

Escuela Superior de Agricultura Praga – Checoslovaquia  
Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey"

**Estudio de algunos factores que influyen en la eficiencia  
de la utilización del fósforo en *Panicum maximum* Jacq.**

Autor: *Lic. Anesio Rolando Mesa Sardiñas*

Tutor: *Prof. Ing. Miroslav Petrik, C.Sc.*

Tesis presentada en opción al grado de Candidato a Doctor en Ciencias Agrícolas

1986

## **Agradecimientos**

Al Partido Comunista de Cuba y al Gobierno Revolucionario, que con su política educacional en el desarrollo científico-técnico de nuestro país, me han brindado la facilidad de efectuar este trabajo.

A la República Socialista de Checoslovaquia y a la Escuela Superior Agrícola de Praga por las oportunidades brindadas para la presentación del mismo, y específicamente a la Cátedra de Bases Biológicas de la Producción Vegetal, que me han ofrecido todas las facilidades para ejecutar algunos experimentos.

A mi tutor Prof. Ing. Miroslav Petrik, CSc., por sus acertadas orientaciones y consejos, así como a todos los miembros de la Cátedra de Pastos.

A los Docs. Ing. Josef Kupka, CSc. y Doc. Ing. L. Grég, CSc. por haberme brindado una esmerada atención durante la ejecución de los experimentos.

A los trabajadores de la Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey", y muy especialmente al Departamento de Estudios Agronómicos, que hicieron posible el desarrollo de los trabajos experimentales, asimismo, a los Ing. Marta Hernández, C.Dr. y Víctor Remy, C.Dr., por sus valiosas orientaciones, y al técnico Félix Mendoza por la ayuda prestada en la ejecución de los experimentos.

A la Sección de Biometría, y especialmente al Ing. José Martínez por los análisis efectuados.

Al colectivo de la Sección de Análisis Químico por el esmero con que efectuaron los análisis.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Fundamentales de Agricultura, y especialmente al Departamento de Técnicas Nucleares, por las facilidades brindadas en la ejecución de algunos experimentos.

En fin, a todos mis mayores agradecimientos.

## Índice

<b>Introducción</b> .....	<b>1</b>
<b>Capítulo 1. Revisión de la bibliografía</b> .....	<b>2</b>
1.1 Importancia del fósforo en la fisiología de los pastos y forrajes .....	2
1.2 Formas y contenido de fósforo en los suelos tropicales y su relación con la nutrición de los pastos .....	3
1.2.1 Contenido de fósforo total .....	3
1.2.2 Forma y contenido del fósforo inorgánico .....	4
1.2.3 Contenido de fósforo orgánico .....	6
1.2.4 Sorción y fijación de los fosfatos en el suelo .....	6
1.2.5 Transformaciones químicas de los fertilizantes fosfóricos en el suelo .....	8
1.2.6 Absorción de fosfatos por los pastos y forrajes .....	9
1.3 Factores que afectan la utilización del fósforo en los pastos y forrajes .....	10
1.3.1 Especie de pasto .....	10
1.3.2 Tipo de suelo .....	12
1.3.3 Dosis de aplicación .....	13
1.3.4 Formas de aplicación .....	14
1.3.5 Fuentes fosfóricas .....	15
<b>Capítulo 2. Materiales y métodos</b> .....	<b>17</b>
2.1 Característica de los suelos .....	17
2.2 Descripción de la especie .....	17
2.2.1 Origen y distribución geográfica .....	17
2.2.2 Caracteres botánicos .....	18
2.3 Metodología general .....	19
2.3.1 Preparación del suelo y siembra .....	19
2.3.2 Fertilización y riego .....	19
2.3.3 Corte, toma y preparación de las muestras .....	19
2.3.4 Mediciones .....	19
2.3.5 Cálculos y análisis estadísticos .....	19
2.4 Métodos analíticos .....	20
2.4.1 Análisis químico del pasto .....	20
2.4.2 Análisis químico del suelo .....	20
2.5 Metodología experimental en medio líquido .....	20
<b>Capítulo 3. Influencia de las características del suelo sobre la eficiencia de la utilización del fósforo</b> .....	<b>21</b>
Sección A .....	21
Estudio de la cinética de sorción de los iones fosfatos en los suelos Ferralítico Rojo hidratado y Ferralítico Cuarcítico amarillo lixiviado .....	21
Materiales y métodos .....	21
Resultados .....	21
Sección B .....	22
Status nutritivo de suelos y su relación con la eficiencia de utilización del fósforo .....	22
Materiales y métodos .....	22
Resultados .....	23
Suelo Ferralítico Rojo hidratado .....	23
Suelo Ferralítico Cuarcítico amarillo lixiviado .....	24
Discusión .....	25
<b>Capítulo 4. Eficiencia de utilización del fósforo en cultivares de <i>Panicum maximum</i> Jacq.</b> .....	<b>29</b>
Materiales y métodos .....	29
Resultados .....	29
Rendimiento de MS (g/maceta) .....	29
Producción de raíz (g/maceta) .....	30
Contenido de P (%) .....	30
Niveles críticos de P (%) .....	32
Eficiencia de utilización del fósforo (EUP) .....	32
Discusión .....	34
<b>Capítulo 5. Respuesta fisiológica de <i>Panicum maximum</i> cv. Likoni al fósforo</b> .....	<b>37</b>
Sección A .....	37
Efecto del fósforo sobre la distribución y acumulación de materia (MS) en <i>Panicum maximum</i> cv. Likoni .....	37

Materiales y métodos .....	37
Resultados.....	37
Sección B.....	38
Efecto de niveles crecientes de fósforo sobre la absorción y distribución de P en la Likoni .....	38
Materiales y métodos .....	38
Resultados.....	38
Sección C.....	39
Estudio de la influencia de niveles crecientes de fósforo sobre el metabolismo de este en la hierba Likoni ( <i>Panicum maximum</i> ).....	39
Materiales y métodos .....	39
Resultados.....	40
Sistema radicular.....	40
Parte aérea de la planta .....	40
Sección D.....	44
Efecto del fósforo sobre la actividad respiratoria en <i>Panicum maximum</i> cv. Likoni.....	44
Materiales y métodos .....	44
Resultados.....	44
Sección E.....	45
Influencia de dosis crecientes de fósforo sobre el contenido de N, P, K, Ca y Mg en la materia seca de <i>Panicum maximum</i> cv. Likoni .....	45
Materiales y métodos .....	45
Resultados.....	45
Discusión .....	48
<b>Capítulo 6. Efecto de dosis y fuente de fósforo sobre la eficiencia de utilización del P en <i>Panicum maximum</i> cv. Likoni en dos tipos de suelos .....</b>	<b>53</b>
Materiales y métodos .....	53
Resultados.....	53
Discusión .....	56
<b>Conclusiones .....</b>	<b>58</b>
<b>Recomendaciones.....</b>	<b>59</b>
<b>Referencias bibliográficas.....</b>	<b>60</b>

## Índice de tablas

Tabla 1. Niveles críticos de P en gramíneas tropicales. ....	11
Tabla 2. Composición química de los suelos. ....	17
Tabla 3. Tratamientos empleados. ....	23
Tabla 4. Fuentes y niveles de los nutrientes aplicados al suelo. ....	23
Tabla 5. Efecto de la omisión de los nutrientes al suelo sobre la composición química del pasto (%). ....	24
Tabla 6. Efecto de la omisión de nutrientes al suelo sobre la composición química del pasto (%). ....	24
Tabla 7. Efecto de la omisión de nutrientes en los suelos sobre la eficiencia de utilización del P. ....	25
Tabla 8. Fuentes y niveles aplicados al suelo como fondo fijo. ....	29
Tabla 9. Efecto del P sobre el contenido de P (%) en <i>Panicum maximum</i> (primer corte). ....	31
Tabla 10. Efecto del P sobre el contenido de P (%) en <i>Panicum maximum</i> (segundo corte). ....	32
Tabla 11. Efecto del P sobre el contenido de P (%) en <i>Panicum maximum</i> (promedio de los dos cortes). ....	32
Tabla 12. Niveles críticos de P en <i>Panicum maximum</i> . ....	32
Tabla 13. Efecto del P en la relación N/P en la hierba guinea. ....	46
Tabla 14. Efecto del P en la relación P/K en la hierba guinea. ....	47
Tabla 15. Efecto del P en la relación P/Ca en la hierba Likoni. ....	47
Tabla 16. Efecto del P en la relación P/Mg en la hierba likoni. ....	48
Tabla 17. Composición química de la roca fosfórica (%). ....	53
Tabla 18. Efecto de diferentes niveles de RF sobre le rendimiento de MS (g/maceta) en la hierba likoni en el suelo Ferralítico Rojo hidratado. ....	54
Tabla 19. Efecto de diferentes niveles de SPT y RF sobre la extracción de P (mg/maceta) por la hierba likoni en dos tipos de suelo. ....	55
Tabla 20. Efecto de diferentes niveles de SPT y RF sobre el abastecimiento de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%) en ambos tipos de suelo. ....	56

**Índice de figuras**

Fig. 1 Cinética de sorción en los suelos Ferralítico Rojo hidratado y Ferralítico Cuarcítico amarillo lixiviado (µgP/ml).....	22
Fig. 2. Sorción máxima de P (µg/g) de dos suelos.....	22
Fig. 3. Efecto de la omisión de nutrientes sobre el rendimiento de MS. Suelo Ferralítico Rojo hidratado.....	23
Fig. 4. Efecto de la emisión de nutrientes sobre el rendimiento de MS. Suelo Ferralítico Cuarcítico amarillo lixiviado.....	24
Fig. 5. Efecto del P sobre le rendimiento de MS (g/macolla).....	30
Fig. 6. Efecto del P sobre el rendimiento de raíz (g/maceta).....	31
Fig. 7. Eficiencia de utilización del fósforo en cvs. de <i>Panicum maximum</i> .....	33
Fig. 8. Relación entre la EUP y el % de P en los cvs. de <i>Panicum maximum</i> .....	33
Fig. 9. Eficiencia de la utilización del P (mg de MS/mg de P aplicado por kg de suelo).....	34
Fig. 10 Efecto del fósforo sobre los componentes del rendimiento de MS en <i>Panicum maximum</i> cv. Likoni.....	37
Fig. 11. Efecto del fósforo sobre el rendimiento de MS de la parte aérea y la biomasa total.....	38
Fig. 12. Efecto del P sobre la distribución y acumulación del fósforo en <i>Panicum maximum</i> cv. Likoni.....	39
Fig. 13. Fraccionamiento del fósforo en la parte apical de la raíz.....	40
Fig. 14. Fraccionamiento del fósforo en la raíz.....	41
Fig. 15. Fraccionamiento del fósforo en la segunda hoja.....	41
Fig. 16 Fraccionamiento del fósforo en la tercera hoja.....	42
Fig. 17. Fraccionamiento del fósforo en la cuarta hoja.....	42
Fig. 18. Fraccionamiento del fósforo en los tallos de la planta.....	43
Fig. 19. Fraccionamiento del fósforo en la parte aérea de la planta.....	44
Fig. 20 Efecto del fósforo sobre la actividad respiratoria en la porción apical de la raíz de <i>Panicum maximum</i> .....	45
Fig. 21. Efecto del fósforo sobre el contenido de nitrógeno en <i>Panicum maximum</i> cv. Likoni.....	45
Fig. 22. Efecto del fósforo sobre el contenido de fósforo en <i>Panicum maximum</i> cv. Likoni.....	46
Fig. 23. Efecto del fósforo sobre el contenido de potasio en <i>Panicum maximum</i> cv. Likoni.....	46
Fig. 24. Efecto del fósforo sobre el contenido de calcio en <i>Panicum maximum</i> cv. Likoni.....	47
Fig. 25. Efecto del fósforo sobre el contenido de magnesio en <i>Panicum maximum</i> cv. Likoni.....	48
Fig. 26. Efecto del SPT sobre el rendimiento de MS (g/macolla) en <i>Panicum maximum</i> cv. Likoni en el suelo Ferralítico Cuarcítico amarillo lixiviado.....	54
Fig. 27. Efecto de la RF sobre el rendimiento de MS (g/macolla) en <i>Panicum maximum</i> cv. Likoni en el suelo Ferralítico Cuarcítico amarillo lixiviado.....	54
Fig. 28. Coeficiente de aprovechamiento (K) del SPT y RF en un suelo Ferralítico Cuarcítico amarillo lixiviado.....	55

## Introducción

Antes del triunfo de la Revolución, la ganadería era explotada de forma extensiva, y era a la vez poco productiva, donde se explotaba la raza Cebú, que aunque es resistente a nuestras condiciones climáticas, resulta de muy baja productividad y con una alimentación sustentada con pastos naturales, en este período no existía un programa ganadero que permitiera mejorar la masa ni su alimentación.

