, el mejoramiento recompone su productividad aunque no alcanza los rendimientos del tratamiento refertilizado regularmente.

Agradecimientos

A los Ing. Agr. Santiago Ferrés, Pedro Queheille e Ignacio Riet por su colaboración en el análisis de la información

Bibliografía consultada

Ferrés, S.; Queheille, P. y Riet, I. (2003). Fertilización fosfatada en mejoramientos de campo en la Región Este. Tesis Facultad de Agronomía. Montevideo, Uruguay. 151 p.

Trolove, S N.; Hedley, M.J.; Caradus, J.R.; Mackay, A.D. 1996. Uptake of phosphorus from different sources by *Lotus pedunculatus* and three genotypes of *trifolium repens*. 2. Forms of phosphate utilized and acidification of the rhizosphere. Australian Journal of Soil Research 34: 1027-1040.

3.4. Efecto del Fósforo y Azufre en mejoramientos de trébol blanco

Walter Ayala⁽¹⁾, Raúl Bermúdez⁽²⁾, Alejandro Morón⁽³⁾

Introducción

El azufre está presente en las plantas principalmente bajo forma de proteínas. En el suelo se encuentra mayoritariamente bajo formas orgánicas, quedando disponible para las plantas sólo luego del proceso de mineralización realizado por los microorganismos. Las gramíneas resultan muy competitivas por este elemento llegando a utilizar el 95% del azufre proveniente de la mineralización, por lo que las leguminosas dependen casi por completo de otras fuentes como retornos atmosféricos y fertilización (Langer, 1973).

En algunas condiciones de Uruguay se han reportado deficiencias de azufre (Morón y Baethgen, 1996 y Zamalvide, com pers, citados por Carámbula, 2003), lo cual podría estar limitando el crecimiento de las pasturas en casos de fertilizaciones por largo plazo con fosforita. Dado que el azufre elemental debe ser oxidado a sulfatos antes de que quede disponible para las plantas, se considera que el azufre elemental tendría una menor acción en lo inmediato, pero un efecto residual mayor que las fuentes de azufre en base a yeso (Ludecke, 1965). El objetivo de este trabajo consistió en evaluar la respuesta de trébol blanco frente a diferentes dosis y fuentes de azufre.

Materiales y Métodos

El presente trabajo resume información recabada en la Unidad Experimental Palo a Pique sobre suelos de la Unidad Alférez, en el período 2000-2002, sobre un mejoramiento de campo de trébol blanco cv. Zapicán. Los tratamientos aplicados en dos años consecutivos consistieron en cuatro niveles de fósforo como Superfosfato triple (0, 40, 80 y 160 kg/ha P_2O_5 aplicado) más cuatro tratamientos en el nivel de 80 kg/ha de P_2O_5 que resultan de la combinación de dos dosis (25 y 50 kg/ha de S) y dos fuentes del mismo (yeso, SO_4Ca y azufre elemental, S)

Las determinaciones consistieron en producción de materia seca total y del trébol blanco. Se realizaron muestreos del forraje de trébol blanco en la primavera del segundo año a los efectos de determinar el contenido de fósforo, nitrógeno y azufre en la planta.

Resultados

Respuesta a la fertilización fosfatada en el primer y segundo año

En primer término se encontró una respuesta significativa de tipo cuadrático a las dosis iniciales de fósforo en producción de materia seca total del primer año (Figura 1a), con máximos de producción en los 150 kg/ha de P_2O_5 . La respuesta entre 0 y 80 kg/ha de P_2O_5 fue de 28.5 kg de MS por kg de P_2O_5 aplicado. El trébol blanco respondió en forma lineal dentro del rango evaluado (0-160 kg/ha de P_2O_5) con una respuesta de 13.2 kg de MS por kg de P_2O_5 .

⁽¹⁾ Ing. Agr. PhD, Programa Plantas Forrajeras, INIA Treinta y Tres

⁽²⁾ Ing. Agr. MPhil, Programa Plantas Forrajeras, INIA Treinta y Tres

⁽³⁾ Ing. Agr. Dr., Sección Suelos, INIA La Estanzuela

En el segundo año, luego de repetir las fertilizaciones del primer año se obtuvo respuestas lineales tanto en materia seca total como del trébol blanco, con valores de 35.4 y 20.7 kg de MS por kg de P₂O₅ aplicado.

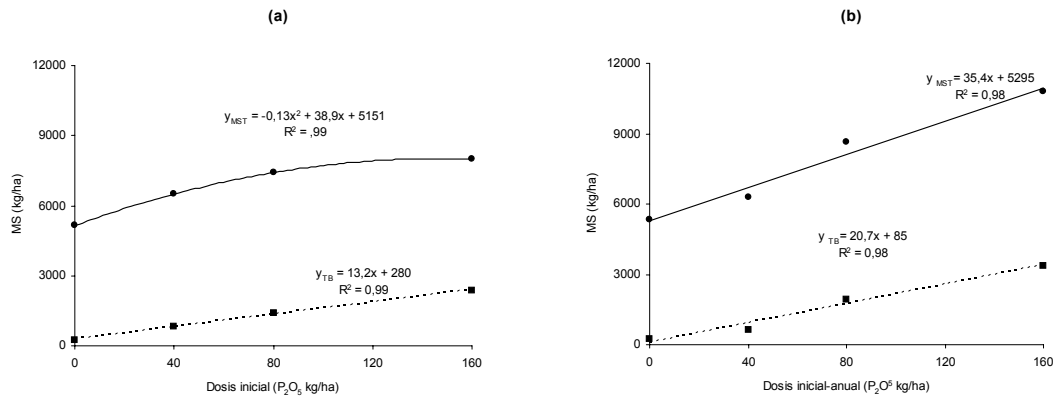


Figura 1. Respuesta a la fertilización fosfatada inicial (a) y a la refertilización al primer y segundo año en la producción de materia seca total (● —) y trébol blanco (■ ---) de un mejoramiento de campo.

Respuesta al azufre en la producción del primer y segundo año

Tanto en la producción de materia seca total como de trébol blanco en los dos años evaluados, no se encontró diferencias significativas para ninguna de las fuentes ni para los niveles estudiados (Cuadro 1).

Cuadro 1. Efecto de las dosis y fuentes de azufre en la producción (MS kg/ha) de materia seca total y trébol blanco en lo dos primeros años de un mejoramiento de campo.

	Año 1		Año 2	
	Materia seca total	Trébol blanco	Materia seca total	Trébol blanco
Testigo (P80)	7418	1417	8629	1910
P80 – S25	6952	1151	8392	1768
P80 – S 50	7265	1167	8371	1760
P80 – Yeso 25	7401	1462	8375	1768
P80 – Yeso 50	7053	1541	7937	1806
Significancia	ns	ns	ns	ns

ns, no significativo

Contenido de fósforo, nitrógeno y azufre en forraje

El contenido de fósforo en el forraje fue incrementado significativamente por el aumento de la fertilización fosfatada, no encontrándose diferencias para el contenido de nitrógeno y azufre (Cuadro 2).

Cuadro 2. Contenido de fósforo (P), nitrógeno (N) y azufre (S) en el forraje de trébol blanco bajo diferentes niveles de fósforo (0-160 kg/ha de P_2O_5) en promedio de dos cortes de primavera

	P (mg/g)	N(%)	S (mg/g)
P0	1.36 c	3.36	1.88
P40	1.50 c	3.33	1.80
P80	1.81 b	3.52	1.92
P160	2.28 a	3.71	1.84
Significancia	**	ns	Ns

a, b, c: medias con letras distintas dentro de una misma columna son significativamente diferentes entre sí (LSD 0,05). **: $P < 0.05$, ns: no significativo

La aplicación de azufre no modificó los contenidos de fósforo ni de nitrógeno en el forraje (Cuadro 3). Únicamente el agregado de azufre en forma elemental, a una dosis de 50 kg/ha/año, incrementó el contenido de este elemento en el forraje en un 15% respecto al promedio de los demás tratamientos.

Cuadro 3. Contenido de fósforo (P), nitrógeno (N) y azufre (S) en el forraje de trébol blanco bajo diferentes niveles (25 y 50 kg/ha de S) y fuentes de azufre (S elemental y Yeso) todos bajo un nivel de fósforo (P80=80 kg/ha de P_2O_5) en promedio de dos cortes de primavera

	P (mg/g)	N(%)	S (mg/g)
Testigo (P80)	1.81	3.52	1.92 b
P80 – S25	1.72	3.60	1.93 b
P80 – S 50	1.83	3.75	2.18 a
P80 – Yeso 25	1.77	3.52	1.93 b
P80 – Yeso 50	1.79	3.62	1.82 b
Significancia	ns	ns	*

a, b.: medias con letras distintas dentro de una misma columna son significativamente diferentes entre sí (LSD 0.05). *: $P < 0.05$; ns: no significativo

Los resultados muestran que el tratamiento con azufre elemental (S50) con mayor contenido de azufre en el forraje tendió a mostrar un mayor contenido de fósforo, coincidiendo con los resultados obtenidos por Sinclair et al. (1997) y disminuyó a su vez la relación N/P. Por otra parte las deficiencias de azufre redujeron el contenido de nitrógeno.

Consideraciones finales

- Se encontraron respuestas a las dosis de fósforo aplicadas en los dos años de evaluación tanto en la producción de materia seca total como de trébol blanco.
- No se encontró un efecto positivo dado por la fuente ni por la dosis de azufre en producción de materia seca total, ni del trébol blanco.
- La aplicación de 50 kg/ha/año de azufre elemental aumentó el contenido azufre en el forraje de trébol blanco producido en la primavera del segundo año.
- Si bien no se encontraron resultados que induzcan a pensar en una necesidad de incorporar azufre en los esquemas de fertilización, cabe hacer la salvedad que esta evaluación se realizó bajo corte sin el efecto animal lo cual pudo acelerar las tasas de oxidación del azufre elemental al modificar su dinámica en el suelo (Gohl y Nguyen, 1990).

Bibliografía consultada

Carámbula, M. 2003. Pasturas y forrajes. II. Insumos, implantación y manejo de pasturas, Editorial Hemisferio Sur. 371 p.

Gohl, K.M.; Nguyen, M.L. 1990. Effects of grazing animals on the plant availability of sulphur fertilisers in grazed pastures. Proceedings of the New Zealand Grasslands Association 52: 181-185.

Langer, R.H.M. 1973. Pastures and pasture plants. Reed Book. Wellington, New Zealand.

Ludecke, T.E. 1965. Further aspects of sulphur nutrition of legumes. Proceedings of the New Zealand Grasslands Association 27:129-138.

Sinclair, A.G; Morrison, J.D.; Smith, L.C.; Dodds, K.G. 1997. Effects and interactions of phosphorus and sulphur on a mown white clover/ryegrass sward. Indices of nutrient adequacy. New Zealand journal of Agricultural Research 40:297-307

3.5. Residualidad del fósforo en mejoramientos de trébol blanco y lotus sobre un suelo de Colinas ⁽¹⁾

Raúl Bermúdez⁽²⁾, Walter Ayala⁽³⁾, Alejandro Morón⁽⁴⁾, Carlos Mas⁽⁵⁾

Introducción

Los suelos del Uruguay presentan un rango relativamente amplio de características físico químicas que determinan una variación importante en la dinámica del fósforo agregado por distintas fuentes. La mayoría de los suelos muestra un pasaje bastante rápido del fósforo agregado a formas no disponibles, siendo la magnitud y velocidad de este proceso definida a través de *la tasa de descenso*, que indica el porcentaje anual de disminución del fósforo disponible (Baethgen y Pérez, 1981). Una segunda característica que importa conocer es el incremento en la disponibilidad de fósforo estimado por análisis de suelo, luego de agregar una determinada cantidad de fertilizante fosfatado lo que se define como *equivalente fertilizante* que es la cantidad de kg de fósforo necesarios para aumentar el valor de análisis en una ppm (Díaz et al. 1981). Con tal fin se planteó una serie de trabajos sobre distintos suelos, realizándose en la Región Este dos de los mismos, en esta circunstancia sobre un suelo de colinas.

Materiales y Métodos

Los estudios se realizaron sobre un suelo de la unidad Bañado de Oro que poseía las siguientes características (Cuadro 1).

Cuadro 1. Análisis químico del suelo de la Unidad Bañado de Oro.