A partir de 1959 nuestro Gobierno Revolucionario comienza a crear las condiciones para lograr el desarrollo acelerado de la ganadería, capaz de satisfacer las demandas siempre crecientes de leche y carne. Se elaboró un programa sobre bases científicas en el cual se incluía el mejoramiento genético de la masa bovina, las instalaciones de la misma, así como la creación de una base alimentaria a través de los pastos y forrajes, debido a que los rumiantes son capaces de utilizarlos más eficientemente en nuestras condiciones.

La alimentación vacuna a partir de los pastos y forrajes ha sido bien definida desde el triunfo de la Revolución, teniendo como máximo impulsor a nuestro Comandante en Jefe Fidel Castro Ruz, lo cual se puede apreciar en sus intervenciones en las diferentes reuniones y que expondremos a continuación.

En la Plenaria Nacional de Ganadería efectuada en 1973 expresó:

“Nuestro país no es un país cerealista, las condiciones de nuestra ganadería no son buenas para la producción de cereales, el terreno es duro en general, el clima es inestable, los vientos son fuertes y las plagas también son fuertes. Nuestras mejores tierras están dedicadas a la caña de azúcar, principal renglón económico de nuestro país. Por estos motivos, nuestra ganadería tendremos que buscarla fundamentalmente en los pastos de gramíneas y leguminosas en la medida en que podamos ir introduciendo estas últimas”.

Posteriormente, al concluir la IV Plenaria de Ganadería en 1974, Fidel Castro expresó:

“De nuevo vuelvo a insistir en la importancia que tiene el pastoreo y nosotros desarrollemos una filosofía de alimentación del ganado vacuno a base de pastos, pastos que deben ser fertilizados, y cada vez que podamos ir ampliando las áreas de riego, por lo económico que resulta la alimentación del ganado a base de pastos y por las incuestionables dificultades que surgen con respecto a la adquisición de granos para la alimentación del ganado”.

En el I Congreso del Partido Comunista de Cuba, (1975), fue ratificada esta concepción de la alimentación vacuna, estableciéndose en las directivas para el desarrollo económico-social para el quinquenio 1976-1980, como tarea principal, la de “trabajar en la creación y aseguramiento de la base alimenticia del ganado vacuno, como principal condición determinante del crecimiento y desarrollo de la masa ganadera y sus producciones, siendo necesario adoptar medidas para el aseguramiento de la alimentación del ganado vacuno fundamentalmente a base de pastos y forrajes”; por lo que la política científica nacional señala que “la alimentación del ganado debe basarse en nuestros recursos nacionales, aprovechando nuestras condiciones climáticas, desarrollando la base alimentaria fundamentalmente con pastos de mayor calidad y rendimiento, estudiando la utilización más eficiente de los mismos”.

Estos aspectos fueron ratificados en el II Congreso del PCC celebrado en 1980, y dentro de los lineamientos económicos-sociales para el quinquenio 1981-1986, se plantea continuar mejorando las condiciones de alimentación de la ganadería vacuna, fundamentalmente a través del aumento de la producción y la calidad de los pastos y forrajes, así como de sus formas preservadas.

Por su parte, la fertilización de los pastos con medida aerotécnica tiene varios objetivos: elevar los rendimientos y calidad, mejorar la composición botánica, provocar un pico máximo de rendimiento para preservarla para el período de escasez de alimentos, acelerar el crecimiento para disminuir la edad de la cosecha, etc.; además a diferencia de otros cultivos, en toda una gama de suelos en nuestro país, y de ellos el 90% una o más deficiencias, ya sean químicas, físicas o ambas a la vez.

Es por eso que el sistema suelo-planta donde intervenga el pasto, la fertilización es una tarea compleja, debido a que la producción del alimento es un eslabón intermedio y su eficiencia técnica-económica no puede medirse aisladamente, hasta que el alimento producido no sea consumido, utilizado y convertido.

Dentro de la fertilización, la fosfórica es de gran importancia para obtener buenos rendimientos de pastos, y, sin embargo, sus precios aumentan considerablemente en el mercado internacional, por lo que es imprescindible estudiar los diversos factores que influyen en la eficiente utilización de este alimento.

Tomado en cuenta todo lo expresado anteriormente, se desarrolla el presente trabajo: Estudio de algunos factores que influyen en la eficiencia de la utilización del fósforo en *Panicum maximum* Jacq. cv. Likoni, el cual tiene como objetivo **el estudio de la influencia de las características del tipo de suelo, la variedad dentro de esta especie, la respuesta fisiológica a dicho elemento, así como la influencia de niveles y fuentes de fósforo en dos tipos de suelos, aportando resultados para un mejor aprovechamiento de este nutrimento y su utilización en posteriores investigaciones de carácter aplicado.**

## Capítulo 1. Revisión de la bibliografía

### 1.1 Importancia del fósforo en la fisiología de los pastos y forrajes

El fósforo es un elemento esencial para el fisiologismo vegetal, debido que participa activamente en las funciones reproductivas, estructurales y energéticas. El mismo, según Ballard y Buttler (1966), es un componente de todo el complejo enzimático involucrado en el transporte de energía, en los azúcares fosfatados, nucleótidos, ácidos nucleicos, nucleoproteínas, fosfolípidos y ácidos fítics, entre otros, así como en forma inorgánica.

Todos estos compuestos, producto del metabolismo celular, tienen gran importancia, teniendo un lugar cimero la energía química del trifosfato de adenosina (ATP), el cual actúa como transportador energético en aquellos procesos celulares que necesitan energía, generándose a partir del adenosin difosfato (ADP), mediante reacciones de fosforilación ligadas o acopladas a expensas de la energía que se libera en la degradación de las moléculas combustibles.

Kudrna (1979) apuntó que la fase termodinámica para un crecimiento rápido y vigoroso de la biomasa es una consecuencia de la utilización de la energía interna de los factores existenciales y que la nutrición mineral representa un factor importante, donde el P es de vital importancia.

Así, se ha demostrado que un medio deficiente en P, los fosfolípidos se inhiben provocando una reducción en la integridad de la membrana citoplasmática (Kates, 1980). De acuerdo con Küiper (1970), los fosfolípidos más importantes en los pastos son el fosfatidilcolina, fosfoglicerol, fosfoetanolamina y fosfatidil de inositol, y muchos de ellos inciden directamente en la producción de sustancias orgánicas.

Una fracción también importante dentro del vegetal es el ácido fítico (ácido éster hexafosfórico de inositol), que se encuentra usualmente en forma de sales de calcio y magnesio conocidos como fitina y constituye aproximadamente el 90% de los compuestos fosfóricos de las semillas (Alov, 1971). Este compuesto sirve reserva a las semillas en germinación, donde los iones fosfatos se hacen disponibles durante este proceso, por las reacciones de fosforilación. Iguales resultados han sido obtenidos por Hsiao, Quick y Jain (1984) en semillas de avena (*Avena sativa*), donde las reservas de fitatos fueron movilizadas para el desarrollo de las plántulas.

Los glucofosfatos son también producto del enlace del fósforo con los azúcares formando ésteres complejas del ácido fosfórico, el cual sirve de sustrato para la respiración y fotosíntesis.

La insuficiencia de P en plántulas de trigo (*Triticum aestivum*) disminuyó notablemente el desprendimiento de CO<sub>2</sub> durante los primeros siete días de germinación, además de reducir el contenido de nitrógeno proteico en todos los órganos de las plantas, según las observaciones efectuadas por Jones (1936), así como la acumulación de glúcidos (Eaton, 1950).

También Fujiwara y Suzuki (1960) demostraron en *Hordeum vulgare* que la eficiencia fotosintética por área foliar y por unidad de clorofila fue más baja cuando las plantas crecían en un medio deficiente de P. Resultados similares hallaron Stanev y Kozarova (1984), pues la insuficiencia de P en el medio ocupó el segundo lugar dentro de los macroelementos que disminuían la intensidad fotosintética, que se agravó cuando la deficiencia de P estaba acompañada de insuficiencias de Ca y Mg.

También Heldt y Repley (1970) informaron que la exportación de los asimilados en cloroplastos se incrementa con altas concentraciones de fósforo inorgánico en el medio debido a un estricto intercambio de 3-fosfoglicerato y el fósforo inorgánico (Pi) a través de la membrana interna que envuelve el cloroplasto, asimismo Flüggé, Freisl y Heldt (1980) coinciden en que el máximo de fotosíntesis en los cloroplastos depende de la concentración de Pi, lo que debe estar relacionado con la especie en cuestión.

Mächler, Schneider y Nösberger (1984) encontraron en plantas de trigo que el contenido de ATP en cloroplastos iluminados decreció significativamente cuando la concentración de fosfato fue baja, y aumentó cuando se incrementó la dosis de este nutrimento en el medio.

En otros estudios realizados Mächler y Nösberger (1984) concluyeron que cuando se incrementaba la concentración de Pi a 5,0 mM, la actividad de la ribulosa carboxilasa expresada como ml CO<sub>2</sub>.mg de clorofila<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>, se incrementó en 20 con respecto al control, al igual que la síntesis de ATP.

Zaitseva y Sedenko (1962) argumentaron que la reducción de la intensidad respiratoria de las plantas, en las condiciones edáficas del extremo norte de la URSS, se debe a la insuficiencia de P en esos suelos.

Profundizando en estos estudios, posteriormente Zaitseva (1984) investigó en plantas de trigo la influencia de la deficiencia de P en el sistema oxidativo de las plantas y observó que este elemento afectó las actividades enzimáticas de las malotodeshidrogenasa, ácido ascórbico oxidasa, NADH y NADP citocromo C reductasa; aunque estos cambios con respecto al control, no se pudieron correlacionar con el contenido de P en las hojas y raíces producto del déficit de P en el medio.

También Sedenko y Zaitseva (1984) en plantas de trigo, cebada y maíz, estudiaron la influencia de la deficiencia de P sobre el metabolismo de la fotorespiración, a través de la enzima glicolato oxidasa. Es conocido que desde el punto de vista energético esto no es un proceso beneficioso para las plantas; sin embargo



observaron que la deficiencia de dicho elemento indujo a un incremento de esta enzima, y en una forma irreversible.

Ha sido observado que la deficiencia de este nutrimento puede provocar alteraciones anatómicas, así como en la morfología de las plantas. Según Lotero (1974), un suministro inadecuado de P puede provocar espacios intercelulares anormalmente grandes, el floema se desarrolla poco, las paredes celulares son delgadas y los tejidos del clorénquima se reducen y en algunos casos se desintegran. Drew (1975) encontró que las deficiencias de este elemento en *Hordeum vulgare* redujeron considerablemente el crecimiento de los tallos más que el de la raíz; mientras que Schenk y Barber (1979) informaron que el peso de los tallos de maíz se incrementó significativamente cuando se le aplicó P al suelo. Estos mismos autores confirmaron, además, que el radio radicular fue más pequeño que el tratamiento control.

Hallmark y Barber (1984) determinaron, en soya (*Glycine max*), que el incremento de 100 mg P/kg de suelo aumentó el peso de los tallos, área superficial de la raíz/planta, así como el influjo de P, K, Ca y Mg.

Con respecto a los síntomas visuales de deficiencias, Devlin (1975) plantea que estos pueden ser confundidos con los de nitrógeno y que la sintomatología no es tan pronunciada como para este último elemento, por lo que estas características deben usarse con precaución al hacer la diagnosis. Además, dentro de la planta el P es un nutrimento muy móvil, y las mayores concentraciones se localizan en las células con una mayor actividad meristemática o metabólica, por lo que los signos de deficiencias aparecen primero en hojas más viejas.

En *Panicum maximum* var. Trichoglume cv. Petrie, Smith (1974) encontró que el primer síntoma fue una coloración bronceada en las hojas más viejas, empezando por el ápice y extendiéndose por la hoja. Evidenció también zonas necróticas, comenzando por áreas grises de 10 a 20 mm de longitud y 5 mm de ancho, que tomaron un color amarillo, cambiando a carmelita oscuro. Las hojas superiores cuando la deficiencia persistía severamente, permanecieron con un color verde, pero los bordes tomaron un color púrpura. En *Paspalum dilatatum*, Smith y Verschoyle (1973) notaron un incremento de antocianina en las vainas de las hojas más inferiores y en los bordes de las mismas; esta pigmentación se extendió cuando la deficiencia fue más aguda, como un patrón difuso a través de las superficies de las hojas inferiores, marchitándose éstas y muriendo posteriormente. Resultados muy similares obtuvo también Smith (1974) en *Cenchrus ciliaris*.

En un experimento de omisión de nutrimentos, Christie (1975) llegó a la conclusión de que el P fue el elemento que más limitó el crecimiento de las plántulas, al igual que la velocidad de absorción, que fue ineficiente para mantener la concentración de P en los tejidos necesarios para el normal desarrollo de *Cenchrus ciliaris*; por su parte Mesa y Figueroa (1979) lograron un crecimiento raquíutico en *Chloris gayana* cuando el P en el suelo resultó ser un elemento limitante en un suelo mocarrero.

## 1.2 Formas y contenido de fósforo en los suelos tropicales y su relación con la nutrición de los pastos

El fósforo es uno de los elementos que caracteriza la fertilidad del suelo, pero las diferentes formas químicas en que se encuentra, así como las reacciones en el suelo, es aun en nuestros días un tema de actualidad; por ello, su estudio y profundización se impone como una necesidad para aumentar la eficiencia de utilización por los pastos, y más aun el conocer que entre el 70 y el 80% de los suelos dedicados a la ganadería en nuestro país presentan una baja fertilidad, por lo que se hace necesario que todos los factores de manejo, entre ellos los fertilizantes fosfóricos, sean utilizados convenientemente para explotarlos de forma racional.

Por esto, detallaremos en las condiciones del trópico las diferentes formas de fosfatos en el suelo, así como sus contenidos y los procesos físicos y químicos que sufre este elemento en el mismo, teniendo presente la importancia que tiene cada uno de estos aspectos en la nutrición de los pastos.

### 1.2.1 Contenido de fósforo total

El fósforo en el suelo presenta una alta estabilidad química, por lo que resulta de una baja solubilidad que a veces puede causar deficiencias a las plantas.

Según Roche, Grier, Baber, Calba y Fallavier (1980), analizando 500 muestras de suelo procedentes de 42 países del área tropical, se evidenció que el 65% de los suelos estudiados son intensamente deficientes en este elemento, el 26,6% tienen una carencia media y el 8,3 % no presentan deficiencias.

Fassbender (1975) informó que el contenido de fósforo total ( $P_t$ ) es muy variable en los suelos de América Latina, estando influenciado por la variabilidad de la roca madre, el desarrollo de los suelos, así como las condiciones edafológicas, aspectos que se pudieran generalizar a todo el trópico. Además, plantea que este contenido parece estar ligado a la materia orgánica, y existe una relación directa entre ambos y el pH, según Fassbender, Müller y Balerdi (1968), ya que en suelos ácidos el contenido de  $P_t$  promedio es de 1 241 mg/kg, mientras que los suelos alcalinos o neutros alcanzan valores de 9 889 mg/ha.

Así Blasco (1969), en suelos de origen volcánico de Colombia, informa que el contenido de  $P_t$  fue de 1 442 mg/kg de suelo. En suelos altamente meteorizados, Viera y Bornemissza (1968) notaron que el contenido de este nutriente fue de 359 mg/kg. También Fox y Benavides (1974) encontraron que en seis subgrupos de suelo, dedicados al cultivo de la caña en Hawái, el  $P_t$  disminuía a medida que aumentaba el nivel de meteorización, e informaron además que en el subgrupo Chromustert con una precipitación pluvial de 500 mm/año, el contenido de  $P_t$  fue de 0,228%; mientras que en los suelos Humóxicos con una precipitación promedio anual de 2 250 mm el  $P_t$  varió de 0,122 a 0,17%.

En Nueva Zelanda, Steele (1976) estudió dos suelos de textura arenosa dedicados al cultivo de los pastos; pero con diferencias en cuanto al drenaje, y encontró que en uno de ellos el contenido de  $P_t$  fue aproximadamente 600 mg/kg de suelo y en el otro 1 700; pero en el primero el drenaje era excesivo y en el segundo pobre y con un mayor contenido de arcillas amorfas.

Se ha visto como varía el contenido de  $P_t$  en las áreas tropicales, sin embargo, revelan un bajo contenido de fósforo disponible a las plantas, así como una alta capacidad de fijación y de acidez (Ahmed e Islam, 1973).

Tanaka, Hitsuda y Tsuchihashi (1984) plantean que los suelos ácidos tienen frecuentemente bajo contenido de P disponible, por lo que se requiere en los mismos aplicaciones de fertilizantes fosfóricos para aumentar los rendimientos de pastos, independientemente del contenido de  $P_t$ , situación que presentan los oxisoles, ultisoles y algunos otros más de América Latina, según Nunozawa y Tanaka (1984).

En Cuba, el contenido de  $P_t$  varía ampliamente de un suelo a otro, así Hernández, Cárdenas, Obregón, Moreno y Bosch (1973) informaron que en un suelo Pardo tropical en la región de Campo Florido, el contenido de  $P_t$  fluctuaba entre 0,064 a 0,074%. Villegas (1981) plantea que los suelos Ferralíticos Rojos tiene un alto contenido de  $P_t$  al encontrar valores de 0,35 para un suelo típico saturado y 0,45% de  $P_2O_5$  para un suelo plástico y 0,13% para un suelo Pardo.

### **1.2.2 Forma y contenido del fósforo inorgánico**

El fósforo inorgánico ( $P_i$ ) constituye una de las fracciones más importantes en los suelos y se ha observado una variabilidad en sus formas. Se constituye cuando los iones hidrógeno del ácido fosfórico son reemplazados por cationes formando sales, donde se ha informado estructuras químicamente bien definidas y cristalizadas, amorfas, fosfatos absorbidos y fosfatos en la solución del suelo (Fassbender, 1975).

Dentro de los fosfatos cristalinos, se han observado como los más importantes los cálcicos, férricos y aluminicos.

Los fosfatos de calcio más importantes, según Russell (1970), son:  $Ca(H_2PO_4) \cdot H_2O$  (fosfatos monocálcicos);  $CaHPO_4 \cdot 2H_2O$  (fosfato de calcio dihidratado);  $CaH_2(PO_4) \cdot 5H_2O$  (fosfato octocálcico);  $Ca(PO_4)_2$  (fosfato tricálcico);  $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$  (hidroxiapatita);  $Ca(PO_4)_6F_2$  (fluoruroapatita) y el fosfato de calcio deshidratado  $CaHPO_4$ , que son los que más predominan en los suelos, al igual que la plumbogummita  $(M.Al)_3(PO_4)_2(OH)_5 \cdot H_2O$  donde M es usualmente Ba, Sr y Ce, los cuales son muy usualmente en los suelos bien drenados y muy resistentes al lavado, su presencia se ha informado en Australia y la India.

También en los suelos con buen drenaje se ha encontrado la variscita  $(AlPO_4 \cdot 2H_2O)$ ; la strengita  $(FePO_4 \cdot 2H_2O)$  y la barrandita, que es una mezcla química de los últimos compuestos citados anteriormente, en cualquier proporción. Informa, además otro fosfato ferroso que es la livianita, típico de los suelos anegados, Fassbender (1975) cita otros fosfatos aluminicos que aparecen en algunos suelos, pero son de menor importancia, como la gorceixita, florencita, wavelita y la crandita.

Para las investigaciones agroquímicas en esta temática, ha sido muy usada la técnica de Chang y Jackson (1957) basada en las extracciones sucesivas de las diferentes formas de fosfatos, con soluciones extractantes específicas. Mediante esta se han hecho múltiples investigaciones y se ha concluido que la distribución de las mismas depende, en primer lugar, del grado de meteorización y desarrollo de los suelos. Así, en suelos de reciente formación predominan fosfatos cálcicos, en los medianamente desarrollados se presentan proporciones balanceadas de los diferentes fosfatos inorgánicos y en los maduros predominan más bien los fosfatos ocluidos en los hidróxidos de Fe, Al y Mn.

Con respecto al pH, Fassbender (1972) plantea que en los suelos con reacción neutral o alcalina predominan los fosfatos cálcicos, mientras que los de reacción ácida se encuentran abundantemente los de Fe y Al, al estudiar 110 suelos lateríticos de los Estados Unidos, Puerto Rico y América Central; aunque Chai Moo y Caldwell (1959) comunicaron que en los suelos de Minnesota las fracciones de P orgánica, P-Fe y P-Al en suelos cercanos a la neutralidad, se encontraban igualmente distribuidos. También Scheffer y Klobe (1960) informaron que en suelos con pH 6,7 a 7,1 hubo entre 46 y 64% de P-Ca y muy poco de P-Fe y P-Al (6 y 19% respectivamente), mientras que en los suelos ácidos con un pH de 5,8 a 6,3 predominaron las fracciones de P-Fe y P-Al con 24 y 295 respectivamente, y el P-Ca estuvo presente al 13%, por lo que estas diferencias deben estar relacionadas con los diferentes tipos pedológicos.

Chiang (1963) informa que en los suelos anegados, las diferentes formas del P fue P-Fe P-Al P-Ca con suelos ácidos y para los de reacción alcalina P-Ca P-Fe P-Al.

Ha sido informado por Fassbender (1975) que la granulometría influye en la distribución de estos fosfatos, pues puede observarse que en los suelos arenosos predominan las formas P-Ca; mientras que en los suelos arcillosos los P-Al y P-Fe. También en los suelos inundados o pantanosos predominan los P-Fe.

Viera y Bornemissza (1968), analizando 46 muestras diferentes en profundidades de 12 perfiles de la Amazonia del Brasil, informaron que en los suelos altamente meteorizados la mayor cantidad de  $P_i$  correspondió a los fosfatos ocluidos y para la mayoría de los suelos estudiados los P-Ca y P-solubles en  $H_2O$  fueron menos del 10% del  $P_t$ . Además, Westen y Brito (1969) plantearon que en algunos suelos de Venezuela, a medida que aumenta el lavado de los mismos, se observa una disminución del pH,  $P_t$ , P-activo y P-orgánico, aunque dentro de la categoría de P-activo aclararon que la fracción de P-Al no cambia bruscamente con el lavado de los suelos y sí por el grado de sequedad. Plantearon también que la fracción de P-Ca disminuyó significativamente y la de P-Fe aumentó con la intensidad del lavado, y concluyeron que los bajos contenidos en la fracción P-Al parecen estar relacionados con un fuerte lavado de los suelos tropicales en condiciones de buen drenaje, mientras que esta pudiera acumularse en suelos fuertemente lavados con drenaje muy pobre.

Resultados similares obtuvieron Uzo, Juo y Fayemi (1975) en Nigeria, donde observaron que las fracciones de P fueron P-ocluido P-Fe P-Al P-Ca, que estuvo relacionada esta distribución con los materiales parentales, el grado de meteorización de los suelos y las condiciones de drenaje de los mismos.

En las condiciones del Valle del Simú, Córdova y Tafur (1969), informan que las formas del P en la primera capa de suelo en orden decreciente fueron P-orgánico, P-Fe, P-apatítico, P-Al, P-no apatítico (unido al Ca), P-inerte y P-fácilmente reemplazable (extraído con  $NH_4Cl$  1N); en este tipo de suelo la fracción P-Fe es importante después del P-orgánico.

En Puerto Rico, Weaver, Fox y Grossdoff (1975), analizando 7 oxisoles y ultisoles, encontraron que el P-ocluido y el P-soluble reluctante fueron las formas inorgánicas predominantes en ambos suelos seguidos por P-Fe, P-adsorbido, P-Ca y P-Al.

En un estudio efectuado por Chaverdi (1958) en Costa Rica, se encontró que el contenido de  $P_t$  fue de 1 444 mg/kg de suelo, predominando las formas P-Fe y P-Ca respectivamente.

p-En México, García (1963), estudió 7 muestras de suelos calcáreos dedicados al cultivo de la caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), e informó que la fracción P-Ca fue de 175 mg/kg de suelo, mientras que las formas P-Al y P-Fe tuvieron un contenido muy bajo de 11 y 18 mg/kg respectivamente.

En suelos derivados de cenizas volcánicas en Barbados, Ahmed y Jones (1967) plantearon que la mayor fracción de  $P_t$  correspondió a la fracción P-Ca con 413 mg/kg, seguido por la de P-Al y P-Fe con contenidos de 185 y 128 mg/kg de suelo respectivamente.

En Puerto Rico, Fassbender, Beinroth y Sarmiento (1978) estudiaron 10 perfiles de un inceptisol, cuatro ultisoles y cinco oxisoles, donde el P-Ca no excedió del 4% del  $P_t$  en los horizontes A y en los horizontes B y C disminuyó hasta el 2% los de P-Fe predominaron en las formas cristalinas en los oxisoles con un contenido promedio de 82,1 mg/kg de suelo, mientras que en los otros dos suelos el contenido fue de 9,2 mg/kg de suelo. Con respecto al P-ocluido se observó que en sentido general, aumentó con la profundidad y que predominaron sobre todas las formas inorgánicas del P en dichos suelos; en los ultisoles alcanzaron el 47, 69 y 75% del  $P_t$  para los horizontes A, B y C respectivamente, y en los oxisoles se logró un 59 y 58% como promedio, y para los horizontes A, B y C 40, 69 y 87% respectivamente.