Profundidad (cm)	pH (agua)	M. Orgánica (%)	P (Ác. cítrico) (ug P/g)	K (meq/100g)
0-5	5.1	3.9	1.8	0.64
5-10	5.2	2.9	1.1	0.41

En 4 años consecutivos entre 1982 y 1985 se instalaron mejoramientos constituídos por una mezcla de trébol blanco cv. Zapicán y lotus cv. San Gabriel a razón de 4 y 8 kg/ha de semilla respectivamente sembrados previo laboreo mínimo del suelo.

Los tratamientos consistieron en dos fuentes de fósforo (Superfosfato simple, 0-21/23-0 e Hiperfosfato micropulverizado, (0-12/30-0) y dos niveles de fósforo en el año de implantación (bajo: 88 kg/ha de P₂O₅ y alto: 220 kg/ha de P₂O₅). El diseño experimental fue un factorial (2*2) en bloques al azar con 4 repeticiones.

Las determinaciones durante los cuatro primeros años de la pastura incluyeron la producción de materia seca total así como de sus componentes (trébol blanco, lotus y especies nativas).

⁽¹⁾ Información recabada por CIAAB, Estación Experimental del Este, sin publicar

⁽²⁾ Ing. Agr., MPhil, Programa Plantas Forrajeras, INIA Treinta y Tres

⁽³⁾ Ing. Agr., PhD, Programa Plantas Forrajeras, INIA Treinta y Tres

⁽⁴⁾ Ing. Agr., Dr., Sección Suelos, INIA La Estanzuela

⁽⁵⁾ Ing. Agr., MSc, Programa Plantas Forrajeras, INIA Tacuarembó

Anualmente se realizaron muestreos de suelo a dos profundidades (0-5 cm y 5-10 cm) para determinar el contenido de fósforo del suelo, presentándose los resultados obtenidos en este estudio por el método de Ácido cítrico.

Se realizaron ajustes de regresión de las curvas de descenso del fósforo disponible con la edad de la pastura, fuente de fósforo y nivel aplicado a la siembra, para lo cual se utilizó el procedimiento seguido por Castro et al. (1981) a saber:

$y = \log$ del promedio de: (fósforo disponible con fertilización inicial y sin fertilización menos fósforo disponible en el tratamiento testigo)
 $x =$ no. de años después de la fertilización.

El coeficiente lineal de la regresión es negativo y el antilogaritmo de este coeficiente (Pr) expresa el efecto residual de cada kg de P_2O_5/ha . El valor de $1-Pr$ representa el la tasa anual de descenso del valor de análisis. Se calculó el equivalente fertilizante (EF) en forma de kg/ha de P_2O_5 necesarios para incrementar en 1 ppm el contenido de fósforo en el suelo.

Resultados

Efecto de la fuente y dosis fósforo en la producción del primer año

No se detectó efecto de la fuente de fósforo en la producción de materia seca total, trébol blanco y especies nativas (Cuadro 2). Se registró una respuesta de 42 y 102% al pasar del nivel bajo al alto de fertilización para el promedio de las fuentes en materia seca total y trébol blanco respectivamente.

En lotus se registró una interacción significativa fuente*dosis ($P < 0.05$), siendo la producción con Superfosfato un 38 y 75% superior a la con Hiperfosfato en los niveles bajo y alto de fertilización respectivamente. Asimismo, la respuesta a la fertilización al pasar del nivel bajo al alto fue de 97 y 54% para Superfosfato e Hiperfosfato respectivamente. Para las especies nativas también se registró una interacción significativa fuente*dosis ($P < 0.01$) registrándose una sustitución de las citadas especies a favor de las leguminosas al aumentar la fertilización con Superfosfato. Este comportamiento no fue observado cuando se utilizó Hiperfosfato (Cuadro 2).

Cuadro 2. Efecto de la fuente y dosis de fertilizante fosfatado en el año de implantación en la producción del primer año (MS kg/ha) de forraje total, trébol blanco, lotus y especies nativas del primer año (promedio de 4 años).

		Forraje total	T. blanco	Lotus	Especies nativas
Fuente*Dosis					
Superfosfato	Bajo	2587 b	392 b	849 bc	1346 ab
Superfosfato	Alto	3406 a	676 ab	1671 a	1058 c
Hiperfosfato	Bajo	2205 b	424 b	617 c	1163 bc
Hiperfosfato	Alto	3357 a	984 a	953 b	1419 a
Significancia					
Fuente		ns	ns	**	ns
Dosis		**	**	**	ns
Fuente*Dosis		ns	ns	*	**

a, b, c: medias con letras distintas dentro de una misma columna son significativamente diferentes entre sí, LSD 0.05; *, $p < 0.05$; **, $p < 0.01$; ns, no significativo

La producción promedio del campo natural de ese suelo y en ese período resultó de 732 kg/ha de MS (Mas et al., 1991), siendo la misma incrementada en 3.3 y 4.6 veces por las pasturas mejoradas de primer año fertilizadas con el nivel bajo y alto respectivamente.

Residualidad de fuentes y dosis iniciales en la producción del mejoramiento

Segundo año

En la producción de forraje total del segundo año se registró una interacción significativa fuente*dosis ($P<0.05$), siendo la producción con Hiperfosfato un 34 y 3% superior a la registrada con Superfosfato tanto en el nivel bajo como alto de fertilización respectivamente. Asimismo, la respuesta a la fertilización al pasar del nivel bajo al alto fue de 150 y 36% para Superfosfato e Hiperfosfato respectivamente (Cuadro 3).

En trébol blanco sólo se detectó un efecto significativo de la dosis inicial ($P<0.01$), incrementándose en 580% la producción al aumentar la dosis. En lotus se detectó un efecto del tipo de fuente y de la dosis ($P<0.01$ en ambos casos), con una respuesta de 94% al aumentar la dosis y 44% de superioridad del Hiperfosfato respecto al Superfosfato (Cuadro 3).

Para la producción del segundo año de las especies nativas se encontró una interacción significativa fuente*dosis ($P<0.05$), con una respuesta a la fertilización al pasar del nivel bajo al alto de 38 y 11% en Superfosfato e Hiperfosfato respectivamente (Cuadro 3).

La producción promedio del campo natural de ese suelo y en ese período resultó de 703 kg/ha de MS (Mas et al., 1991), siendo la misma incrementada en un rango entre 5.5 y 10.2 veces por las pasturas mejoradas de segundo año dependiendo del tratamiento aplicado.

Cuadro 3. Efecto de la fuente y dosis de fertilizante fosfatado aplicadas a la siembra en la producción (MS kg/ha) del segundo año de forraje total, trébol blanco, lotus y especies nativas (promedio de 3 años).

		Forraje total	T. blanco	Lotus	Especies nativas
Fuente*Dosis					
Superfosfato	Bajo	3871 c	51 b	770 c	3051 c
Superfosfato	Alto	7182 a	934 a	2023 ab	4225 a
Hiperfosfato	Bajo	5195 b	255 b	1544 bc	3396 c
Hiperfosfato	Alto	7102 a	1146 a	2489 a	3767 b
Significancia					
Fuente		**	ns	**	ns
Dosis		**	**	**	**
Fuente*Dosis		*	ns	ns	*

a, b, c: medias con letras distintas dentro de una misma columna son significativamente diferentes entre sí, LSD 0.05; *, $p<0.05$; **, $p<0.01$; ns, no significativo

Tercer año

Para el tercer año, los mejoramientos fertilizados a la siembra con Hiperfosfato produjeron un 20% más de forraje total que aquellos fertilizados con Superfosfato. Asimismo, se mantiene un efecto de la dosis aplicada a la siembra que alcanza un 8% más de producción para la dosis alta (Cuadro 4).

El aporte del trébol blanco y lotus decayó de manera importante, no detectándose efectos de la dosis y el tipo de fuente empleado (Cuadro 4).

Las especies nativas incrementaron la producción del tercer año un 15% por el aumento en la dosis inicial (Cuadro 4).

La producción promedio del campo natural de ese suelo y en ese período resultó de 578 kg/ha de MS (Mas et al., 1991), siendo la misma incrementada en un rango entre 4.3 y 6.4 veces por las pasturas mejoradas de tercer año dependiendo del tratamiento aplicado.

Cuadro 4. Efecto de la fuente y dosis de fertilizante fosfatado aplicadas a la siembra en la producción (MS kg/ha) del tercer año de forraje total, trébol blanco, lotus y especies nativas (promedio de 2 años).

		Forraje total	T. blanco	Lotus	Especies nativas
Fuente*Dosis					
Superfosfato	Bajo	2457 b	4	165	2289 b
Superfosfato	Alto	2916 b	16	286	2615 ab
Hiperfosfato	Bajo	2752 b	3	231	2518 ab
Hiperfosfato	Alto	3688 a	34	759	2896 a
Significancia					
Fuente		*	ns	ns	ns
Dosis		**	ns	ns	*
Fuente*Dosis		ns	ns	ns	ns

a, b: medias con letras distintas dentro de una misma columna son significativamente diferentes entre sí, LSD 0.05; *, p<0.05; **, p<0.01; ns, no significativo

Cuarto año

Para el cuarto año no se encontraron efectos del tipo de fuente y dosis empleada a la siembra en la producción de materia seca total, especies introducidas y especies nativas (Cuadro 5). Sin embargo la producción del mejoramiento multiplicó en 2.5 veces, la producción del campo natural obtenida en ese año (Mas et al., 1991).

Cuadro 5. Efecto de la fuente y dosis de fertilizante fosfatado aplicadas a la siembra en la producción (MS kg/ha) del cuarto año de forraje total, trébol blanco, lotus y especies nativas (datos de 1 año).

		Forraje total	T. blanco	Lotus	Especies nativas
Fuente*Dosis					
Superfosfato	Bajo	2866	2	91 a	2773
Superfosfato	Alto	2912	2	13 b	2896
Hiperfosfato	Bajo	2585	1	15 b	2569
Hiperfosfato	Alto	3141	4	108 a	3029
Significancia					
Fuente		ns	ns	ns	ns
Dosis		ns	ns	ns	ns
Fuente*Dosis		ns	ns	*	ns

a, b, c: medias con letras distintas dentro de una misma columna son significativamente diferentes entre sí, LSD 0.05; *, p<0.05; ns, no significativo

Eficiencia relativa de las fuentes

En la pastura de 1er. año el trébol blanco se vio beneficiado por el uso del Hiperfosfato independientemente del nivel de fósforo ofrecido, mientras que en lotus se registró un comportamiento inverso. La producción total del mejoramiento de primer año resultó ser beneficiada por el uso de Superfosfato a dosis bajas, comportándose de manera similar ambas fuentes a dosis altas (Cuadro 6).

Para el segundo año la eficiencia del Hiperfosfato fue mayor en todos los parámetros estudiados. Un comportamiento similar se registró en el tercer año, mostrando nuevamente una mayor eficiencia del Hiperfosfato, con excepción del trébol blanco en la dosis baja. Al cuarto año el Superfosfato mostró una mayor eficiencia a dosis bajas, comportamiento que se revierte en la dosis alta en todos los parámetros evaluados. Cabe destacar que los aportes de las especies introducidas a partir del tercer año fueron de escasa magnitud.

Cuadro 6. Eficiencia relativa del Hiperfosfato respecto al Superfosfato (base 100), en producción de forraje total (FT), trébol blanco (TB) y lotus (L), para dos dosis aplicadas en la implantación para mejoramientos de diferentes edades.