En lo que respecta a los suelos cubanos, Baisre (1972) planteó que los Ferralíticos rojos no contienen prácticamente formas cálcicas, pero el P-Al y P-Fe están fuertemente representados, ya sea en estado libre o en el llamado de oclusión. Sin embargo, Camacho, Martínez y Vantour (1983) notaron en un suelo Ferralítico Rojo poco profundo la tendencia de P a formar fosfatos de calcio, donde se destacaron los formados por diferentes fosfatos básicos de Ca y Mg ( $Ca-P_{II}$  y  $Ca-P_I$ ), principalmente de formación secundaria del tipo ditri-octacálcico, con un contenido de 303 y 188 mg/kg respectivamente. Plantearon además que los fosfatos de residuo del suelo (P-Ca) tienen un nivel alto (140 mg/kg) y manifestaron los aportes que proporciona la roca formadora durante su alteración; en cuanto a los fosfatos unidos a los sesquióxidos predomina el P-Fe con 134 mg/kg y el P-Al se encuentra en forma de trazas, debido a que el pH de este suelo se encuentra en la "zona inerte del aluminio" según Krupski y Alexandrova (1978), por lo que no es posible la formación de grandes cantidades de P-Al.

Baisre (1972) determinó que en un suelo calizo humificado predomina el P-Ca (22,6 mg/kg) en los primeros 20 cm de profundidad, con un contenido de 5 y 7,8 mg/kg de P-Fe y P-Al respectivamente; mientras que para un suelo amarillo tropical encontró 17 mg/kg de P-Ca en los primeros 3 cm de profundidad y 0 mg/kg en otras profundidades, y hubo un mayor contenido de P-Fe y P-Al.

### 1.2.3 Contenido de fósforo orgánico

Otras de las formas del fósforo en el suelo es la forma orgánica ( $P_o$ ), donde uno o más hidrógenos del ácido fosfórico dan origen a enlaces estéricos y el resto pueden ser reemplazados por cationes.

Fassbender, Müller y Balardi (1968) consideran cinco tipos fundamentales de fosfatos en la materia orgánica: fosfolípidos, ácidos nucleicos, fosfatos metabólicos, fosfoproteínas y fosfatos del ácido inositol hexafosfórico o inositol, los dos primeros están presentes en pequeñas cantidades (Dalal, 1976), o como plantea Tate (1984a) la diversidad química del P orgánico en el suelo se presenta principalmente como mono o diester, como por ejemplo:  $(RO) PO_3H_2$  y  $(RO) (R'O) (PO_2H)$ , donde el hexainositol alcanza hasta el 60% del P orgánico; ello corrobora que los fosfolípidos y ácidos nucleicos se presentan en pequeñas concentraciones, mientras que los azúcares fosfatos, fosfoproteínas, glicerofosfatos y fosfonatos en forma de trazas.

Según Anderson (1967) los fosfatos de inositol en el suelo existen en formas complejas, probablemente enlazados a un complejo que contiene carbohidratos y proteínas y también complejado con Fe y Al, y los fosfolípidos más comunes son glicerofosfátidos, fosfatidilcolina, fosfatidil etanolamina y fosfatidil serina.

Tate (1984b) planteó además que existe una gran proporción de fosfatos inorgánicos no identificados, pero que probablemente se encuentran en un complejo insoluble con las arcillas minerales y la materia orgánica y que mucho del P orgánico en los extractos de suelo tienen un alto peso molecular.

También Martín (1964) informa en Nueva Zelandia la presencia de  $P_o$  asociado a los ácidos húmicos de la materia orgánica.

La cantidad de  $P_o$  en el suelo constituye la mitad o tercera parte del  $P_t$  en la gran mayoría de los suelos agrícolas según Black y Göring (1953); estas proporciones varían de un suelo a otro, datos que concuerdan con los informados por Webster y Wilson (1980), quienes además plantearon que en los suelos tropicales se puede encontrar una mayor proporción.

Bates y Baker (1960) y Enwezor y More (1966) coincidieron en plantear que en muchos suelos de Nigeria más del 40% de las capas superficiales estaban en forma orgánica. Resultados similares lograron Uzo, Juo y Fayemi (1975) también en Nigeria, al estudiar el status fosfórico de 21 suelos, donde el contenido de  $P_t$  en las capas superficiales varió 120 a 1 880 mg/kg y el  $P_o$  fue, en la mayoría de los suelos, aproximadamente la mitad del  $P_t$ , y estuvo correlacionado significativamente con el pH del suelo, el contenido de carbono orgánico y el  $P_t$ .

En los suelos de la Amazonia de Brasil, Viera y Bornemissza (1968) estudiaron los fosfatos en doce perfiles de suelos, donde estaban representados los siete grandes grupos de suelos más importantes de dicha región, e informaron que la fracción del  $P_o$  representaba entre el 20 y el 50% del  $P_t$ . No obstante, en trabajos anteriores Bornemissza (1966), refiriéndose al trópico en general, planteó que la fracción de  $P_o$  varía desde 2,6 a 86% del  $P_t$ , en dependencia de la temperatura, la precipitación pluvial y la acidez; Fassbender (1975) informó además que la participación del  $P_o$  en el  $P_t$  varía generalmente entre 25 y 75%, y en casos extremos puede alcanzar del 3 al 85%.

En un suelo Ferralítico Rojo de Cuba, Vantour y Carriera (1984) informaron que el  $P_o$  presenta gran variabilidad, desde 50 hasta 300 mg/kg; mientras que porcentualmente su participación en el  $P_t$  fue baja (2 a 14,5%) y con una elevada correlación significativa y logarítmica con la materia orgánica, lo que demuestra la dependencia entre estos dos aspectos. Baisre (1972) informó valores de  $P_o$  entre 60 y 6,15 mg/kg para un suelo amarillo tropical y demostró una gran reducción del mismo con la profundidad; mientras que en un suelo calizo humificado el contenido de  $P_o$  fue mayor y fluctuó entre 259,4 y 205,90 mg/kg. Villegas (1981) demostró en suelos pardos y oscuros plásticos que la contribución porcentual del  $P_o$  al  $P_t$  varió entre 5 y 40,9%.

### 1.2.4 Sorción y fijación de los fosfatos en el suelo

Las reacciones entre los fosfatos y los constituyentes del suelo son de gran importancia, debido a que la disponibilidad para las plantas está determinada por esta causa. La sorción de los iones fosfatos es un término complejo que incluye dos tipos de mecanismos; adsorción de dichos aniones en la superficie de las partículas arcillosas por intercambio de ligandos y la absorción que es la incorporación de la misma en la estructura de arcilla. Martin y Laudelout (1959) definieron la fijación de los fosfatos, que es otro término usado en la química del suelo, como una precipitación química de estos, mas William (1966) la consideró como un decrecimiento de la solubilidad cuando los fosfatos son agregados al suelo, lo que implica que la misma sea baja, o sea, que este proceso significa la conversión del P añadido en formas químicas complejas lo que ello determina una disminución en la concentración de P disponible en la solución del suelo. Por otra parte, Awan y Richer (1964) definieron la fijación del P como la remoción del fósforo de la solución del suelo y su conversión en formas menos solubles, proporcional al contenido de Fe, Al, Ca en el suelo. Este último elemento es importante en los suelos calcáreos según Hemwall (1957). Larsen y Widdowson (1970) y Raján (1976) plantaron que los hidróxidos de Fe y Al son los máximos responsables en los suelos ácidos y neutros.

La rápida transferencia que ocurre cuando los fosfatos solubles son agregados al suelo de la solución a la fase sólida, tiene gran importancia, puede que la adsorción impone el límite sobre la solubilidad del mismo y, por consiguiente, sobre la disponibilidad para las plantas.

Fox y Benavides (1974) expresaron que, generalmente, a este proceso se le denomina sorción, puesto que implica algo más que un fenómeno de adsorción física, y explicaron además que esto ocurre cuando el P entra en coordinación con los iones metálicos expuestos en la superficie, lo que implica el desplazamiento de un ligando ( $\text{CH}^-$ ) por el fosfato.

Todas estas reacciones traen por consecuencia que la concentración de fosfato en la solución del suelo decrezca (Barrow y Shaw, 1975) por un período largo (Black, 1942 y Vanderdeelen y Baert, 1971); esto es de gran importancia debido a que la concentración de fosfatos en la solución del suelo es el principal factor que controla el flujo de P a las raíces, según Fox, Nishimoto, Thompson y de la Peña (1974).

Roche *et al.* (1980) coincidieron al plantear que el P se fija a los elementos más finos del suelo, y agregaron que los diversos coloides minerales tienen una capacidad de adsorción muy diferente; así, el hidróxido de hierro tiene una reactividad 30 veces mayor que la caolinita cálcica y el hidróxido de aluminio 160 veces mayor.

Con respecto a los materiales arcillosos, de Samarendá (1960) demostró la gran influencia que tienen los mismos en todos los fenómenos de adsorción, pues notó bajo condiciones de laboratorio que la montmorillonita adsorbió más P que la caolinita, gracias a un intercambio entre  $\text{CH}^-$  y los iones fosfatos, proceso que se afectó grandemente por el pH.

López-Hernández, Coronel y Álvarez (1981) demostraron que la adsorción de fosfatos por el suelo es una quimiosorción de naturaleza exotérmica, o sea, que se incrementa con la temperatura, y que difiere con la naturaleza del suelo, y expusieron además que la extensión máxima de los fosfatos está estrechamente relacionada con el complejo adsorbente del suelo, en particular para suelos ácidos con las formas activas del Fe, Al y Mn; mientras que para los suelos calcáreos la retención se atribuye a la presencia de Ca, según Larsen (1967), por lo que el pH desempeña un papel fundamental en las reacciones de sorción y por ende en la eficiencia de utilización de este nutrimento para las plantas, así como la naturaleza del complejo adsorbente y contenido de arcilla.

Geisler (1961) estudió nuevos suelos genéticamente diferentes y encontró que la capacidad de fijación estuvo asociada al contenido de Fe fácilmente soluble, más que al contenido de Ca; Franklin y Reisenauer (1960) estudiaron un grupo de suelos con grandes diferencias de textura y composición química e informaron una alta y significativa correlación entre la sorción de P y el contenido de Al intercambiable y soluble en ácido cítrico que fue 160 veces más activo que el Fe soluble en este mismo ácido; además, se hallaron relaciones entre la sorción de P y el contenido de arcillas.

También López-Hernández *et al.* (1981) estudiaron la capacidad máxima de retención de fosfatos en seis suelos de Venezuela, cuyos valores oscilaron entre 970 mg/kg, y observaron una estrecha relación con los valores de Al y Fe intercambiables; de la misma manera notaron que los suelos más arcillosos presentaron valores más altos de retención de fosfatos que los suelos constituidos por partículas más gruesas.

Fox *et al.* estudiando cuatro tipos de suelos en Hawai, encontraron que el valor más bajo de la adsorción máxima (500 mg/kg) correspondió a un suelo con pH de 6,3 donde predominaban las arcillas 2:1 y un alto contenido de Si, y el máximo valor (7 000 mg/kg) correspondió a un suelo con pH de 4,7 y los minerales secundarios que predominaban eran geles amorfos; también Morrillo y Fassbender (1968), en la cuenca baja del río Chaluteca de Honduras, obtuvieron que la capacidad de fijación varió de 37,6% para un suelo de textura gruesa bien drenado, hasta el 61,1% para un suelo bien desarrollado sobre toba volcánica dura de grano grueso y colores claros. En los suelos Missouri, la cantidad de P retenido según Boken (1970), fue mayor donde los perfiles de suelos eran más maduros, la textura fina y el por ciento de C orgánico menor de 2.

Brown y Leowenstein (1978) hallaron una correlación significativa entre la cantidad de P sorbido y el Al ( $r=0,64^{**}$ ), pero no con el contenido de Fe. También obtuvieron otras correlaciones significativas con el por ciento de saturación de bases ( $r=-0,73^{**}$ ), por ciento de arcillas ( $r=0,42^{**}$ ) y la acidez intercambiable ( $r=0,39^{**}$ ), cuando estudiaban un grupo de suelos del norte de Idaho, por lo que en suelos derivados de cenizas volcánicas el Al tiene una mayor importancia para la sorción de P que el Fe. Plantearon además que la correlación negativa con el por ciento de saturación de bases, pudiera ser atribuida a que el Al monopoliza los sitios de intercambio y mantiene la bases de iones fuera.

En 107 suelos de América Central, principalmente del tipo andosol y fluvisol, Fassbender (1969) informó que la fijación de P fue correlacionada con el por ciento de C ( $r=0,36$ ), Al ( $r=0,28$ ), por ciento de arcillas ( $r=0,66$ )  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  libre ( $r=0,43$ ) y pH ( $r=0,38$ ), observando que la mayor correlación fue obtenida con los sesquióxidos de Fe. Además, para 50 suelos donde analizó los parámetros antes mencionados, obtuvo un coeficiente de correlación múltiple de 0,82; lo que nos indica la influencia que tienen los mismos en la fijación del P.

Nunozawa y Tanaka (1984) estudiaron en siete suelos de Japón el coeficiente de sorción de fosfatos (mg/kg de suelo) y encontraron que el menor valor correspondió a 960 con un pH de 4,82 y un CEC de 6,7 me/100 g;

mientras que cuando obtuvieron una sorción de 9 120,7; la CEC del suelo fue de 20,5 y el pH severamente ácido.

Según Macías (1977), en la mayoría de los suelos, la mayor utilización se logra en los límites de pH de 5,0 a 7,0; debido a que a pH bajos el P reacciona con el Fe y Al y por encima de 7 con los iones  $\text{Ca}^{++}$  y  $\text{Mg}^{++}$ .

También la presencia de carbonatos de estos últimos elementos hace precipitar el P agregado como fertilizante y por ende la aprovechabilidad del mismo disminuye.

En un estudio de 110 suelos de América Central, Fassbender (1969) informó que entre el 25 y 30% de los suelos estudiados presentaban un 40% de retención de los fosfatos aplicados al suelo, y entre el 5 y 10% un 60%. También Fassbender (1969) estudió la retención de los fosfatos en siete suelos de la Amazonia de Brasil y notó que esta variaba entre 30 y 50%, debido a las características físico-químicas del suelo.

Se ha observado que los pH ácidos incrementaban la sorción y fijación de los fosfatos y, sin embargo, existe considerable controversia acerca de que si el encalado decrece la fijación de este nutrimento (Sánchez y Uehara, 1980). También Probert (1980) afirmó que la sorción puede ser incrementada, disminuida o no afectada por el encalado en suelos ácidos; a iguales consideraciones llegó Hayness (1982), pero según Barrow (1984) para esta problemática debe considerarse las diferencias entre suelos, demostrando que el potencial electrostático en el plano de adsorción decrece con el incremento del pH y solamente pequeñas diferencias en la velocidad del cambio de dicho potencial fueron requeridas para obtener las diferencias entre suelos. También este potencial pudiera decrecer más rápidamente con sales de soluciones sódicas que cálcicas, lo que también pudiera explicar las diferencias entre suelos.

La materia orgánica del suelo es otro factor que influye en la capacidad de sorción y fijación de los fosfatos. Tisdale y Nelson (1965) confirmaron que suministrando materia orgánica al suelo, había una liberación del P nativo del suelo y decrecía la fijación del P añadido. Posteriormente, Harter (1969) demostró que la materia orgánica incrementó significativamente la sorción de los fosfatos, y argumentó estos resultados con el intercambio de los iones fosfatos por los iones hidrófilos, en una reacción de intercambio de aniones en los sitios activos de la materia orgánica. Brown y Lowenstein (1978) obtuvieron muy baja correlación entre la sorción de los fosfatos y la materia orgánica, y plantearon que se debió a la gran capacidad de intercambio de la materia orgánica y a la reactividad de los iones Al, considerando que los sitios de intercambio de la misma pudieran estar ocupados por el Al y no por los iones fosfatos.

Se puede apreciar que bien de una u otra forma el contenido de materia orgánica influye sobre la sorción de los fosfatos de los suelos, pero debe estar en dependencia de todas las características físico-químicas del suelo y que una evaluación integral de las mismas pudiera explicar un comportamiento determinado.

Fassbender (1975) planteó que el estudio de la sorción o retención de los fosfatos tiene gran importancia y demostró que la respuesta de los fertilizantes disminuyó al aumentar la capacidad de fijación del P y está directamente relacionada a la retención superficial del P en forma soluble en  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ; Smyth y Chevalier (1984) afirmaron que la habilidad de las plantas a utilizar eficientemente el P es importante para los suelos deficientes de este elemento o suelos con una baja capacidad de fijación.

En Cuba se han efectuado pocos trabajos en cuanto a este aspecto, aunque Nuviola, Labrada, Gómez y Palacio (1984) analizaron 10 suelos pertenecientes a tipos pedogenéticos diferentes y encontraron que un grupo presentaba una sorción máxima entre 1 000 a 1 200 mg/kg de suelo, entre los que estaban predominantemente los Ferralíticos Rojos, y otro grupo con una sorción entre 300 a 600 mg/kg de suelo, donde se encontraban los suelos Ferralíticos Cuarcíticos, Pardos Grisáceos y Oscuros Plásticos.

Consideramos que estos estudios sobre cinética de sorción deben continuarse y relacionarlos con la nutrición fosfórica de los cultivos, a fin de predecir la utilización de dicho nutrimento.

### **1.2.5 Transformaciones químicas de los fertilizantes fosfóricos en el suelo**

Como consecuencia de lo anteriormente descrito, entre el fertilizante fosfórico y el suelo ocurren una serie de reacciones en un proceso dinámico, que dependen del tipo de fertilizante, del suelo y los demás factores implicados en los fenómenos de sorción.

Estas transformaciones químicas generalmente se conocen con el nombre de precipitación de los fosfatos y dependen de las propiedades electroquímicas de los óxidos de Fe y Al, debido a que los mismos poseen un potencial de superficie constante y sus cargas varían en dependencia del pH de la solución del suelo.

Raján (1976) planteó que los óxidos transportan cargas netas positivas, con sitios en su superficie positiva y neutra. Utilizando el  $\text{H}_2\text{PO}_4$  demostró que este es adsorbido sobre los sitios positivos, desplazando el agua que estaba coordinada con el óxido de la superficie; mientras que en los sitios neutros esta reacción ocurre por el desplazamiento de los grupos hidrófilos sin cambio en la carga de la superficie.

Estas reacciones dan lugar a compuestos muy estables, pero que a la vez son de difícil solubilidad por las plantas.

Según Fassbender (1975), en suelos lateríticos de Hawai al tercer día de aplicado el fertilizante fosfórico en altas dosis, el 96% se fijó principalmente al Fe y Al; Gamboa y Blasco (1976) obtuvieron que el 70% del P aplicado al suelo pasó a formas insolubles de Fe, Al y Ca en suelos ácidos de textura arenosa y Yuan (1960) informó que el 80% del P añadido a los suelos fue retenido al Al y Fe y menos del 10% fue al Ca y fosfatos en forma soluble en agua, y demostraron que la relación P-Al/P-Fe se incrementó con el aumento en los niveles de P aplicados al suelo.

Se debe señalar además que parte del fósforo inorgánico aplicado al suelo pasa a formas orgánicas. Así Rixon (1966) planteó que del 82 al 100% del fertilizante añadido al suelo en dosis de 172 kg/ha fue transformado en P<sub>o</sub> en un pastoreo bajo irrigación. También Hill y Blair (1974), utilizando <sup>32</sup>P, observaron que el 40% del P aplicado como superfosfato al suelo pasó a formas orgánicas en 28 días después de suministrado al suelo.

En Cuba son muy escasos los datos sobre las transformaciones químicas del P cuando se aplica al suelo.

Por todo lo anteriormente expuesto, es necesario conocer las reacciones entre los iones fosfatos y los constituyentes del suelo, debido a que la disponibilidad de dicho nutrimento para las plantas está determinada por estas, y para incrementar la eficiencia de utilización del P es importante conocer los mecanismos que operan entre el suelo y el fertilizante, para de esta forma poder actuar agronómicamente.

### **1.2.6 Absorción de fosfatos por los pastos y forrajes**

Está bien definido por Pierre y Parker (1927) que las plantas son capaces de absorber todo el P de la solución del suelo en forma de ortofosfato inorgánico, y en dependencia del pH de suelo en formas de ión monofosfato (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) y de ión difosfato (HPO<sub>4</sub>) según Macías (1977); sin embargo las formas complejas que forma este elemento en el suelo con el Al, Fe, Ca, etc., también tienen importancia en la nutrición fosfórica. Laverty y McLean (1961) demostraron que la fracción de P-Al es considerablemente más disponible a las plantas que la fracción de P-Fe, aunque esto debe depender de las características del cultivo para absorberla.

Al-Abbar y Barber (1964) plantearon que además de los fosfatos solubles en NH<sub>4</sub>Cl, intervienen en la nutrición los P-Fe, mientras Payne y Hanna (1965) en Nueva Jersey enfatizaron la importancia del P-Al, que tiene una mayor participación en la nutrición fosfórica.

Las mejores correlaciones con la absorción de P, las hallaron Fassbender, Müller y Balerdi (1968) con la fracción de los fosfatos solubles en NH<sub>4</sub>Cl, quienes notaron además que en los suelos ácidos no ofrecieron ninguna correlación entre los fosfatos de Ca, Fe y Al y la absorción de este nutrimento, argumentando dicha respuesta con la carencia de dicho elemento en estos suelos. También obtuvieron en los suelos de la cuenca baja del río Choluteca en Honduras (Morrillo y Fassbender, 1968) que los fosfatos solubles en NH<sub>4</sub>Cl, seguidos por los de P-Al y P-Ca, fueron los principales responsables del rendimiento de MS y contenido de P en la parte aérea.

Juo y Ellis (1968) plantearon que en las condiciones de Nigeria, al disminuir las fracciones P-Al y P-Fe, predominaba en la mayoría de los suelos estudiados el fósforo ocluido, por lo que los mismos tienen entonces una capacidad muy reducida de suministrar P a las plantas.

Mediante un estudio en 24 suelos, fue determinada por Pinto (1974) la absorción de P por las plantas de Sorghum correlacionando estas con las fracciones P en el suelo, y concluyó que la fracción más importante que suministra P al cultivo fue la soluble en NH<sub>4</sub>Cl y que la fracción P-Fe puede proveer alguna parte a los requerimientos del cultivo.

En general Uzo, Juo y Fayemi (1975) afirmaron que el contenido y distribución de las formas inorgánicas activas del P (P-Al, P-Fe y P-Ca) en los suelos es un índice de utilidad para el mejoramiento de los requerimientos fosfóricos de los suelos y cultivo. Concluyeron estos investigadores que la fracción P-Al es relativamente la más disponible para las plantas en los suelos altos, mientras que la fracción P-Fe es una fuente de P disponible bajo las condiciones de inundación.

También se ha planteado por algunos investigadores que el P puede ser absorbido en forma orgánica; así, Friend y Birch (1960), en el este de África, obtuvieron correlaciones significativas entre la toma de P por el trigo y el contenido de P<sub>o</sub> del suelo. Somani y Sepena (1971) también obtuvieron correlaciones significativas entre los niveles de P orgánico y la absorción de este nutrimento en el cultivo del Sorghum.

Con respecto al P ocluido, Chu y Chang (1960) informaron que en los suelos de China hubo 100 mg/kg, y a pesar de que es insoluble en ácido y álcalis, es importante para la nutrición de los cultivos en suelos anegados.

Podemos concluir que las plantas tienen un mecanismo adecuado para absorber las diferentes formas de P presente en el suelo para poder satisfacer sus requerimientos nutricionales, por lo que el conocimiento de todos estos aspectos nos ayudarían a incrementar la eficiencia de utilización del fósforo.

### 1.3 Factores que afectan la utilización del fósforo en los pastos y forrajes

La eficiencia de utilización del fósforo (EUP), medida como el incremento del rendimiento de MS del pasto por unidad de fertilizante fosfórico aplicado, está influenciada por un gran número de factores, tales como las características genéticas de la especie y/o variedad, las características química y físico-químicas del suelo, la dosis de aplicación del fósforo, las diferentes formas de aplicación, así como la elección de la fuente fosfórica a emplear.

Gran importancia reviste en la EUP, el momento adecuado de aplicar el fertilizante, las características climatológicas en que se efectúa la cosecha, y en los últimos tiempos ha ganado una importancia la fijación del P por medio de los microorganismos específicos del suelo, entre otros factores.

Es difícil de individualizar todos los factores enumerados anteriormente, ya que en un ecosistema están en interacción en su conjunto, aunque en algunos casos hemos tratado de separar cada factor para su estudio.

#### 1.3.1 Especie de pasto

Esptein (1972) informó que la adaptación de las plantas a niveles variables de nutrientes y por ende, a una mejor utilización de fósforo, está regulada genéticamente por toda una serie de procesos, entre ellos: la absorción inicial de un elemento por las raíces y su translocación por el xilema, el grado de retención en los tejidos adyacentes de los elementos conductores, su movilidad en el floema y la eficiencia de su utilización metabólica.

Godwin y Wilson (1976) resumieron además que la variación nutricional puede estar bajo dos tipos de control genético: control de un solo gen y control poligénico, el cual aparece más estrechamente ligado a la acumulación de macronutrientes.

Weigl (1963) y Gamzikova, Gansikov y Samraj (1974) enfatizaron que los mecanismos moleculares de la heterogeneidad genética del flujo de nutrientes son causados por las diferencias que ocurren en la estructura poligénica, la cual es responsable de la síntesis proteína-enzima y principalmente para el transporte de la ATP-asa. También Michalik (1968; 1982) planteó que el flujo de nutrientes y específicamente fosfatos es una función de metabolismo de las sustancias, debido a que la cinética de tal flujo corresponde a la de las reacciones enzimáticas, el cual muestra un carácter multifásico; por eso este se efectúa en contra de un gradiente electroquímico, a expensas de un consumo de energía metabólica termodinámicamente, y como la síntesis de proteína-enzima es genéticamente determinada, entonces la recepción debe ser también bajo un control genético.