Edad del mejoramiento	88 kg/ha P ₂ O ₅			220 kg/ha P ₂ O ₅		
	FT	TB	L	FT	TB	L
1er. año	85	108	73	99	146	57
2do. año	181	500	200	103	123	123
3er. año	112	75	201	126	213	265
4to. Año	90	50	16	108	200	831

Relación entre el contenido de fósforo en el suelo y la producción de leguminosa

Para ambas fuentes de fertilizante estudiadas se encontró principalmente una asociación entre producción de leguminosa y contenido de fósforo en el suelo en el segundo año de la pastura (Figura 1)

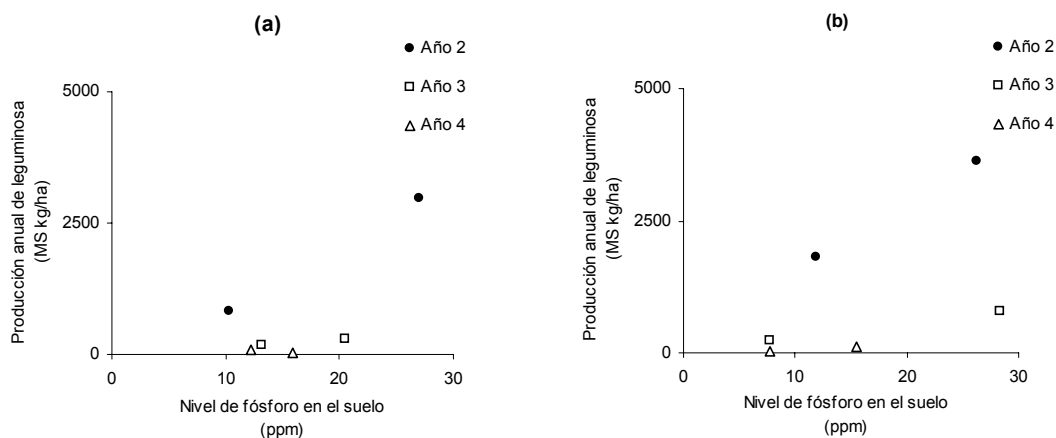


Figura 1. Relación entre la producción de leguminosa en pasturas de distinta edad y el contenido de fósforo en el suelo medido por el método del Ácido cítrico para un suelo de la Unidad Bañado de Oro para dos pasturas fertilizadas a la siembra con Superfosfato (a) e Hiperfosfato (b).

Relación entre el fósforo disponible y años desde su aplicación

La relación entre el fósforo agregado inicialmente y el fósforo disponible en el suelo durante los cuatro primeros años, luego de la aplicación, fue disminuyendo en forma lineal (Figura 2). El patrón lineal de descenso muestra que el efecto residual está directamente relacionado a la dosis inicialmente aplicada, tal lo reportado por Castro et al (1981).

En base a estos datos, la cantidad de P₂O₅/ha necesaria para aumentar una ppm de fósforo en el suelo varió entre 20.0 y 22.5 kg de P₂O₅ en Superfosfato y entre 14.9 y 27.5 en Hiperfosfato (Cuadro 7).

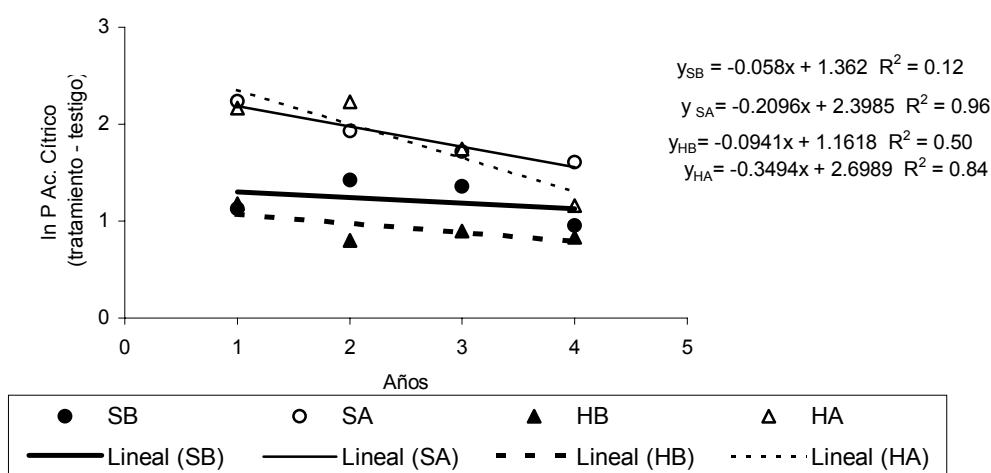


Figura 2. Relación entre fósforo disponible y edad de la pastura para un suelo de la Unidad Bañado de Oro.

Cuadro 7. Valores de Pr, 1-Pr y EF para un suelo de la Unidad Bañado de Oro fertilizado con dos fuentes y dosis de fósforo.

Tratamiento	Pr	1-Pr	EF
Superfosfato alto	0.81	0.19	20.0
Superfosfato bajo	0.94	0.06	22.5
Hiperfosfato alto	0.70	0.30	14.9
Hiperfosfato bajo	0.91	0.09	27.5

Consideraciones generales

- En este suelo, la producción de materia seca total, así como la del trébol blanco y del lotus del primer año fueron incrementadas por las dosis altas de fósforo aplicado. En general, para el segundo y tercer año se mantuvo el efecto positivo de las dosis iniciales sobre los parámetros evaluados, aunque en menor magnitud. Al cuarto año el trébol blanco realizó un bajo aporte a la pastura pero en lotus y producción total aún se observan los efectos favorables de la dosis inicial.

- En la producción del primer año se manifestó una tendencia a favor de la fuente de mayor solubilidad (Superfosfato), mientras que este comportamiento se revirtió en el segundo y tercer año a favor del Hiperfosfato. En el cuarto año no se detectaron mayores diferencias como consecuencia de la paulatina merma en la población de la especie.
- La producción de materia seca de la fracción leguminosa estuvo asociada al contenido de fósforo en el suelo en particular para el segundo y tercer año luego de establecida la pastura.
- Las tasas de descenso anual del nivel de fósforo en el suelo (ppm) estuvieron en un rango entre 6-19% para Superfosfato y entre 9 y 30% para el Hiperfosfato anual.
- El equivalente fertilizante alcanzó valores de 21.0 y 21.2 kg de P_2O_5 para el promedio de las dosis evaluadas en Superfosfato e Hiperfosfato respectivamente.

Bibliografía consultada

Castro, E.; de Zamuz, E. y Barboza, S. (1981). Fertilización de pasturas en el litoral oeste de Uruguay. *In* Investigaciones Agronómicas. CIAAB. Año 2. No.1. pp. 56-67

Baethgen, W.; Pérez, J. (1981) Efecto residual de la fertilización fosfatada en una rotación agrícola-ganadera. I. Etapa de pasturas. *In* Fertilización de Pasturas. Miscelánea 37. CIAAB. pp2-17.

Díaz, R.; Morón, A. y Santiñaque, F. (1981). Propuesta de trabajos experimentales CIAAB-CHPA. Mimeo.

Mas, C.; Bermúdez, R. y Ayala, W. (1991). Crecimiento de las pasturas naturales en dos suelos de la Región Este. *In* Pasturas y producción animal en áreas de ganadería extensiva. INIA. Serie Técnica 13. pp 59-67.

3.6. Fuentes fosfatadas en la rotación soja-pasturas en Lomadas del Este⁽¹⁾

Raúl Bermúdez⁽²⁾, Walter Ayala⁽³⁾, Milton Carámbula⁽⁴⁾, Alejandro Morón⁽⁵⁾

Introducción

Una de las herramientas más exitosas para el logro de mejoramientos exitosos y perdurables es, sin duda el adecuado manejo de la fertilización fosfatada. De ahí entonces que las deficiencias de fósforo en el suelo determinan que las leguminosas reduzcan su producción de forraje, debido principalmente a un pobre desarrollo radicular y un bajo status nutricional, ya que el fósforo es determinante del establecimiento y crecimiento de las leguminosas, así como el desarrollo de una adecuada capacidad competitiva, cuando éstas se encuentran en asociación con gramíneas (Rotar, 1989).

El cultivo de la soja deja rastrojos que permiten la implantación inmediata de mejoramientos de forma sencilla, aprovechando el fósforo residual que deja este cultivo. La dinámica del fósforo en la rotación soja-pasturas puede variar con el tipo de fuente y con los niveles de fósforo empleados. Resultados de Australia y Nueva Zelanda utilizando fuentes de lenta liberación de fósforo, muestran comportamientos diferenciales en suelos de ambos países. Estas diferencias se atribuyen a diferencias en la capacidad de intercambio catiónico, pH, nivel de fósforo disponible, así como de la cantidad y distribución de las lluvias (White et al., 1989). En el marco de un convenio acordado entre INIA y Texas Gulf de Carolina del Norte, se planteó este experimento a los efectos de aportar información sobre el comportamiento de distintas fuentes con diferente grado de solubilidad, para ser utilizadas en rotaciones de cultivos y pasturas en las condiciones del país.

Materiales y Métodos

Sobre un rastrojo de soja, cultivo al cual se le había aplicado diferentes fuentes y niveles de fertilización fosfatada en diciembre de 1990, fueron instaladas, en forma convencional el 21/8/91, pasturas puras de trébol blanco cv. Zapicán (8 kg/ha) y lotus común cv. Ganador (12 kg/ha). El experimento fue ubicado en el campo experimental "Palo a Pique" sobre un Argisol subeútrico de la Unidad Alférez que presentaba las siguientes características: pH_{agua} 5.3; materia orgánica 4% y fósforo Ácido cítrico 4.0 ppm. Los tratamientos aplicados al momento de la siembra de la soja consistieron en un factorial de tres fuentes de fósforo (fosfato de roca (PR), fosfato de roca parcialmente acidificado (PARP) y super concentrado (Super) cuyas características se describen en el cuadro 1 y cuatro niveles 0, 40, 80 y 120 kg/ha de P₂O₅. Al momento de la siembra de las pasturas se subdividieron las parcelas fertilizando con 0 y 40 kg/ha de P₂O₅ de las fuentes citadas.

⁽¹⁾ El presente artículo tiene ampliaciones al publicado en la Serie Actividades de Difusión "Mejoramientos de campo en la Región Este, 1992".

⁽²⁾ Ing. Agr. MPhil, Programa Plantas Forrajeras, INIA Treinta y Tres

⁽³⁾ Ing. Agr. PhD, Programa Plantas Forrajeras, INIA Treinta y Tres

⁽⁴⁾ Ing. Agr., MSc, Programa Plantas Forrajeras, INIA Treinta y Tres (hasta diciembre 1999)

⁽⁵⁾ Ing. Agr., Dr., Sección Suelos, INIA La Estanzuela

Cuadro 1. Características de las fuentes empleadas

Fuente	P ₂ O ₅ total (%)	Formulación	Presentación
PR	30.5	--	Grano muy fino
PARP	33.3	70% PR + 30% SUPER	Granulado
SUPER	41	--	Granulado

El período de evaluación comprendió desde la siembra del cultivo de soja hasta el segundo año de la pastura. Las determinaciones en el cultivo consistieron en rendimiento y concentración de fósforo en el grano. En la pastura se determinó la producción y concentración de fósforo del forraje, presentándose la información para la fracción leguminosa. Asimismo, se realizaron anualmente análisis de fósforo en el suelo (Bray 1, Ácido cítrico y Resinas catiónicas), pero se presentan los resultados sólo para Ácido cítrico.

Resultados

1. Fase del cultivo

Se encontraron diferencias significativas en el rendimiento en grano de la soja ($P < 0.05$), alcanzando éste el mayor rendimiento con Super, no detectándose diferencias entre las dosis estudiadas. Los niveles de P extraídos por el cultivo difirieron entre fuentes, incrementándose para Super un 38% sobre el promedio de las restantes fuentes. El nivel de extracción estuvo afectado por las dosis, encontrándose diferencias entre la soja no fertilizada y el nivel de 80 kg/ha de P₂O₅ (Cuadro 2).

Cuadro 2. Efecto de las fuentes y dosis de fósforo (P₂O₅ kg/ha) en el rendimiento de soja (kg/ha) y en la cantidad de P extraído por el cultivo (kg/ha).

	Rendimiento grano (kg/ha)	P extraído (kg/ha)
Fuentes		
PR	2600 b	8.6 b
PAPR	2611 b	8.6 b
SUPER	3162 a	11.9 a
Dosis		
0	2666	8.3 b
40	2722	9.3 ab
80	2980	11.0 a
120	2797	10.5 ab
Fuente		
	*	**
Dosis		
	ns	*
Fuente*Dosis		
	ns	ns

a, b: medias en letras distintas dentro de una misma columna son significativamente diferentes entre sí (LSD 0.05); ns, no significativo; * $p < 0.05$; ** $P < 0.01$

2. Fase de pasturas

Producción de forraje

Trébol blanco

Tanto para los tratamientos que no recibieron fósforo durante la fase de pasturas como para los que si lo recibieron anualmente (40 kg/ha de P₂O₅), se observó una respuesta a las distintas dosis aplicadas al cultivo de soja para todas las fuentes evaluadas desde el primer al tercer año, aunque en este último la respuesta fue de escasa magnitud (Figura 1).

En los tratamientos no refertilizados, el PR mostró un comportamiento superior en el primer y segundo año, no mostrando diferencias al tercero con las restantes fuentes. Para aquellos que fueron refertilizados anualmente, mientras el Super mostró un comportamiento más destacado en el primer año, el PR lo hizo al segundo año, no encontrándose diferencias entre fuentes en el tercer año.

Se registró una respuesta significativa a la refertilización en los tres años (P<0.01 en todos los casos), siendo los incrementos para el promedio de las fuentes y los niveles de 26, 210 y 1187% en el primer, segundo y tercer año respectivamente.

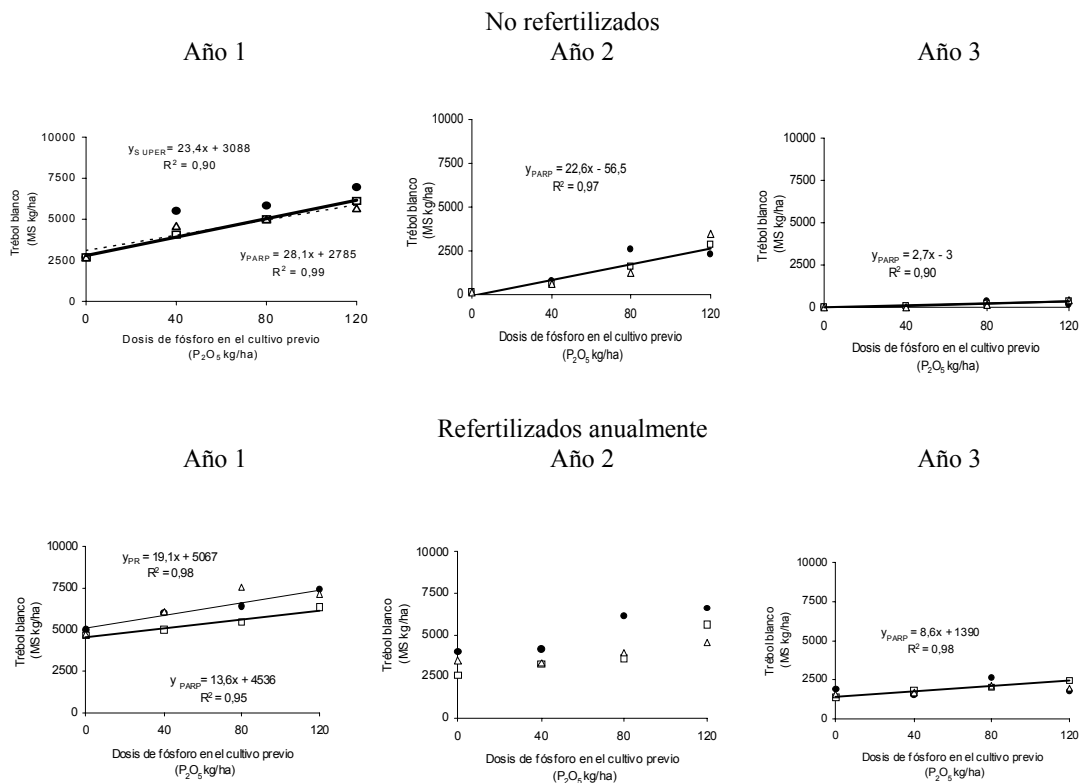


Figura 1. Efecto de la fuente (PR ●—, PARP □—, SUPER ---Δ) y dosis de fósforo (0, 40, 80 y 120 kg/ha de P₂O₅) aplicadas a la soja, en la producción de los tres primeros años de trébol blanco no refertilizado o refertilizado anualmente con 40 kg/ha de P₂O₅.

Lotus

Tanto para los tratamientos que no recibieron fósforo durante la fase de pasturas como los que si lo recibieron anualmente (40 kg/ha de P₂O₅), se observa una respuesta a las dosis aplicadas al cultivo de soja para todas las fuentes evaluadas del primer al tercer año, exceptuando el tercer año para aquellos no refertilizados (Figura 2).

En los dos primeros años de la pastura no se registraron diferencias significativas entre fuentes. Al tercer año se encontraron diferencias a favor del PR en los tratamientos refertilizados.

Se registró una respuesta significativa a la refertilización en los tres años (P<0.01 en todos los casos), siendo los incrementos para el promedio de las fuentes y los niveles de 17, 46 y 121% en el primer, segundo y tercer año respectivamente

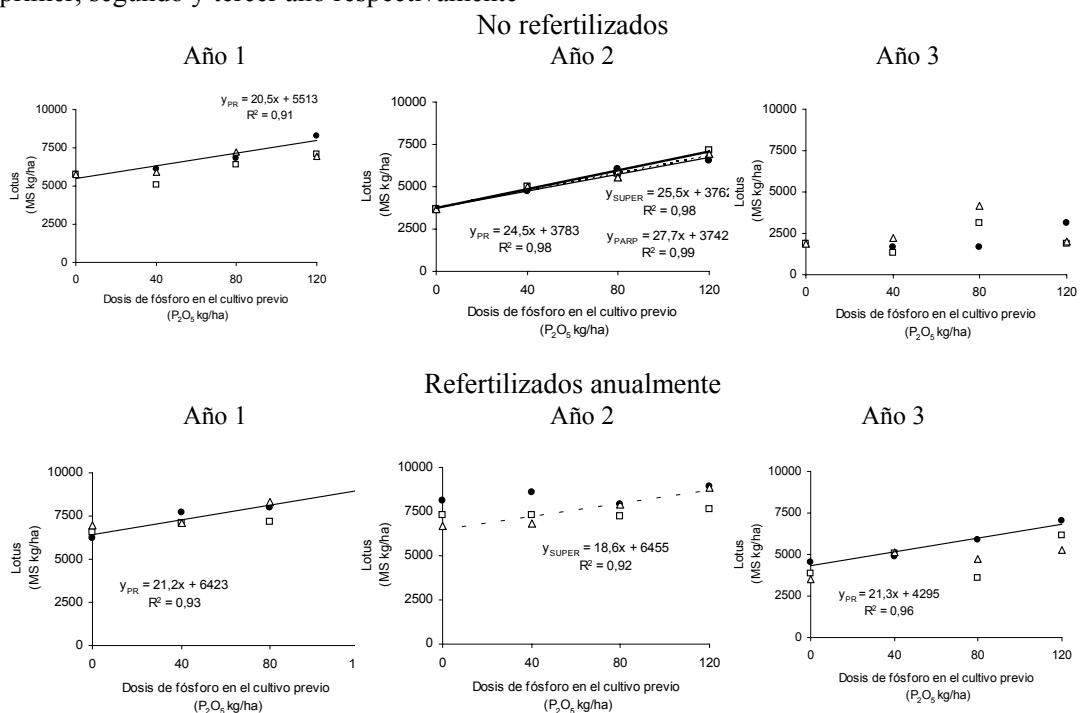


Figura 2. Efecto de la fuente (PR ●—, PARP □—, SUPER Δ---) y dosis de fósforo (0, 40, 80 y 120 kg/ha de P₂O₅) aplicados a la soja, en la producción de los tres primeros años de lotus común no refertilizado o refertilizado anualmente con 40 kg/ha de P₂O₅.

Contenido de fósforo en el forraje

Trébol blanco

En evaluaciones realizadas en noviembre y enero del primer año de edad de la pastura se detectó un efecto de la fuente (P<0.01) en el contenido de fósforo en trébol blanco.

Para el PARP, los incrementos en el contenido de fósforo en el forraje por efecto de la refertilización se situaron en un 19%. Asimismo dicho contenido de fósforo presentó incrementos

similares tanto para los tratamientos refertilizados como para los no refertilizados a medida que las dosis iniciales de fósforo en la soja eran superiores (Figura 3a).

En el caso del PR y SUPER, el contenido de fósforo en el forraje evolucionó de manera similar frente a los tratamientos aplicados. El mismo aumentó progresivamente acompañando a las dosis aplicadas a la soja, así como al efecto de la refertilización, siendo las diferencias menores en la medida que las dosis iniciales eran cada vez mayores (Figura 3 b y c).

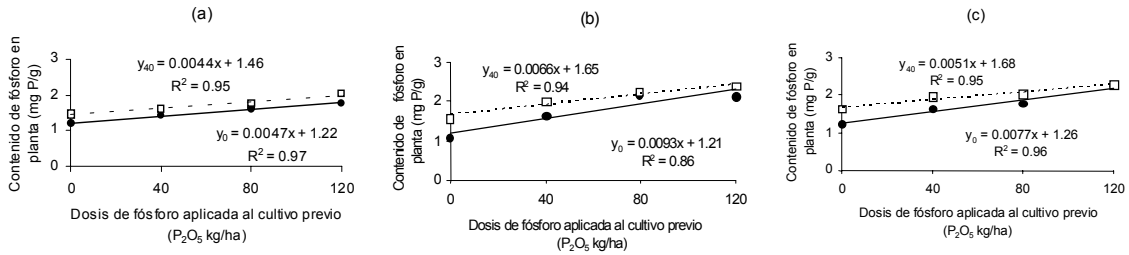


Figura 3. Contenido de fósforo en el forraje de trébol blanco para el promedio de dos cortes en el primer año de la pastura (noviembre y enero) para diferentes fuentes (PARP ●— (a), PR □— (b) y SUPER Δ--- (c) y diferentes niveles de fertilización a la soja (0, 40, 80, 120 kg/ha de P₂O₅) y refertilizaciones anuales a la pastura (0 ●—; 40 □— kg/ha de P₂O₅).

Lotus

No se detectó un efecto de la fuente en el contenido de fósforo en lotus en evaluaciones realizadas en noviembre y enero del primer año de edad de la pastura, por lo que aquí se presenta la información para el promedio de la fuentes y dos cortes evaluados (Figura 4).

Las refertilizaciones con 40 kg/ha de P₂O₅ incrementaron significativamente el contenido de fósforo (P<0.01), desde un 16% en los tratamientos sin fertilización inicial, hasta un 8% en las dosis de 120 kg/ha de P₂O₅ aplicadas a la soja.

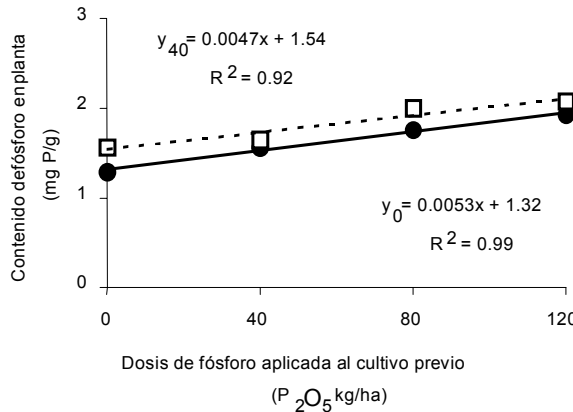


Figura 4. Contenido de fósforo en el forraje de lotus común para el promedio de dos cortes en el primer año de la pastura (noviembre y enero) y para el promedio de las fuentes en respuesta a diferentes niveles de fertilización a la soja y refertilizaciones anuales a la pastura (0 ●—; 40 □— kg/ha de P₂O₅).

Relación entre fósforo en el suelo y producción de forraje

Trébol blanco

Se analizó el grado de asociación entre el contenido de fósforo en el suelo medido por el método de Ácido cítrico y la producción de forraje anual subsiguiente de trébol blanco en el primer y segundo año de la pastura en los tratamientos refertilizados y no fertilizados (Figura 5). Se logró un ajuste significativo únicamente para el primer año de los tratamientos no refertilizados, registrando una respuesta de 207 kg/ha de MS de trébol blanco por unidad de fósforo (ppm) en el suelo ($R^2=0.73$) para el promedio de las fuentes evaluadas.