En un estudio realizado por Michalik (1984) en varios genotipos de maíz, observó una gran variabilidad en el flujo de P, así como la acumulación de este nutrimento, y encontró además una correlación altamente significativa entre estos parámetros y la actividad de la fosfatasa, por lo que se sugiere además de que esta enzima es la responsable en el transporte de P desde las raíces hasta la parte aérea.

Grandes diferencias varietales fueron detectadas también por Boken (1970) cuando analizó el coeficiente de utilización de P sobre la base de producción de MS/unidad de P absorbido; también Jones (1974) obtuvo diferencias varietales en 30 líneas del género *Stylosanthes*, por lo que queda demostrado que la especie juega un papel en la EUP.

Godwin y Wilson (1976) concluyeron que los principales mecanismos de esta variación son la morfología del sistema radical y la capacidad de intercambio catiónico de la raíz (CICR). También Klimashevsky (1984) le concedió al sistema radicular de las plantas una gran importancia en la utilización de la nutrición y ala productividad de las plantas, ya que la eficiencia de la utilización nutricional está caracterizada por un alto grado de variabilidad y depende grandemente no solo de un número de factores controlados y no controlados del ambiente, sino además a la habilidad genéticamente condicionada de la planta en cuestión en responder al nivel requerido de nutrición mineral a resistir situaciones de estrés del sistema radicular, el cual tiene una marcada influencia en la EU.

En un estudio efectuado rye grass (*Lolium perenne*), Throughton (1960) observó que la absorción de  $^{32}\text{P}$  por las raíces laterales fue mucho mayor que la toma por las raíces no ramificadas. También Russel y Sanderson (1967) encontraron que la absorción del  $\text{P}_i$  por las raíces de avena fue mayor por las ramificaciones laterales, debido a que las mismas hacen una mayor exploración del suelo.

También Kalek, Holobradá y Mistrík (1984) le concedieron gran importancia a la morfología del sistema radicular para la absorción de P. Así, en un experimento con 3 genotipos de maíz, encontraron marcadas diferencias para este parámetro, e informaron que la mayor proporción de P tomado le correspondió a las raíces primarias seminales.

Loneragan y Asher (1967) plantearon que para cada especie, la cantidad de fosfatos absorbido puede ser considerado como una función del tamaño radicular. Por otra parte, Schenk y Barber (1979) consideraron que la utilización de P aplicado a los suelos puede ser aumentada por una mayor cantidad de raíces que presente la



especie, o mejorando las características de absorción de fósforo del sistema radicular. Dichos investigadores, trabajando con cinco genotipos de maíz, dos niveles de aplicación de P al suelo y tres edades de corte, obtuvieron que la mayor dosis del fertilizante fosfórico aumentó significativamente la producción de tallos en todos los genotipos, teniendo poco efecto sobre la cantidad de raíces, y la relación área superficial por unidad de peso y tallo, varió entre genotipos a bajos niveles de P. Obtuvieron además una correlación alta y significativa ( $r=0,98$ ) entre este último parámetro y la toma de este elemento a altos niveles de P aplicado al suelo.

Con respecto a la CICR de la raíz, Godwin y Wilson (1976) sugirieron que puede ser atribuido al residuo de los ácidos urónicos sobre las microfibrillas de la pared celular del espacio libre de la raíz, donde la primera fase de la absorción de iones involucra movimientos dentro del espacio libre del agua y el espacio libre de Donnan de la raíz y los iones fosfatos son absorbidos posiblemente por las proteínas asociadas de la pared celular. Loneragan (1973) y Franklin (1970), cuando estudiaban la toma de P por las raíces de 10 especies de plantas demostraron la hipótesis de que la pared celular puede actuar como una membrana cargada negativamente que regula la absorción de P.

Asimismo, Buttler, Barclay y Glenday (1962) informaron correlaciones significativas y positivas entre la acumulación de cationes y la CICR y análogamente correlaciones negativas para los aniones, por lo que la selección de los pastos con bajos CICR puede reducir la toma de fósforo inorgánico y aumentar la eficiencia de utilización del mismo; resultados similares han sido obtenidos por Ramos (1977) en un grupo de pastos tropicales, donde demostró además que la CICR de las leguminosas fue mayor que de las gramíneas, con marcadas diferencias entre ambos grupos.

Además, Christie y Morby (1975), trabajando con *Cenchrus ciliaris*, *Astrelba elymoides* y *Thyridolepis mitcheliana*, encontraron variación en la toma de P entre las especies, asociando estas diferencias al sistema de absorción y transportación de fosfatos de cada una de ellas.

En experimentos realizados por McLachlan (1976) con *Fagopyrum esculentum*, *Secale cereale*, *Trifolium incarnatum* y *T. subterraneum* en suelos con disponibilidades de P, se concluyó que la primera especie absorbió este elemento en mayor cuantía y lo utilizó más eficientemente para el rendimiento de MS que las otras especies estudiadas, debido a la acidificación que hacía al medio radicular producto del intercambio de cationes, además de un mayor peso y volumen radicular y a la producción de pelos radiculares.

Estas evidencias experimentales nos demuestran que es necesario reconocer los requerimientos o niveles críticos internos de P de cada especie y/o variedad, definidos por Macy (1936) como la concentración de un elemento por encima del cual no hay un aumento significativo de rendimiento de MS. Esto tiene gran importancia, ya que basándose en la respuesta diferencial de cada especie y variedad, surgió la filosofía de los insumos mínimos (Sánchez y Salinas, 1981), por lo que Salinas (1984) define como nivel crítico el contenido de P que es capaz de proporcionar entre el 80-85% de MS de la producción máxima, lo que significa una reducción en los niveles de fertilizantes fosfóricos en función del requerimiento nutricional de la especie o variedad y de la eficiencia de este elemento.

En sentido general, el contenido de P en los pastos tropicales varía de 0,10 a 0,55%, según Crespo, Paretas y López (1979), dependiendo del tipo de pasto, suelo, época del año, manejo aerotécnico y parte de la planta. En Cuba se han estudiado los niveles críticos internos de P en varias especies y cultivares de pastos promisorios para nuestra ganadería, los cuales se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Niveles críticos de P en gramíneas tropicales.

Cultivar	Nivel crítico (%)	Referencias
<i>Cenchrus ciliaris</i>		Mesa y Mendoza (1985)
cv. Molopo	0.260	
cv. Numbank	0.240	
cv. Verde de Guantánamo	0.230	
cv. Biloela	0.190	
<i>Cynodon dactylon</i>		González y Torriente (1981)
cv. Coastcross-1	0.310	
cv. Coastcross-2	0.192	Mesa, Hernández y de la Cruz (1983)
cv. Callie	0.205	
cv. 67	0.225	
cv. 68	0.238	
<i>Digitaria decumbens</i>		Mesa (1985)
cv. Común	0.153	
cv. PA-32	0.160	
cv. Transvala	0.170	
<i>Digitaria smutsii</i>		
cv. Peluda	0.187	
<i>Chloris gayana</i>		Mesa y Mendoza (1986)
cv. Callide	0.200	
cv. Kreschmer	0.237	

Se puede apreciar la variabilidad existente entre cada especie, así como dentro de cada una. Es muy notorio que la *Digitaria decumbens* cv. Común es la menos exigente al P, y la más exigente el *Cenchrus ciliaris* cv. Molopo, lo cual concuerda aproximadamente por lo informado por Andrew y Robins (1971); dichas diferencias pueden deberse a la profundidad del sistema radicular de esta última especie, según lo demostrado por Yepes (1972).

Es necesario destacar que los requerimientos de P para un cultivo pueden variar en función de los distintos estados de crecimiento de la planta y al tamaño de distribución del sistema radicular (López-Hernández, Coronel y Álvarez, 1981). De acuerdo con Dinchev (1972), las plantas jóvenes absorben más rápidamente el P que las viejas, demostrándose que cuando las mismas han acumulado cerca del 25% de la máxima cantidad de MS a su vez, estas han asimilado alrededor del 75% del fósforo, por lo que la concentración de los elementos nutritivos es mayor en los primeros estadios fisiológicos de la planta y decrece a medida que avanza su estado de madurez (Coic, 1965; Mesa y Martínez, 1975; Mengel, 1976; Kadar y Lásztity, 1979).

Así, Kalva y Saper (1968) estudiaron la eficiencia de la utilización del P en un grupo de gramíneas, leguminosas y otras especies vegetales en siete estados de crecimiento, e informaron que la EUP decrecía a medida que aumentaban los estadios de desarrollo.

Moody y Edwards (1978) determinaron los niveles críticos en *Stylosanthes humilis* a los 35, 50, 70 y 90 días después de la germinación, los que fueron: 0,20; 0,17; 0,15 y 0,13% respectivamente.

También Ozanne, Keay y Biddiscombe (1969), bajo condiciones de Australia concluyeron que los niveles críticos de P de *Trifolium cherleri*, *T. hirtum*, *T. subterraneum*, *Lolium rigidum* y *Festuca myros* a los 29 y 92 días después de sembradas fueron 140 y 302 ppm para *T. cherleri*; 128 y 124 ppm para *T. hirtum*; 137 y 87 para *T. subterraneum*; 80 y 26 ppm para *L. rigidum* y 87 y 21 ppm para *F. myros*, lo que evidencia una marcada variabilidad entre las especies, así como entre ambas edades. También Smith (1975) informó que el contenido de P en green panic (*Panicum maximum*) declinaba de 0,15-0,15% y en *Setaria sphacelata* de 0,46 a 0,14 en función de la edad del pasto

Estos datos y la filosofía de los insumos apinimos para lograr una alta eficiencia de utilización del P, Fenster y León (1978) consideran que para seleccionar a una especie forrajera con tolerancia a la deficiencia de P, lo más conveniente sería encontrar una con requerimientos bajos de P, tanto para el establecimiento como para el mantenimiento de la misma, o de lo contrario, una alternativa posible sería elegir una especie de pasto que requiera cantidades ligeramente mayores para el establecimiento, pero solo cantidades mínimas para el mantenimiento.

### 1.3.2 Tipo de suelo

El suelo, por todas las cuestiones analizadas en el epígrafe Formas y contenidos del P y su relación con la nutrición de los pastos, puede ser considerado como un factor de gran importancia en la eficiencia de la utilización del fósforo aplicado como fertilizante, por la influencia tan marcada que ejercen sus propiedades químicas y físico-químicas. Así Fox, De Data y Sherman (1962) plantean la importancia que tiene el estudio en los suelos tropicales y la disponibilidad del P para las plantas, y por ende una mayor utilización del mismo, dada las múltiples reacciones que ocurren con los sesquióxidos de Fe, Al y Ca.

En un estudio efectuado en 53 suelos calcáreos de la India, Arrambari (1963) indicó la utilidad de aplicar fertilizaciones repetidas de  $P_0$  en altas dosis en los mismos, debido a que el contenido de  $P_t$  se incrementó mucho más rápidamente que la cantidad de este que fue isotópicamente intercambiable.

Fox, De Data y Wang (1964), en un suelo Latosólico extremadamente deficiente en P, encontraron que las plantas tuvieron síntomas de deficiencia de P en condiciones severas, debido a que el alto contenido de Al inhibió el crecimiento radicular y la absorción de P.

En la India, en cuatro suelos ácidos, Kar (1974) informó que la eficiencia de utilización del P fue muy baja, y esta se aumentó cuando le fue aplicado a los suelos  $Ca(NO_3)_2$ , KOH y  $Ca(OH)_2$ , debido a que se incrementó el contenido de P disponible, así como la absorción del mismo; en Pakistán, en suelos arenosos y loam arcillosos, Chaudhry (1976) obtuvo buena eficiencia de utilización del fertilizante fosfórico en trigo, cuando aplicaba bajos niveles del mismo, lo que se debió fundamentalmente a la baja sorción que presentan estos suelos.

En la península de Cape Cork, con suelos amarillos, Winter y Jones (1977) informaron la necesidad de una fertilización basal de fósforo para una máxima respuesta de *Stylosanthes guianensis*, pero que además era necesario aplicaciones de Cu, Zn y K debido a la baja fertilidad que presenta el mismo.

Otros factores a considerar dentro del suelo, para una máxima EUP, es el grado de humedad que presenta el mismo, así como la temperatura. Corgan (1960) informa una interacción altamente significativa entre el estrés de humedad y la toma de P en los cultivos, reduciendo esta última considerablemente, debido a una reducción en la transpiración de las plantas. También el cultivo del maíz, Watanabe, Olsen y Danielson (1960) obtuvieron que la toma de fósforo estuvo controlada por los factores físicos relacionados con el grosor de la capa fina de humedad del suelo, los fenómenos de difusión y los cambios fisiológicos del cultivo causados en el sistema

radicular por el incremento en las tensiones de humedad y concluyeron que el suelo y su humedad son factores limitantes en la velocidad de la toma de fósforo por las plantas.

Fergusson (1964) informó que la absorción de P en el trigo durante la estación de crecimiento estuvo estrechamente relacionada con la cantidad de lluvia y decreció con los períodos secos o con irrigaciones no frecuentes, a causa de la estratificación vertical del fósforo en el suelo; en general, la respuesta de este cultivo a la fertilización fosfórica fue positivamente correlacionada con la abundante lluvia en el mes de mayo, donde el fertilizante fue utilizado más eficientemente, y hubo correlaciones negativas en el período lluvioso o con una precipitación normal, debido probablemente a la cantidad de raíces en el subsuelo deficiente de P, por lo que incrementa el estrés en las cosechas.

Con respecto a las temperaturas, factor no controlable por el hombre, Case, Brady y Lathwell (1964) plantearon que bajo condiciones de laboratorio, la mayor respuesta al fósforo ocurrió cuando la temperatura donde se desarrolló el sistema radicular fue de 15°C, comparado por 20 y 25°C, aunque en sentido general plantean estos mismos autores que la producción de forraje y el incremento de la toma de P no se vio afectada por la temperatura, no obstante Barber (1960) había planteado que aumentando la temperatura se incrementaba la disponibilidad de P nativo del suelo, aunque en experimentos de campo no se encontró relaciones entre la media de la temperatura y la disponibilidad de P mismo. Estas respuestas aparentemente opuestas pueden deberse a las condiciones del suelo y a las exigencias y mecanismos de absorción que tenga cada especie.

Muchas de las áreas de nuestra ganadería están ubicadas generalmente en suelos de baja fertilidad, donde es común la deficiencia de P o donde se encuentra este elemento en combinaciones químicas de difícil disponibilidad para los pastos.

Así, Hernández y Cárdenas (1973 y 1974) evaluaron el efecto del P en *Panicum maximum* y *Cenchrus ciliaris*, en un suelo Ferralítico Rojo hidratado y no encontraron respuesta a este elemento, por lo que su eficiencia de utilización en dichas condiciones fue casi nula; posteriormente, en este mismo tipo de suelo con un contenido de 2,26 mg/100 g por el método de Oniani, Hernández y Cárdenas (1983) estudiaron la respuesta de la hierba guinea a la fertilización fosfórica con diferentes métodos de aplicación, y tampoco tuvieron respuesta a la misma.

Crespo (referido por Crespo, Aspiolea y López, 1979) planteó que en los suelos Ferralíticos Rojos no debe esperarse respuesta cuando el contenido de P sea inferior a 1,52 mg/kg según el método de Bray-Kurtz.

En un suelo loam arenoso típico de Las Tunas, con un contenido de 2,5 mg de P/kg, la bermuda de costa (*Cynodon dactylon*) incrementó su rendimiento de 13,3 t de MS/ha cuando se fertilizó con 62,8 kg de P/ha, según los resultados de Crespo, Paretas y Pupo (1976). Ávila, Aspiolea y Portieles (1978) obtuvieron muy buena eficiencia de utilización de este elemento en un suelo Pardo tropical no carbonatado de características loam arenoso sobre granodiorita con un contenido de 51,72 mg/kg, y concluyeron que en suelos pardos ha de esperarse respuesta cuando los contenidos son menores de 6,54 mg de P/kg de suelo.

En otro suelo Pardo tropical, pero con un contenido de 16,83 mg/kg por el método de Oniani, Portieles y Mojena (1979) estudiaron las aplicaciones de fósforo y cal sobre el cultivo de la pangola (*Digitaria decumbens*) y hallaron una eficiencia de utilización de 73,7 cuando aplicaban 100 kg de P/ha; mientras Pacheco, Rodríguez, Sánchez y Barroso (1982) informaron que un suelo Pardo grisáceo con un contenido de 14,7 mg de P/kg de suelo la EUP fue casi nula, debido a que el contenido de este elemento en el suelo era suficientemente alto.

### 1.3.3 Dosis de aplicación

La dosis o nivel de aplicación del P, es un factor que influye considerablemente en el EUP en una proporcionalidad inversa, o sea, que a medida que aumenta el nivel de fertilización fosfórica, disminuye la eficiencia de utilización de este nutrimento, dependiendo de las características químicas y físico-químicas del suelo y de las exigencias del cultivo.

Dean y Bubins (citados por Lotero, 1974) plantean que la utilización de este elemento por los cultivos que se encuentra entre 5 y 20%, y Hanual (citado por este mismo autor) plantea que se encuentra entre un 10 y 30%, por lo que se evidencia que la utilización del mismo es relativamente baja y que es necesario profundizar en los estudios de balance del sistema suelo-planta y definir las formas y contenido de P en el suelo, la extracción hecha por el cultivo y las pérdidas que sufre este sistema.

En las condiciones del trópico húmedo de Puerto Rico, Figarella, Vicente-Chandler, Silva y Caro-Costa (1964) estudiaron el efecto de la fertilización fosfórica del *Pennisetum purpureum* cv. Napier en un área que no había sido fertilizada al menos en los últimos 12 años antes de comenzar el experimento y utilizaron 0,75 y 150 kg de P/ha/año; ellos obtuvieron diferencias significativas entre los niveles de aplicación con 21, 30 y 32,5 t de MS/ha para los niveles aplicados respectivamente y una EUP de 120 y 76,66 para los dos últimos niveles. El contenido de P se incrementó significativamente y se pudo observar la alta utilización que hizo el cultivo de este elemento y la disminución que obtuvieron cuando emplearon niveles superiores. Concluyen estos

investigadores que las gramíneas fertilizadas intensamente en los suelos típicos de la región húmeda no fertilizada previamente, pueden responder eficientemente al P e incrementar su contenido en planta, respuesta que puede deberse a la concentración de P en el suelo en forma disponible y a la baja capacidad de fijación del mismo.

También estudiaron en otra localidad el efecto de 0, 22, 448 y 896 kg de  $P_2O_5$ /ha sobre el rendimiento del Napier, guinea y pangola. Para el Napier obtuvieron 28,47; 30,56; 30,38; 30,06 kg de MS/ha/año; para la guinea 31,04; 28,56; 32,16 y 36,07 kg de MS/ha/año, y para la pangola 26,04; 29,16; 28,48 y 30,39 kg de MS/ha/año, para los niveles mencionados anteriormente. Se puede conocer que no hubo una respuesta a la fertilización fosfórica y que el contenido de  $P_2O_5$  en el suelo era suficiente y que anteriormente en este suelo se fertilizaron intensivamente los cultivos.

La EUP en este experimento fue baja y la pangola mostró el valor más alto con 224 kg de P/ha/año; le siguió la guinea y el napier.

En cuanto a los tenores de este elemento en las plantas tampoco obtuvieron diferencias significativas, pues estuvieron incluso por debajo de los niveles críticos informados por la literatura.

También Ferrer (1964) en México; Tulloch-Reid y David (1969) realizaron un estudio de la fertilización fosfórica en la hierba pangola, donde emplearon 0; 8,7; 14,45 y 52,37 kg de P/ha y se obtuvieron respuestas en cuanto al rendimiento de MS del pasto; la eficiencia de utilización de este nutrimento fue extremadamente baja, en los 5 años de experiencia.

Obtuvieron además un decrecimiento del rendimiento a medida que aumentaba el tiempo, atribuyéndosele a una disminución del N disponible y no al contenido de P, donde existió durante la experimentación una disponibilidad adecuada, o a la interacción de los nutrimentos. La disponibilidad de P se incrementó de 4 a 30 mg/kg, correspondiendo a 0 y 134 kg de P/ha aplicado respectivamente, sin embargo esto no fue reflejado en una mayor absorción por la pangola o en un incremento del rendimiento de MS, aunque este pasto según hemos planteado anteriormente tiene muy bajo nivel de exigencia al fósforo.

Pinzon (1977) en Panamá y en el pasto faragua (*Hyparrhenia rufa*), obtuvo un incremento de 0,7 t de MS/ha con respecto al control cuando aplicó 100 kg de P/ha, con una EUP de 7; sin embargo, cuando aplicó 100 kg de N/ha la eficiencia se incrementó a 32. Además, aplicando 200 kg de N y P/ha, la EUP disminuyó en 11,4 comparada con el tratamiento de 100 kg de N y P/ha, lo que demuestra que en este suelo es necesario hacer aplicaciones intensivas de fertilizantes fosfóricos.

Los resultados en Cuba no difieren mucho de los obtenidos en otros países del trópico, en cuanto a la influencia que ejercen los niveles de aplicación de P en la eficiencia de utilización del mismo por los pastos.

Así Crespo, Paretas y Pupo (1976), cuando aplicaron 0; 67,8 y 135 kg de P/ha/año a la bermuda de costa (*Cynodon dactylon*) en un suelo Loam arenoso, obtuvieron en el período lluvioso (mayo-octubre) 8,0; 13 y 13,6 t de MS/ha y en período menos lluvioso (noviembre-abril) 7,4; 15,7 y 17,4 t MS/ha para los diferentes niveles de aplicación; se logró una mayor EUP con el nivel de 67,8 kg de P/ha.

También en un suelo Pardo grisáceo, de textura arenosa y de pH ácido, Portieles, Arteaga y Mojena (1977) estudiaron el efecto del encalado sobre la dinámica del P y la respuesta del pasto pangola. La eficiencia de utilización del P fue de 25,9; 19,3 y 14; 0 para los niveles de 100, 200 y 300 kg de P/ha respectivamente; se observó además la disminución de esta con la dosis de aplicación, así como que la EUP en el nivel de 100 kg de P/ha se puede incrementar a 30,5 y 35,6 aplicando 0,75 y 1,5 t de  $CaCO_3$ /ha respectivamente. Sin embargo, en suelo con características similares al anterior Pacheco, Rodríguez, Sánchez y Barroso (1982) no se obtuvieron incrementos significativos en los rendimientos de MS en la hierba guinea en condiciones de secano. Los rendimientos fueron de 42,80 y 44,37 t de MS/ha para 150 y 300 kg de P/ha respectivamente, los que denota que la EUP fue muy baja debido al incremento no significativo del rendimiento.

#### 1.3.4 Formas de aplicación

Para los suelos con bajos contenidos de  $P_t$  y P asimilable y de una lata capacidad de fijación, se debe aplicar cantidades apreciables de fósforo para satisfacer los requerimientos nutricionales de los pastos y del suelo, por lo que León y Toledo (1982) plantean diversas alternativas para el manejo de los pastos mejorados. Una de ellas es la determinación de la dosis y los métodos de colocación del fertilizante fosfórico que aumenten su eficiencia inicial y residual.

También Smyth, Sánchez y Lobato (1980) le dan gran importancia a las formas de aplicar al fertilizante fosfórico para reducir los requerimientos de este nutrimento para un máximo rendimiento.

Además Paretas, Aspiolea, Ávila, Crespo, González, López y Hernández (1983) plantean que la mejor utilización de este elemento se hace cuando el mismo está lo más cerca posible del sistema radicular, por lo que las características fisiológicas en cuanto al crecimiento y desarrollo son de gran importancia y se debe tener en cuenta la hacer aplicaciones de fertilizantes, ya que según señalan los autores anteriormente citados, un 80% de la cantidad aplicada se queda en los primeros 30 cm del suelo y una parte insignificante se desplaza

hasta 60 cm de profundidad, debido a la poca movilidad de este nutriente en el suelo (Neptune, Muraoka y Stewart, 1979); se concluye que la aplicación en banda crea un medio más fértil y favorable a la plántula y la disponibilidad de este nutriente es mayor en la etapa de establecimiento del pasto.

Por otra parte, Andrew y Jones (1978) exponen que la extensión y distribución del sistema radicular tienen gran importancia sobre la absorción de suelo e influyen en forma considerable en la eficiencia de utilización de este elemento, por lo que hay que tenerlos en cuenta al momento de decidir las formas de aplicación de este nutriente, conociendo además que más del 50% del sistema radicular total está presente en los primeros 20 cm del perfil del suelo, según Crawder y Cheda (1982).

Eden (1984) plantea que la mezcla de los fertilizantes fosfóricos no es una buena práctica agronómica, pero que estos distribuidos en zonas concentradas producen en sentido general un mayor rendimiento de MS que cuando se aplican a voleo, ya que ese método no hace un contacto íntimo entre el fertilizante y el suelo, el cual puede afectar la germinación y el establecimiento de las plántulas, aunque es importante la aplicación a voleo para el mantenimiento del pastizal (Fenster y León, 1979).

Fassbender (1978), trabajando en suelos alcalinos y calcáreos y arenoso-arcillosos, informó que la mínima fijación ocurrió cuando aplicó el fertilizante fosfórico en banda, y recomienda que este debe ser aplicado en el momento de la siembra y tan junto a las semillas como sea posible.