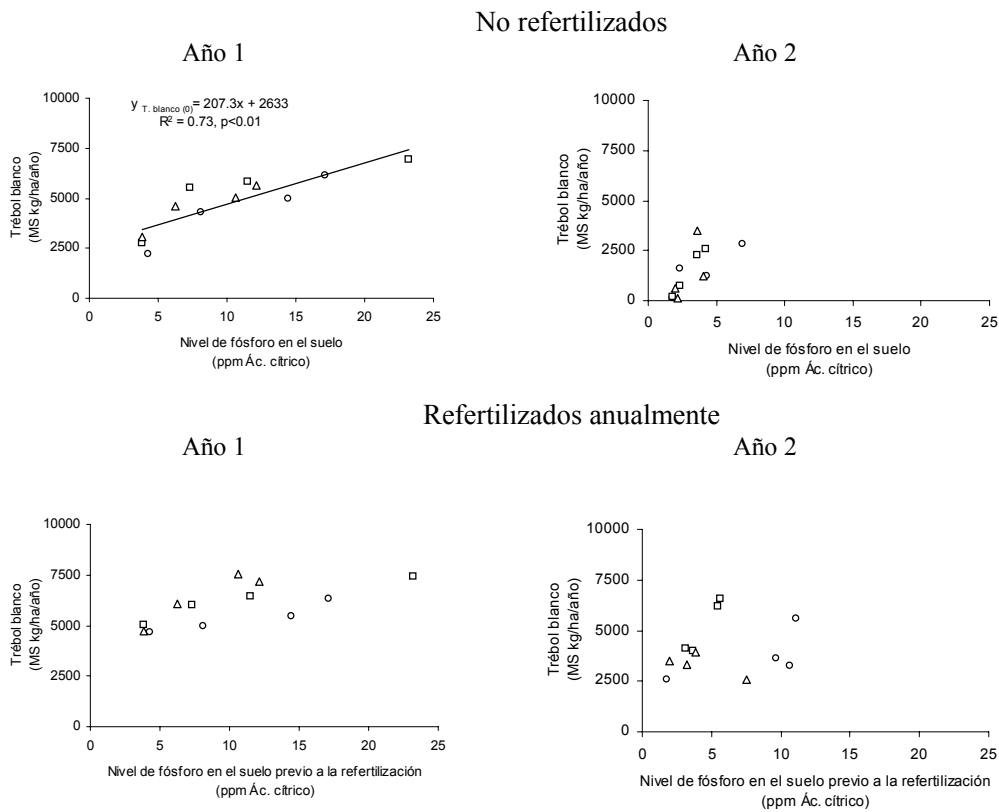


Figura 5. Relación entre la producción de forraje de trébol blanco y el contenido de fósforo en suelo determinado por el método del Ácido cítrico en la producción del primer y segundo año de pasturas no refertilizadas y refertilizadas anualmente (40 kg/ha de P_2O_5) sobre diferentes niveles de fósforo residual de un cultivo de soja previo utilizando distintas fuentes fosfatadas (PARP (o), PR (□), SUPER (Δ)).

Lotus

Para el caso del lotus, se lograron ajustes significativos únicamente para el primer año de la pastura tanto para los tratamientos refertilizados como no refertilizados en la fase de pastura, con respuestas de 114.9 y 95 kg/ha de MS de lotus por unidad de fósforo (ppm) en el suelo ($R^2=0.66$ y 0.65 respectivamente) para el promedio de las fuentes evaluadas. Estas respuestas resultan inferiores a las obtenidas en trébol blanco.

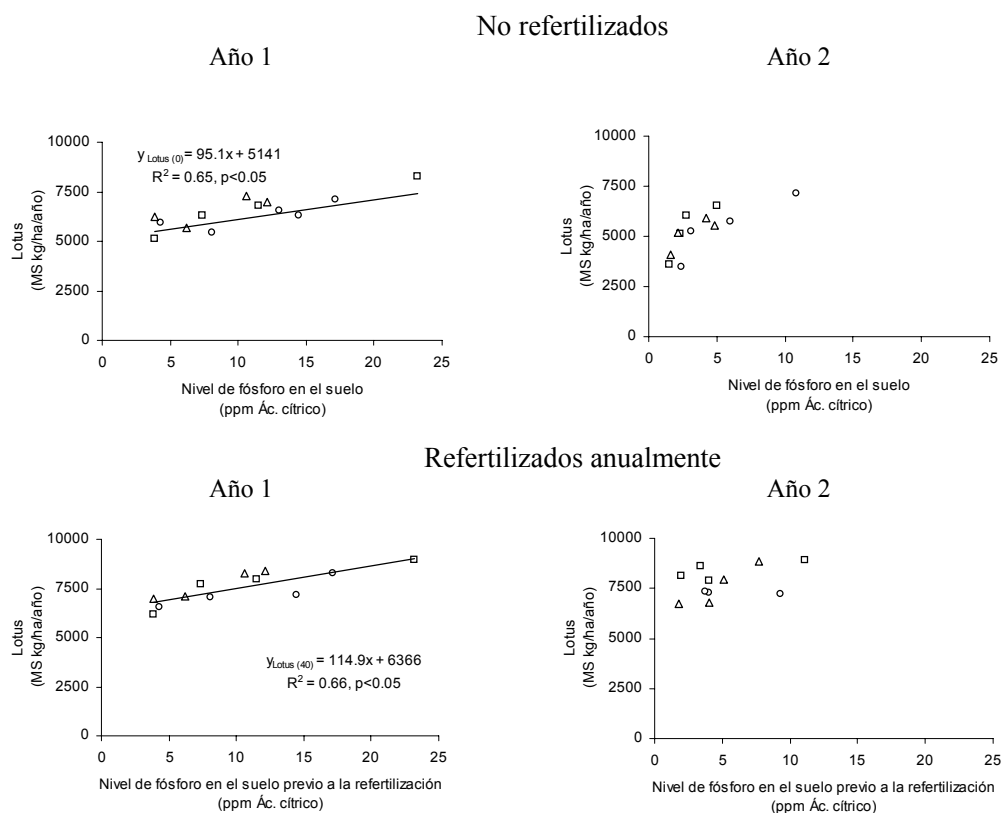


Figura 6. Relación entre la producción de forraje de lotus común y contenido de fósforo en suelo determinado por el método del Ácido cítrico en la producción del primer y segundo año de pasturas no fertilizadas y refertilizadas anualmente (0, 40 kg/ha de P_2O_5) sobre diferentes niveles de fósforo residual de un cultivo de soja previo utilizando distintas fuentes fosfatadas (PARP (○), PR (□), SUPER (△)).

Efecto de la fuente en la producción de forraje estacional

Johnson et al. (1997) reportaron una menor producción de pasturas durante el invierno y primavera temprana con fuentes de baja solubilidad (PR) en relación a fuentes solubles en el sur de Australia, lo cual puede resultar crucial en la producción forrajera limitando la capacidad de carga en el período invernal e introduciendo otro factor adicional en la toma de decisiones al momento de decidir cual fuente de fosfato se debería utilizar. Este comportamiento se mantuvo por cuatro años en los suelos con alta capacidad de absorción de fósforo, alcanzando diferencias del 28% con fuentes de alta solubilidad, mientras que en suelos arenosos estas diferencias se reducen después de uno o dos años.

A los efectos de estudiar bajo las condiciones de la Región Este, la incidencia del tipo de fuente fosfatada en la producción estacional, de las pasturas se seleccionó al trébol blanco por su mayor sensibilidad, comparándose la producción en el segundo y parte del tercer año (Cuadro 3). En el otoño-invierno se destaca la producción con Super en ambos años, aunque esta fue igualada por PR en el segundo año. En cuanto al período de primavera, mientras en el segundo año el mejor comportamiento fue presentado por PR; en el tercer año esta fuente fue igualada por PARP. Por último en el verano del segundo año todas las fuentes presentaron un comportamiento similar.

Cuadro 3. Producción estacional del trébol blanco MS, kg/ha) en el segundo y parte del tercer año fertilizado con diferentes fuentes de fósforo.

Fuente	Otoño-Invierno	Primavera	Verano
Segundo año			
PR	1349 a	2445 a	1409
PARP	954 b	1663 b	1139
SUPER	1288 a	1699 b	826
Significancia	**	**	ns
Tercer año			
PR	674 b	1289 a	--
PARP	735 b	1170 a	--
SUPER	976 a	856 b	--
Significancia	**	*	-

a;b medias en letras distintas dentro de una misma columna son significativamente diferentes entre si (LSD 0.05); ns, nosignificativo; * P<0.05; ** P<0,01)

Conclusiones finales

- En general, se observó un efecto residual de las dosis de fósforo aplicadas a la soja, tanto para lotus como para trébol blanco, en el primer y segundo año de la pastura.
- En trébol blanco, para los tratamientos no refertilizados, el PR se destacó por sobre las demás fuentes; mientras que en los refertilizados anualmente la superioridad de una u otra fuente cambió en los diferentes años.
- El lotus se presentó como menos sensible que el trébol blanco al tipo de fuente utilizado, manifestando ambas una respuesta superior al PR al tercer año, sólo en los tratamientos refertilizados.
- Tanto en trébol blanco como en lotus en todos los años se registró un efecto favorable como consecuencia de la refertilización anual.
- El contenido de fósforo en el forraje de trébol blanco y lotus fue incrementado tanto por la dosis inicial como por la refertilización. En trébol blanco, los tratamientos fertilizados con SUPER mostraron mayor contenido de fósforo, mientras que en lotus no se detectaron diferencias entre las distintas fuentes.
- En ambas especies se encontró una asociación positiva entre la producción de forraje de la leguminosa y el contenido de fósforo en el suelo, particularmente en el primer año de las pasturas bajo tratamientos no refertilizados. Las respuestas fueron mayores en trébol blanco que en lotus.
- En trébol blanco se registró una tendencia a obtener las mayores producciones de otoño-invierno con la fuente de alta solubilidad (SUPER).

Bibliografía consultada

Ayala, W.; Bermúdez, R. 1992. Fertilización fosfatada de pasturas. *In* Mejoramientos extensivos en la Región Este. Resultados Experimentales. pp 49-59.

Johnson, D.; Sale, P.; Simpson, P.; Cayley, J. 1997. The agronomic effectiveness of reactive phosphate rocks 4. Early season lag in herbage production when reactive phosphate rock is used as a pasture fertilizer. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 37:957-968.

Rotar, P. 1989. Legume persistence problems in Hawaii: An overview. *In* Persistence of forage Legumes. Proceedings of the trilateral workshop, held Honolulu, 1988. Edited by G. Marten; A. Matches; R. Barnes; R. Brougham; R. Clements and G. Sheath. American Society of Agronomy, Inc. Crop Science Society of America, Inc., Soil Science Society of America, Inc. pp. 45-65.

White, R.; Hedley, M.; Bolan, N.; Gregg, P. 1989. Recent developments in the use of phosphate fertilizers on New Zealand pastures. *Agricultural Science* 2:26-32.

Fertilización fosfatada
4. Zona de Llanuras
Suelos muy húmedos inundables y
húmedos drenados
Región Este

4.1. Respuesta al agregado de fósforo en pasturas con leguminosas en las planicies del Este

Jorge Hernández⁽¹⁾

Introducción

La dinámica del P en suelos de planicies, donde se realiza el cultivo de arroz irrigado, presenta particularidades vinculadas a los procesos de anaerobiosis temporales. Al inundarse el suelo, se establecen condiciones de reducción, las cuales determinan un aumento en la solubilidad de los fosfatos de hierro (Ponnamperuma, 1972). Complementariamente, se han mencionado también aumentos en la solubilidad de los fosfatos de aluminio, como consecuencia del aumento en el pH de suelos ácidos, así como aumentos en la mineralización de formas orgánicas de P (Aguirre y Ríos, 1984). Tales procesos determinan un aumento en la disponibilidad del P del suelo para el cultivo de arroz irrigado (Patrick Jr. et al., 1971; Roy y De Datta, 1985; Willet, 1989). Sin embargo, también se han confirmado aumentos en la disponibilidad de P en períodos cortos de anaerobiosis, como los que ocurren en otros cultivos y pasturas (Hernández y Meurer, 2000; Ferrando et al, 2002). Por el contrario, el cambio en las condiciones hídricas del suelo (drenaje del suelo y cambio hacia condiciones de oxidación), determina una disminución en la disponibilidad de P, como consecuencia de la re-adsorción de fosfatos en superficies altamente reactivas de óxidos de hierro recientemente precipitados (Willet et al., 1988). Dichos procesos han mostrado tener relevancia en sistemas de cultivos en secano y pasturas (Bradley et al., 1984).

Tradicionalmente el cultivo de arroz en el Uruguay ha sido realizado como monocultivo, aunque en los últimos años, debido principalmente a los bajos precios del arroz, ha ocurrido un aumento en la diversificación, aumentando el área en rotación con pasturas para producción de ganado de carne. En el momento actual, si bien ha ocurrido una mejora en los precios del cereal, surge importante considerar la realización del cultivo dentro de un esquema de rotaciones con pasturas, con el objetivo de una mayor sustentabilidad del sistema. La incorporación de pasturas con leguminosas permite aumentar la productividad del suelo, en la medida de la ganancia de materia orgánica y N en el sistema, lo cual redundará en beneficios, no sólo en la etapa de pasturas, sino en el efecto residual de los nutrientes para la etapa de cultivos.

Si bien existe un paquete tecnológico utilizado en el país para la siembra de pasturas sobre rastrojos de arroz, que fue desarrollado principalmente por los productores e INIA, ha sido poco ajustado el sistema de fertilización utilizado en las pasturas, lo que es una de las claves para su correcta implantación. La práctica habitual es no fertilizar la pastura y aprovechar la residualidad de P proveniente del cultivo de arroz. No obstante existen dos factores a tener en cuenta:

1- Las pasturas instaladas sobre rastrojos generalmente están compuestas de una mezcla de especies forrajeras, dentro de las cuales se incluyen especies con altos requerimientos de fósforo, como trébol blanco, trébol rojo y lotus.

⁽¹⁾ Ing. Agr., MSc, Facultad de Agronomía

2- Las dosis de P aplicadas al cultivo de arroz son reducidas, en virtud de la escasa respuesta al P agregado (Hernández et al., 2003). Esta escasa respuesta se relaciona, además de sus menores requerimientos en relación con las leguminosas, al aumento de la disponibilidad de P durante el período de inundación, y a la mejora de la tasa de difusión en tales condiciones (Hedley et.al., 1994). Sin embargo, en la etapa de pasturas el secado del suelo aumenta la retención de P por parte del suelo, con lo cual disminuye su disponibilidad para las plantas (Hernández, 1996; Ferrando et al., 2002).

Existe información experimental abundante en cuanto a requerimientos diferenciales de especies, niveles críticos y dosis de fertilización para pasturas en suelos mejor drenados de otras zonas del país (Bordoli, 1998). Sin embargo, la extrapolación de esta información a suelos arroceros es dudosa, ya que se trata de situaciones con diferencias bastante contrastantes desde el punto de vista del tipo de suelo, contenido de humedad a lo largo del año y propiedades de retención de P.

Lo mencionado anteriormente muestra la importancia de cuantificar la respuesta en rendimiento y calidad de forraje al agregado de P en pasturas implantadas sobre rastrojos. Esto permitirá evaluar la estrategia de fertilización dentro del sistema, particularmente en cuanto a identificar el/los momentos de aplicación del P dentro de la rotación, así como las dosis a utilizar. Esto permitirá manejar correctamente el uso del insumo fertilizante desde el punto de vista de su rentabilidad y oportunidad, con el objetivo de mejorar su eficiencia dentro del sistema.

Respuesta en producción de forraje al agregado de fósforo

Desde el comienzo de la utilización de leguminosas forrajeras en los mejoramientos en cobertura sobre rastrojos de arroz, la siembra de pasturas se realizaba sin el agregado de fósforo, utilizando la residualidad de la aplicación del P al cultivo de arroz (Mas, 1978). El agregado de P en la instalación y en refertilizaciones de las pasturas con leguminosas permitió aumentar la productividad de la pastura, aunque los experimentos que proporcionaron estos resultados no fueron concebidos con el objetivo de evaluar la respuesta a P, por lo que no se conoce en tales situaciones la magnitud del incremento de rendimiento alcanzado por fertilización respecto a la situación sin agregado de P (Cardozo et al., 1978).

Hacia fines de la década del 80 fueron realizadas investigaciones con el objetivo de cuantificar la respuesta al agregado de P para cultivo de lotus en diferentes suelos del país (Hernández et al., no publicado). Uno de estos experimentos fue realizado sobre un suelo de planicies del este del país, de la Unidad La Charqueada. En la figura 1 se indica la respuesta en producción de materia seca de lotus del primer año de la pastura.

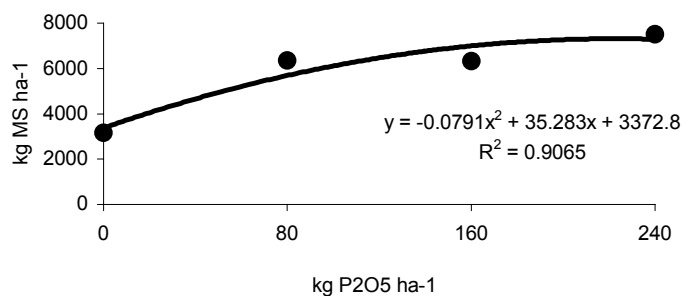


Figura 1. Respuesta en producción de materia seca de lotus (*Lotus corniculatus*) al agregado de P en la instalación, en un solod de la Unidad La Charqueada.

Fue encontrada una respuesta significativa al agregado de P, lográndose en promedio incrementos de materia seca por fertilización de 3580 kg ha⁻¹. Dicho aumento se explica en gran parte porque el suelo en estudio no presentaba historia de fertilización con P (Bray 1 = 2 mg P kg⁻¹). Dicho suelo partió, además, de una situación de campo bruto, y no de rastrojo de arroz previo. Al segundo año se observó un efecto residual de la aplicación de P del primer año variable según la dosis de P a la instalación. Igualmente se encontró un aumento de 2027 kg MS ha⁻¹ con una refertilización de 40 kg P₂O₅ ha⁻¹ para el tratamiento que había recibido 80 kg P₂O₅ ha⁻¹ en la instalación (Figura 2).

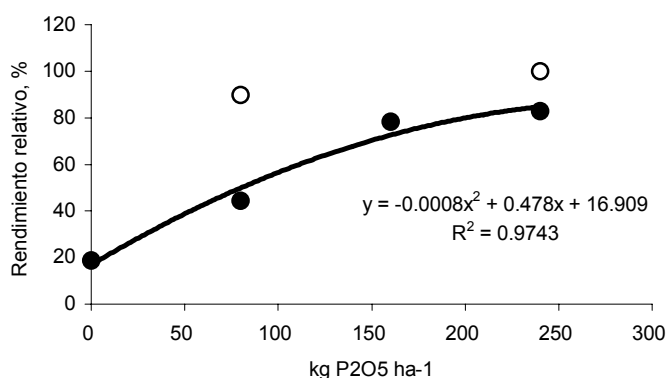


Figura 2. Rendimiento relativo de materia seca del segundo año de una pastura de lotus, en función de la dosis aplicada el primer año (círculos negros), y de los tratamientos refertilizados con 40 kg P₂O₅ ha⁻¹ (para la dosis inicial de 80 kg P₂O₅ ha⁻¹ en la instalación), y 120 kg P₂O₅ ha⁻¹ (para la dosis de 240 kg P₂O₅ ha⁻¹ de la instalación) (círculos blancos).

En la gráfica también se observa que la residualidad de una dosis alta en la instalación (240 kg P₂O₅ ha⁻¹) permitió obtener rendimientos de similar magnitud a los obtenidos con una dosis de P no limitante. Esto no ocurrió en otros suelos estudiados, con un mayor poder de retención de P, y por consiguiente, con una mayor retrogradación anual del P agregado.

En los últimos tres años se inició una serie de experimentos de respuesta a P en pasturas instaladas sobre rastrojos de arroz. Los primeros experimentos fueron realizados en un suelo de la unidad Lascano, con 3 mg P kg⁻¹. Si bien hubo dificultades para la instalación de la pastura (*Lotus tenuis*), se obtuvieron resultados positivos en cuanto a incrementos promedio de rendimiento por fertilización del orden de 1089 kg MS ha⁻¹ para dos cortes de evaluación realizados en el año (Figura 3).

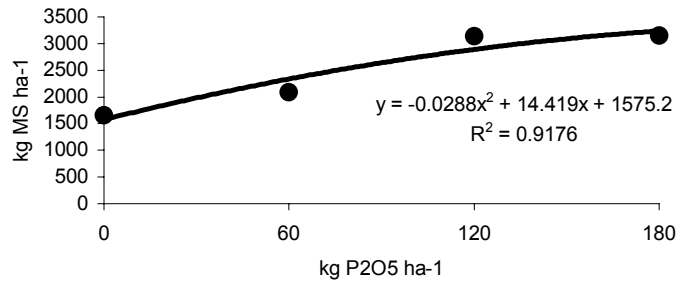


Figura 3. Respuesta al agregado de P en la instalación de una pastura de *Lotus tenuis* sobre rastrojo de cultivo de arroz, en un suelo de la Unidad Lascano. Evaluaciones de dos cortes.

En una segunda etapa se realizó la instalación de 14 experimentos de respuesta a P en diferentes suelos de la zona este. Los experimentos fueron realizados durante dos años (7 experimentos por año). Los correspondientes al primer año consistieron en praderas convencionales sembradas con avión en chacras comerciales de arroz. Los del segundo año consistieron en cultivos puros de trébol rojo (*Trifolium pratense*) sembrados a mano en chacras comerciales. Las evaluaciones realizadas consistieron en la determinación de materia seca de la pastura, y contenido de N y P en el forraje. Dado que el objetivo en esta etapa era cuantificar la magnitud de la respuesta a P, sólo se realizaron determinaciones de la producción de invierno y primavera, por ser en este período donde se magnifica la respuesta al agregado de P. En la figura 4 se indican los resultados para los 14 sitios.

Seminario de Actualización Técnica: Fertilización Fosfatada de Pasturas en la Región Este

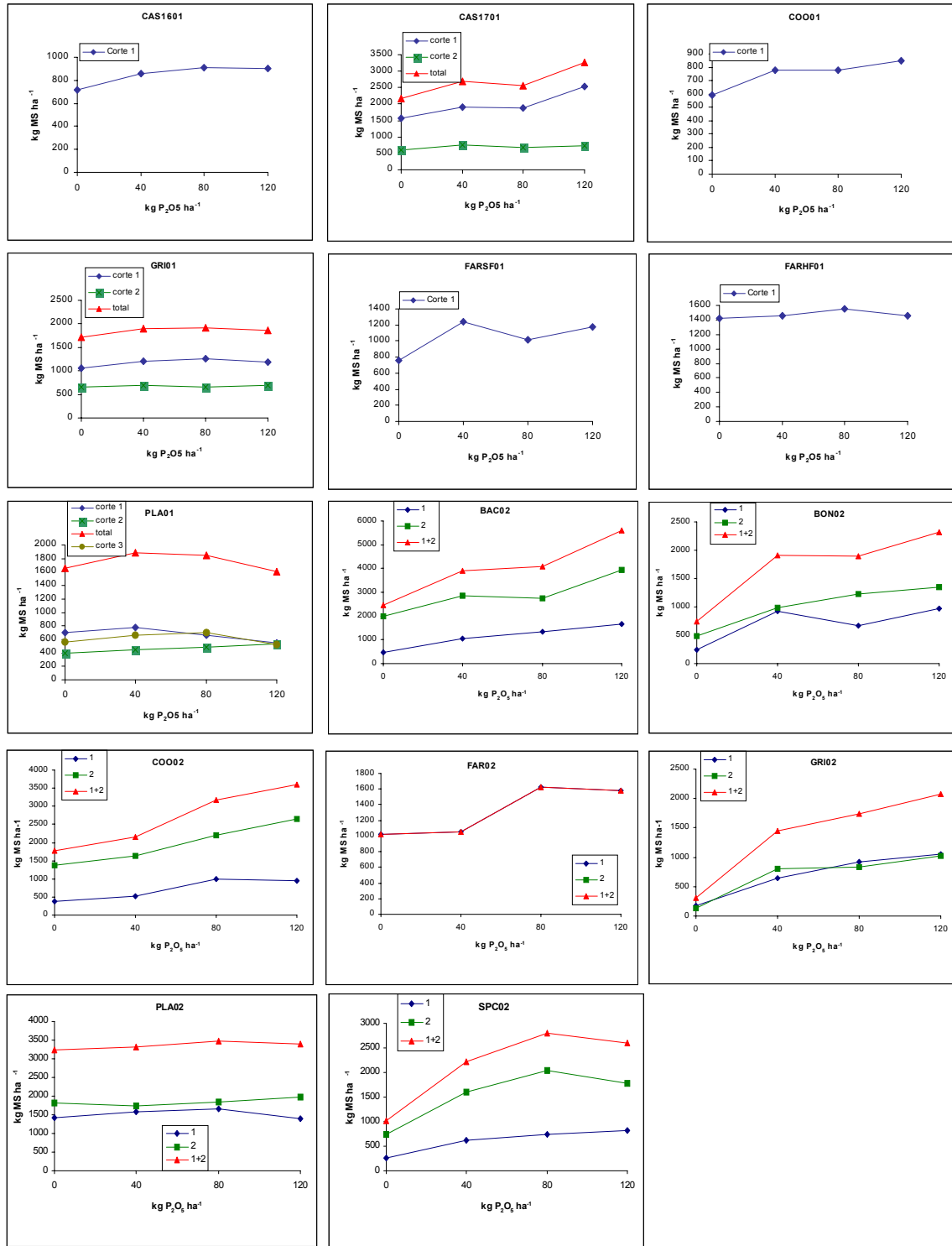


Figura 4. Rendimiento de materia seca total de los diferentes cortes y producción total de invierno y primavera, para los 14 sitios experimentales.

La respuesta al agregado de P fue variable según los sitios, cortes y años, tal como se puede observar en la figura 4 y en el cuadro 1. Independientemente de la dosis de P, es importante mencionar la alta variabilidad en los rendimientos dentro de cada sitio, explicada en gran parte por las condiciones de anegamiento altamente irregulares y que ocurren en pequeñas distancias luego de la cosecha de arroz. Esto afectó la respuesta a P. Sin embargo, para el primer corte (producción de invierno-primavera temprana), pese a los altos coeficientes de variación, en nueve de los 14 sitios se observó respuesta significativa al agregado de fósforo. En otros dos sitios, correspondientes al primer año, fue observada respuesta en la fracción leguminosa solamente (GRI01 y FARHF01).

Cuadro 1. Valores de P disponible (Bray 1), rendimiento relativo del testigo respecto a los dos tratamientos fertilizados con mayor rendimiento total (suma de dos cortes), incremento de rendimiento por fertilización promedio (para la suma de cortes) y porcentaje de leguminosa promedio del primer corte en cada sitio.

Sitio	Año	Bray 1 (mg P kg ⁻¹)	Rendimiento Relativo (%)	Incremento Rendimiento (kg MS ha ⁻¹)	Leguminosa 1 ^{er} corte (%)
CASA16	1	4	79	175	100
CASA17	1	10	73	663	77
COO01	1	8	73	210	12
FARSF01	1	4	63	381	49
FARHF01	1	6	94	76	32
GRI01	1	6	95	172	7
PLA01	1	4	88	126	27
Promedio		6	81	258	43
Desvío Std.		2	12	203	34
BAC02	2	11	51	2061	60
BON02	2	6	35	1304	57
COO02	2	8	52	1212	50
FAR02	2	4	63	408	51
GRI02	2	8	16	1450	79
PLA02	2	4	95	150	68
SPC02	2	7	38	1529	40
Promedio		7	50	1159	58
Desvío Std.		2	25	663	13

Esta mayor respuesta en invierno ya fue mencionada por Bordoli (1998) estando explicada por una menor disponibilidad de P del suelo (por una menor tasa de difusión y mineralización de formas orgánicas), así como plantas más chicas con menores condiciones de desarrollo por las bajas temperaturas. Al aumentar éstas se da un aumento en la disponibilidad de P del suelo, junto con la presencia de plantas de mayor desarrollo radicular. En el segundo corte la respuesta es menor, resultando significativo el agregado de P para dos sitios solamente. Esto guarda relación con menores limitantes de P por parte del suelo, por mayores temperaturas de suelo, las cuales pueden haber influido en la tasa de difusión del nutriente, así como la mineralización de formas orgánicas de fósforo. En los experimentos del primer año los incrementos de rendimiento en la materia seca total de invierno+primavera, alcanzados por fertilización, fueron muy bajos, oscilando entre 10 y 63% (promedio de los tratamientos fertilizados). Esto estaría explicado por dos factores: por un lado los porcentajes de leguminosas (excepto dos sitios) fueron bajos (Cuadro 1), lo que determina un mayor porcentaje de gramíneas en las pasturas, con menor probabilidad de respuesta a fósforo. Por otro lado, los períodos de exceso de agua más o menos prolongados afectaron la sobrevivencia de plantas. En el segundo año, con mayores porcentajes de leguminosa (superiores al 40%) se

obtuvieron incrementos de rendimiento por fertilización de mayor magnitud (en promedio, 1159 kg MS ha⁻¹). Con el agregado de 40 kg P₂O₅ ha⁻¹ ya se logró un incremento promedio de 780 kg MS ha⁻¹. Esto está también relacionado con los altos requerimientos de P del trébol rojo, asociado a niveles de P en el suelo relativamente bajos en todos los casos (menores a las 11 ppm).

Calidad del forraje

Otro de los efectos de la fertilización fosfatada es sobre la calidad del forraje. En el Cuadro 2, se presentan los valores promedio del contenido de N y P en el forraje de trébol rojo de los experimentos mencionados en el ítem anterior. Existe una tendencia al aumento en el contenido de N (proteína) y P del forraje al aumentar la dosis de P aplicada, en especial en la dosis de 40 y 80 kg P₂O₅ ha⁻¹. Esta tendencia es similar a la observada para producción de forraje. Para los sitios BAC02 y COO02 surgieron las diferencias más notorias entre el testigo y los tratamientos fertilizados.

Cuadro 2. Contenido de N y P de la materia seca de trébol rojo producida.

Sitio	Corte	Testigo Fertilizado		Testigo Fertilizado	
		----- % N -----		----- % P -----	
BAC02	1	2.8	3.4	0.18	0.29
	2	2.3	2.9	0.17	0.22
BON02	1	2.5	3.0	0.18	0.20
	2	2.8	2.8	0.12	0.14
COO02	1	3.1	3.1	0.21	0.26
	2	2.8	2.6	0.13	0.17
FAR02	1	2.3	2.4	0.17	0.13
	2	-	-	-	-
GRI02	1	2.9	3.4	0.18	0.18
	2	2.9	3.2	0.19	0.20
PLA02	1	2.4	2.9	0.19	0.19
	2	2.7	2.8	0.13	0.18
SPC02	1	3.0	3.5	0.20	0.20
	2	2.6	2.9	0.10	0.12

El efecto positivo del agregado de P no sólo resulta en la producción de materia seca, sino también en la calidad del forraje obtenido. Los resultados obtenidos concuerdan con investigaciones ya realizadas en condiciones limitantes para la implantación de leguminosas (del Pino y Andión, 2003). Estos autores encontraron alta respuesta al agregado de P en producción y calidad de forraje, siendo que este último aspecto el que explicó mayormente los aumentos en la producción de carne por hectárea.

Los valores de P del presente trabajo mostraron diferencias según la época, siendo menores en el segundo corte. Esto se explicaría por un efecto dilución, dado el mayor rendimiento de forraje. No

se descartaría también una cierta disminución en la disponibilidad de P, al haberse constatado condiciones de menor humedad en los suelos. De acuerdo con investigaciones anteriores (Ferrando et al., 2002), el secado de suelos que estuvieron con exceso previo de agua conduce a la precipitación del hierro en formas de mayor reactividad por el P. La eficiencia de utilización del P agregado por la planta osciló entre 4 y 20%, con valores promedio del orden de 7-9%. Esta baja eficiencia de utilización estaría relacionada a la existencia de estos mecanismos de retención, relevantes para estos suelos, dada la alta reactividad de los óxidos de hierro.

Un aspecto que complementa lo anterior es la falta de relación entre el resultado de análisis de suelo y la respuesta al agregado de P. En suelos agrícolas, con regímenes hídricos donde los procesos de anaerobiosis no son frecuentes, existen relaciones claras entre ambas variables. Los resultados encontrados en los experimentos comentados previamente no muestran relaciones claras entre la disponibilidad de P estimada por Bray 1 y el índice de respuesta al agregado de P (rendimiento relativo). Esto indicaría que el método Bray 1 no tendría buen poder predictivo de la disponibilidad de P en suelos sujetos a períodos variables de inundación y secado. También otros factores distintos a la disponibilidad de P en el suelo pudieron afectar en forma importante la producción e implantación de las pasturas (ocurrencia de períodos de inundación total o de parte del suelo reduciendo el área de exploración radicular, la cantidad de rastrojo, o el nivel de competencia con malezas), los cuales repercutieron en la alta variabilidad observada dentro de cada sitio, así como entre sitios.

Conclusiones

La respuesta a P en pasturas está condicionada a niveles bajos de disponibilidad de P del suelo y a la presencia importante de leguminosas en las pasturas. En pasturas dominadas por gramíneas sólo es de esperar respuesta significativa a P en la fracción leguminosa, aunque ésta es una componente menor de la mezcla.

El agregado de P en la instalación de especies con altos requerimientos de P, como las leguminosas, tiene un efecto positivo tanto en el aumento de los rendimientos de forraje, así como en la calidad del mismo (contenido de N y P). La instalación y desarrollo de plantas se ve favorecida al aumentar la disponibilidad de P por fertilización, lo cual permite no sólo un adelanto en la producción de fin de invierno – principio de primavera, sino también en mejorar las posibilidades de sobrevivencia de las plantas frente a condiciones que limiten la absorción de P (sequía).

La respuesta a P es más notoria para la producción de fin de invierno, lo cual se relaciona a las bajas temperaturas, las cuales limitan no sólo el crecimiento de las plantas, sino también la disponibilidad de fósforo.

La utilización de indicadores de disponibilidad de P, como el método Bray 1, presenta limitantes para evaluar la disponibilidad de P frente a cambios frecuentes en las condiciones de oxidación-reducción. Sin embargo, en la actualidad, en los sistemas de rotaciones de cultivo de arroz con pasturas, el uso del insumo P es reducido, ya que el cultivo de arroz presenta escasa respuesta al agregado de P, lo cual determina que las dosis agregadas sean reducidas. Por otro lado, en la etapa de pasturas tampoco es frecuente el uso del P, por lo menos en la instalación. Esto determina que las situaciones más frecuentes son de una baja disponibilidad del nutriente en el suelo. Esto determina una alta probabilidad de respuesta al agregado de P en pasturas con leguminosas de altos requerimientos del nutriente.

Bibliografía consultada

Aguirre, E.; Ríos, M. (1984). Relevamiento nutricional y de otras variables de producción en el área arrocería de Tacuarembó. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 249p.

Bradley, J.; Vimpany, I.; Nicholls, P.J. (1984). Effects of water logging and subsequent drainage of a pasture soil on phosphate sorption, extractable phosphate and oxalate-extractable iron. *Aust. J. Soil.* 22:455-461.

Bordoli, M. (1998). Fertilización de pasturas de leguminosas y de pasturas mezclas de gramíneas y leguminosas. *In Manejo de la fertilidad de suelos en sistemas extensivos. Curso de actualización profesional. Bañado de Medina, Melo.* pp 71-79.

Cardozo, O.; Griegson, J.; Mas, C.; Bonilla, O.; Acevedo, A.; Vidiella, J.C. 1978. Utilización de pasturas con bovinos en la región Este. Unidades El Ceibo, Charqueada, Lascano, Rincón de Ramírez, Sierra Polanco y Alférez. *Pasturas IV Miscelánea N° 18. CIAAB. Montevideo, Uruguay.* pp137-167.

Ferrando, M.; Mercado, G.; Hernández, J. (2002). Dinámica del hierro y disponibilidad de fósforo durante períodos cortos de anaerobiosis en los suelos. *Agrociencia* 6:1-9.

Del Pino, A.; Andión, J., 2003. Efecto de la fertilización fosfatada y mejoramientos con leguminosas en cobertura en la calidad de las pasturas y producción de carne. Resúmenes 2° Congreso Nacional sobre Manejo de Pastizales Naturales-San Cristóbal-Santa Fé, Argentina. 8-10 octubre de 2003

Hernández, J. (1996). Dinâmica de fósforo em alguns solos de Uruguai afetada pela variação temporal nas condições de oxidação-redução. Tesis M.Sc. Porto Alegre, Brasil, Faculdade de Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 173p.

Hernández, J.; Meurer, E. (2000). Adsorção de fósforo em função das variações temporais nas condições de oxidação-redução em solos de Uruguai. *Rev. Bras. Ci. Solo.* 24:19-26.

Hernández, J.; Berger, A.; Deambrosi, E.. (2003). Evaluación de métodos para estimar la disponibilidad de fósforo del suelo en cultivo de arroz irrigado en el Uruguay. *In III Conferencia internacional de arroz de clima templado. Punta del Este, Uruguay, 10 al 13 de Marzo de 2003.*

Mas, C. 1978. Región este. *Pasturas IV Miscelánea N° 18. CIAAB. Montevideo, Uruguay.* Pp 37-64.

Patrick Jr., W.H.; Mikkelsen, D.S. (1971). Plant nutrient behaviour in flooded soil. *In: Olson, ed. Fertilizer technology and use. 2 ed. Madison, Wis., Soil Science Society of America.* pp.187-215.

Ponnamperuma, F.N. (1972). The chemistry of submerged soils. *Advances in Agronomy* 24:29-96.

Roy, A.C.; De Datta, S.K., (1985). Phosphate sorption isotherms for evaluating phosphorus requirement of wetland rice soils. *Plant and Soils* 86:185-196.

Willett, I.R. (1989). Causes and prediction of changes in extractable phosphorus during flooding. Aust. J. Soil Res. 27:45-54.

Willett, I.R., Chartres, C.J.; Nguyen, T.T. (1988). Migration of phosphate into aggregated particles of ferrihydrite. J. Soil Sci. 39:275-282.

Fertilización fosfatada

5. Conclusiones integradoras

5.1. Conclusiones integradoras

Milton Carábula ⁽¹⁾

De acuerdo con la información presentada en este Seminario de Actualización Técnica sobre Fertilización Fosfatada en la Región Este, tema que es motivo central del mismo, ha sido enfocada por los diferentes autores de tal manera de lograr y profundizar conocimientos básicos que permitan efectuar recomendaciones prácticas al asesor técnico y al productor.

Al respecto, los items principales encarados en todos los trabajos comprenden estudios en la importancia del fósforo inicial, la evolución del fósforo residual y la información sobre ambos para fijar los tratamientos de refertilización.

Asimismo, se ha tratado de determinar los efectos de este nutriente para alcanzar mayores rendimientos de materia seca en inviernos y el mejor balance en la mezcla clásica de lotus-trébol blanco que generalmente constituye el componente leguminosa en muchas de las pasturas mejoradas del país.

El fósforo inicial

El mejoramiento de las pasturas en base a leguminosas requiere forzosamente que al momento de la siembra, se incluya el nutriente fósforo en los suelos.

Al respecto en la mayoría de los estudios realizados, se registró una respuesta muy importante a la aplicación inicial de fósforo, mostrando incrementos destacados y progresivos en materia seca a medida que las dosis de fósforo fueron mayores, particularmente en los suelos sin historia de fertilización fosfatada.

En cuanto a fuente de este fósforo inicial, si bien en la mayoría de las situaciones la Fosforita natural se presentó como la más adecuada para aplicar en la Región Este; otras fuentes mostraron muy buen comportamiento en ciertas circunstancias particulares. Por consiguiente, en cuanto a fuentes iniciales se refiere, se considera oportuno que se consulte al respecto los distintos trabajos aquí presentados (experimentos 2.1 a 4.1 para los distintos tipos de suelos estudiados).

El fósforo residual

La búsqueda de técnicas para lograr una mayor eficiencia de los insumos que se utilizan para implantar una pastura a costos menores, debe ser uno de los objetivos más importantes de la actual praxicultura sobre suelos no arables, mediante los mejoramientos de los campos.

Es por ello que prácticamente en todos los experimentos sobre fertilización fosfatada ejecutados en la Región Este se encara, bajo distintas situaciones, el valor residual de diferentes fertilizantes fosfatados disponibles a nivel comercial. Al respecto éstos han sido utilizados en diferentes dosis, así como sobre distintas especies y cultivares tester, incluidos aquellos más diferenciados en las tres

⁽¹⁾ Ing.Agr., MSc., Programa Plantas Forrajeras INIA Treinta y Tres (hasta diciembre 1999)

zonas principales de la Región Este, a saber: *Lotus corniculatus*, *Lotus pedunculatus*, *Lotus tenuis* y *Lotus subbiflorus* (especies poco demandantes en fósforo) y *Trifolium repens* (especie de altas necesidades de fósforo).

En general cuando se consideró el lotus común y el trébol blanco se detectó un efecto residual por parte de todos los fertilizantes fosfatados estudiados, siendo la magnitud de estos efectos variable con la fuente utilizada y con el volumen de la dosis aplicada.

Al respecto, en cuanto a la fuente aplicada, aquellos con mayor porcentaje de fósforo soluble presentaron un menor efecto residual, tanto al segundo como al tercer año de la pastura; pero en estas fuentes al cuarto año este efecto desapareció (experimentos 3.1 y 3.5).

En cuanto al volumen de las dosis aplicadas inicialmente es posible, afirmar que al ser éstas incrementadas, se detectó generalmente incrementos altamente significativos al 2^{do} y 3^{er} año de la pastura por parte de las dosis más altas sobre las dosis más bajas (experimento 3.2).

Asimismo, es posible decir que en la mayoría de las situaciones, el trébol blanco fue capaz de responder mejor que el lotus común, frente a las dosis más altas, aplicadas a la misma siembra (experimento 3.5).

Este comportamiento no fue observado cuando se consideró el lotus cv. El Rincón presumiblemente porque al ser ésta una especie anual, requiere cada año para el reclutamiento de sus plántulas, volúmenes muy importantes de fósforo soluble. No obstante, la respuesta de esta leguminosa fue variable entre años e independiente de la fuente y dosis utilizadas (experimentos 2.1. y 3.2).

Con referencia a la residualidad del fósforo siguiente a un cultivo previo de una leguminosa para grano, en este caso la soja, se observó que en general las especies forrajeras sembradas posteriormente respondieron a las dosis iniciales aplicadas junto con dicho cultivo a la siembra; aunque el lotus mostró ser menos sensible que el trébol blanco (experimento 3.6). Este efecto se encontró en la mayoría de los experimentos.

Por último, la respuesta al agregado de fósforo a los efectos de sembrar leguminosas sobre rastrojos de arroz, requiere consideraciones especiales, teniendo en cuenta que normalmente las dosis aplicadas de fósforo para implantar este cultivo son bajas y que una vez en la etapa de pasturas el suelo puede secarse más fácilmente lo que aumenta la retención del fósforo por el mismo. Ambos procesos se complementan para provocar una disminución en la disponibilidad de este nutriente para las plantas.

De ahí entonces que en dichos suelos se constatan condiciones particulares que contrastan con los suelos de las zonas de Sierras, así como con las Colinas y Lomadas, en cuanto a su capacidad para ofrecer fósforo residual a las leguminosas que se siembran sobre los rastrojos del arroz (experimento 4.1).

Estas condiciones determinan que en dichas chacras la respuesta a las fertilizaciones realizadas a la siembra de las pasturas, sean muy eficientes, y progresivamente mayores al incrementar la dosis aplicada, aunque las dosis a utilizar dependerán básicamente de aquellas aplicadas previamente al arroz (cuanto más alta mejor) y en la especie a ser sembrada (poco exigentes *Lotus* spp. y más exigentes *Trifolium* spp.).

La refertilización

Poseer un conocimiento lo más aproximado posible sobre el contenido de fósforo residual de los suelos, permite manejar de manera más precisa los tratamientos de refertilización, de aquellas pasturas, en las que las leguminosas constituyen un componente esencial.

Desde que en la mayoría de los experimentos realizados se ha detectado la presencia de fósforo correspondiente a la aplicación inicial previa de este nutriente, ha resultado siempre importante conocer la posibilidad de manejar dicha residualidad a los efectos de fijar los tratamientos de refertilización más adecuados.

En todas las circunstancias, con o sin incidencia de la fuente de fósforo aplicada, los efectos de las refertilizaciones resultaron destacables, indicando la necesidad de complementar el fósforo residual mediante su reposición por medio de nuevas aplicaciones, acordes con las necesidades de cada suelo.

La retención del fósforo agregado en las dosis iniciales, se debería a la acidez de los suelos y al elevado contenido de óxidos de hierro de los mismos (experimento 2.3).

Las refertilizaciones anuales han provocado, en general, una entrega de forraje más constante.

La producción otoño – invernal

De acuerdo con la información registrada, la cobertura del mayor déficit forrajero del país correspondiente al período otoño-invernal, que generalmente es cubierta por las leguminosas y en particular por los tréboles, puede ser incrementada por el uso de fosfatos.

Al respecto, la producción de materia seca de un trébol blanco en su segundo año, pudo ser incrementada en un 44% cuando se utilizó como fuente fosfatada la Fosforita natural, fertilizante que permitió alcanzar los mayores rendimientos (experimentos 3.1 y 4.1).

El balance trébol blanco – lotus común

Para obtener los mayores rendimientos en materia seca y el mejor balance de esta mezcla clásica que se utiliza como componente leguminosa en la mayoría de las pasturas del país, resulta prioritario considerar el manejo del contenido de fósforo de los suelos.

En cuanto al tipo de fuente fosfatada mientras el trébol blanco presentó un mejor comportamiento frente a la Fosforita natural, el lotus se mostró indiferente frente a las distintas fuentes de fósforo utilizadas.

Los datos observados muestran que el trébol blanco resultó beneficiado, al ser incrementada la disponibilidad del fósforo, tanto en las dosis iniciales altas como en las dosis iniciales medias, pero refertilizadas.

Por el contrario, si bien el lotus común respondió a las dosis menores, no lo hizo a las dosis altas demostrando la presencia de dos posibles razones: que el lotus es más eficiente que el trébol blanco

para utilizar las dosis de fósforo disponible y/o que la morfofisiología del trébol blanco permite utilizar las dosis más altas de fósforo disponible (experimento 3.1).

Contenido de fósforo en el forraje

A medida que se incrementó la disponibilidad del fósforo residual en el suelo, como consecuencia de las dosis progresivamente mayores aplicadas a un cultivo sembrado el año anterior y cosechado para grano, el contenido de fósforo en el forraje del trébol blanco aumentó también progresivamente, pero esos aumentos fueron menores a medida que las dosis iniciales eran mayores.

En cambio, en el lotus común, si bien se detectó un contenido mayor de fósforo en su forraje frente al incremento de las dosis iniciales, esta especie no mostró diferencias entre las distintas fuentes fosfatadas utilizadas; siendo el aumento del contenido de fósforo en planta logrado por la refertilización, similar en todas las dosis iniciales aplicadas.

El efecto de las fuentes sobre las especies fue mayor en trébol blanco que en lotus (experimento 3.6)

En todas las situaciones en que se detectó un incremento de fósforo en la planta más allá del máximo de producción de materia seca, determinó una mayor calidad por parte del componente leguminosa de la pastura (experimento 2.3).

Agradecimientos

A los técnicos de:

- Otras Estaciones Experimentales de INIA:
Ing. Agr., Dr. Alejandro Morón
Ing. Agr., PhD Armando Rabuffetti
Ing. Agr., MSc Carlos Mas
- Facultad de Agronomía:
Ing. Agr. Omar Casanova
Ing. Agr. Marcelo Ferrando
Ing. Agr., MSc Jorge Hernández
Ing. Agr. José Zamalvide
- Empresa ISUSA
Ing. Agr. Luis Mullin
- Y especialmente al Ing. Agr., MSc Milton Carámbula

A los funcionarios de INIA Treinta y Tres:

- Administración:** Baraibar, Carolina
Castro, Pablo
Saavedra, Alicia
- Biblioteca:** Mesones, Belky^{1/}
- Personal:** Der Gazarián, Verónica
- Plantas Forrajeras:**
Ferreira, Gerardo^{1/}
Jackson, Jhon
Serrón, Néstor
- Secretaría:** Alvarez^{1/}, Olga
Cossio, Gloria
- Semillas:** Oxley, Mabel
- Servicios Auxiliares:**
Bas, Rafael
Domínguez, Miguel
Mesa, Dardo
Sosa, Bruno
- Servicio de Operaciones:**
Alonzo, Jorge
Bauzil, Raúl
Escalante, Ruben
Falero, Isidro
Ituarte, Gerardo
Píriz, Carlos
- Unidad de Difusión:** Segovia, Carlos^{1/}

^{1/} Diagramación, Edición e Impresión