CIAT (1978), al comparar aplicaciones en banda y voleo en tres asociaciones de gramíneas y leguminosas utilizando escoria Thomas a los niveles de 10, 40 y 70 kg de  $P_2O_5$ /ha, concluyó que la EUP fue superior cuando se aplicó en banda, ya que aparentemente crearon un medio más fértil y favorable para la plántula en desarrollo, debido a que el fertilizante se concentraba en la zona que rodea a las mismas y la disponibilidad de P aumenta, cuando al parecer es especialmente crítica para especies forrajeras de semillas pequeñas.

El efecto de niveles de P (25, 80, 100 y 150 kg/ha) y métodos de aplicación (banda y voleo) también fue estudiado por Probert, Winter y Jones (1979). La aplicación a voleo tendió a mayores rendimientos de MS a los primeros niveles de P que en banda.

Se refieren además a que la localización del fertilizante fosfórico en banda mejora la eficiencia de su utilización y que los mayores beneficios son naturalmente obtenidos donde la capacidad de sorción de P es alta, a causa de que los fosfatos aplicados en esta forma son parcialmente protegidos contra las reacciones de fijación con el suelo más cercano al sistema radicular, según Aitken y Huges (1980).

La respuesta de la hierba faragua (*Hyparrhenia rufa*) a niveles de 50, 400 y 750 kg de superfosfato/ha y varias formas de aplicación, fue evaluada por Italiano, Gomide y Monnerat (1981) en el establecimiento, en un suelo Latosol con 3 mg de P/kg, quienes informaron que la localización en el surco dio mayor rendimiento de MS con 50 kg de superfosfatos/ha (15,3 t/ha) y el más bajo rendimiento a ese nivel fue cuando se aplicó inmediatamente después de la siembra (4,2 t/ha).

Cooke (1949) considera que la aplicación del fertilizante fosfórico hallado y debajo de las semillas es el mejor método; resultados similares obtuvieron Neptune, Muraoka y Lourenzo (1978), quienes observaron que la aplicación del mismo a voleo es el peor método para el frijol y el mejor cuando fue colocado a 5 cm de distancia de la semilla en el surco y a 10 cm de profundidad.

En Cuba se han efectuado pocos trabajos sobre las diferentes formas de aplicación del fertilizante fosfórico; Ávila (citado por Paretas *et al.*, 1983) comparó diferentes métodos de aplicación del superfosfato sencillo en un suelo Pardo Grisáceo, con bajo contenido de P, e informó ventajas al aplicar 8,73 kg de P/ha en el surco y el resto de la dosis superficial anual después de establecida la bermuda cruzada, y la de peor comportamiento fue la aplicación incorporada de este fertilizante. No obstante, consideramos que se debe profundizar en estos aspectos en dependencia de los requerimientos del suelo y del cultivo.

### 1.3.5 Fuentes fosfóricas

El estudio de los diferentes portadores de fósforo tiene gran importancia en nuestras condiciones, ya que el crecimiento y el desarrollo de los pastos necesitan de este nutriente para obtener óptimos rendimientos con la calidad requerida. También es conocido que los suelos dedicados a la ganadería presentan bajos contenidos de P disponible y que los precios de este fertilizante en el mercado mundial son altos, lo que nos obliga a investigar en esta dirección para aumentar al máximo la eficiencia de su utilización, mediante el empleo de dosis adecuadas para cada tipo de suelo y de acuerdo con los requerimientos de la especie.

Una de las fuentes más utilizadas son los superfosfatos y la roca fosfórica; esta es más eficiente en suelos ácidos, debido a que el traspaso de los fosfatos difícilmente solubles a una forma más soluble se debe a la acidez potencial del suelo y más específicamente al hidrógeno cambiante (Dinchev, 1972). Plantea este autor además que el suelo es capaz de descomponer fosforita con una acidez potencial no menor de 2,5 mgeq/100 g de suelo, y cuanto mayor es esta magnitud será más fuerte la acción disolvente del suelo y mayor el efecto de la fertilización. Este tipo de material tiene la ventaja de que su efecto residual es generalmente mayor que el de los portadores de P más soluble.

Por otra parte, la asimilación del P de la roca fosfórica (RF) puede ser afectada por factores que influyen en la eficiencia agronómica: factores inherentes a la RF (características mineralógicas, físicas y químicas); factores del suelo (pH, contenido de Ca, P, materia orgánica, textura, etc.), según plantean Hasawaneh y Doll, (1978).

Es por eso que se han conducido numerosas investigaciones para precisar la respuesta en función de estos factores. Millar (1967) plantea, en general, que se debe aplicar el doble o el triple de P en forma de RF para lograr resultados similares a los obtenidos con el superfosfato. Bari, Awan, Recio y Berrayarsa (1971) lograron rendimientos muy similares en caña de azúcar con 400 kg de RF/ha y 200 kg de superfosfato triple (SPT)/ha.

Se ha podido observar que las RF son más reactivas en suelos ácidos que en neutros y calcáreos, por lo que la liberación de P disponible tiende a corresponder más a las necesidades del forraje en crecimiento, lo cual posiblemente reduzca la incidencia de fijación de P en el suelo (Fenster y León, 1978), aumentando de esta forma la utilización del P.

También Mattingly (1970) recomienda para estos suelos fuentes de disponibilidad lenta como las escorias básicas y las RF, debido a que el P se va liberando paulatinamente, lo cual disminuye su fijación y el valor residual es más prolongado que al utilizar un fertilizante hidrosoluble.

León, Riaño, Owen, Rodríguez y Sánchez (1978) realizaron ensayos de diferentes regiones de Colombia para evaluar la eficiencia de la RF de Tumequi, RF de la Florida, superfosfato simple (SPS) y escorias Thomas, con un contenido de 16, 32, 20 y 16% de P respectivamente a razón de 100, 200 y 400 kg de P/ha, en el rendimiento de *Brachiaria decumbens*, *Hyparrhenia rufa*, *Pennisetum clandestinum*, *Dactylis glomerata* y *Anthoxanthum odoratum*, y concluyeron que entre las fuentes estudiadas las escorias Thomas produjeron mejores o iguales rendimientos que el SPT para todos los cultivos o suelos.

Lobato y Sanzonowicz (1980) informaron que la especie *Brachiaria decumbens* es muy tolerante a la acidez del suelo, lo que hace más factible la estrategia de utilizar la RF, ya que en las condiciones de acidez esta incrementa su solubilidad. Al utilizar SPS y RF de Araxá, encontraron que a partir año de evaluación los rendimientos de MS de esta especie se igualaron.

En Colombia, según Anon (1983), se utilizaron fuentes de P no soluble en agua para evitar una alta fijación y promover la liberación gradual de este elemento durante varios años, en suelos oxisoles caracterizados por una extrema deficiencia de P y una alta capacidad de fijación de este elemento. Se empleó fosfato de Araxá, termofosfato Goorin y SPT. El primer tipo de fertilizante es una roca fosfatada finalmente molida y el ( $p < 0,01$ ) en los rendimientos de MS con todos los portadores y niveles de aplicación con relación al control, y los niveles superiores de 100 kg de  $P_2O_5$ /ha en cualquier portador no incrementaron los rendimientos; asimismo, que los niveles crecientes de  $P_2O_5$  disminuyeron la eficiencia de utilización del P y la mayor eficiencia se logró con los superfosfatos.

También Alfonso, Battle y Rodríguez (1979) compararon la eficiencia de la RF nacional, RF importada y el SPS. Las rocas tenían un contenido de  $P_2O_5$  asimilable de 5,40% y 4,9% respectivamente en un suelo Pardo tropical de exterior loam arenoso, utilizando la hierba guinea. Las dosis empleadas fueron 60, 120 y 180 kg de  $P_2O_5$ /ha para todas las fuentes, y a la RF se le adicionó un nivel de 900 kg/ha. El SPS (180 kg/ha) fue el que produjo un incremento superior de MS, y entre las rocas no se apreciaron diferencias significativas.

En un suelo Pardo tropical del tipo loam arcilloso-arenoso con un pH de 4,96 en KCl y un contenido de 55,99 kg de  $P_2O_5$ /ha, Aspiolea, Ávila, Valdés y Portieles (1979) compararon el efecto SPS, SPT y RF sobre el rendimiento de MS en la pangola, y plantearon que en este parámetro hubo diferencias significativas entre los tratamientos en los 3 años de estudio, así como el acumulado total.

El SPS con 100 kg de  $P_2O_5$ /ha fue el mejor comportamiento y que el de la RF mostró un comportamiento ligeramente superior al SPT. Encontraron además que el aprovechamiento del P disminuyó con el aumento de las dosis en todos los portadores, que alcanzó los mayores valores con el SPS al nivel de 100 kg/ha/año y que este aumentó con relación al tiempo.

Como se ha podido observar, se hace necesario continuar estos estudios en los diferentes suelos donde se encuentra enclavada nuestra ganadería, a fin de determinar la dosis más adecuada de los diferentes portadores fosfóricos, en función del tipo de pasto en explotación.

## Capítulo 2. Materiales y métodos

### 2.1 Característica de los suelos

Los suelos empleados en los experimentos, según la segunda clasificación genética de suelos (Anon, 1979), Ferralítico Rojo hidratado y Ferralítico Cuarcítico amarillo lixiviado, pertenecientes a la Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey" y a la Empresa Pecuaria "Sur del Jíbaro" respectivamente.

Son suelos donde el proceso de ferralitización se caracteriza por una alteración intensa de los minerales, donde ocurre la eliminación de la mayor parte de las bases alcalinas y alcalinotérreas y una parte de la sílice, con la formación de óxidos de hierro y aluminio, conjuntamente con los minerales arcillosos del tipo 1:1.

Las relaciones intermoleculares  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  es menor que dos y la de  $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$  menor que 1,3 a 1,6 y se desarrollan fundamentalmente a partir de rocas calizas duras y esquitos.

En nuestro país los suelos Ferralíticos Rojos se manifiestan con un perfil ABC bien diferenciados y profundos, de color rojo, arcillosos, permeables, ligeramente ácidos con valores de pH inferiores a 6,8 y la capacidad de cambio catiónico de 6 a 20 me/100 g.

La relación C/N es de 9 a 11 y la de ácidos húmicos/ácidos fúlvicos (H/F) varía de 0,5 a 0,7 y el por ciento de las huminas llega a alcanzar hasta 50%, predominando la segunda fracción de los ácidos húmicos, de muy baja polimerización.

El subtipo hidratado presenta condiciones de hidromorfía y se observa a través del perfil manchas amarillentas.

El Ferralítico Cuarcítico amarillo se caracteriza por tener un perfil ABC formado a partir de esquitos micáceos, en los cuales se produce el proceso de ferralitización conllevando a la formación de minerales arcillosos del grupo de las caolonitas y un poco de versiculitas y cloritas, óxidos e hidróxidos de aluminio y hierro que le confieren el color amarillo característico.

Presenta una textura arenosa, proveniente de la roca madre durante el proceso de meteorización.

La capacidad de cationes cambiables es menor de 5 me/100 g con un pH menor que 6 con predominio del Al en la acidez cambiante. La relación H/F varía de 0,4-0,5 y la de C/N es mayor de 15. En cuanto a las relaciones intermoleculares  $\text{SiO}_3/\text{Al}_2\text{O}_3$  en arcilla es menor de 2 y la de  $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$  menor de 2.

La composición química de ambos suelos se expresa en la tabla 2. Se puede observar que el primer suelo descrito anteriormente presenta un carácter menos ácido que el Ferralítico Cuarcítico, y que este tiene un menor contenido de materia orgánica.

Tabla 2. Composición química de los suelos.

Medida	FRH	FCAL	Métodos
pH (KCl)	5,80	5,20	Potenciómetro
Materia orgánica (%)	4,02	1,34	Walkley Black
$\text{P}_2\text{O}_5$ (mg/100 g)	2,96	1,09	Oniani
$\text{K}_2\text{O}$	7,20	5,00	
$\text{Ca}^{2+}$	10,80	1,01	
$\text{Mg}^{2+}$	1,57	1,01	Método unificado del
$\text{Na}^+$	0,17	0,19	Departamento de Suelos del
$\text{K}^+$	0,12	0,09	MINAGRI

FRN Ferralítico Rojo hidratado

FCAL Ferralítico Cuarcítico amarillo lixiviado

En cuanto al contenido de P, ambos suelos presentan un contenido muy bajo según el método de Oniani (1974), igual sucede con el K.

El suelo Ferralítico Cuarcítico se encuentra fuertemente desaturado, y en el suelo Ferralítico Rojo el complejo de cambio se encuentra saturado con Ca.

De acuerdo con el análisis integral, el suelo arenoso presenta una fertilidad muy baja en comparación con el suelo rojo.

### 2.2 Descripción de la especie

#### 2.2.1 Origen y distribución geográfica

La hierba guinea (*Panicum maximum* Jacq.) es originaria de África tropical y más específicamente de la región este, de acuerdo con lo informado por Pernés, Combes, René-Chaume y Savidan (1975).

Actualmente esta especie se ha propagado intensamente a partir de su centro de origen y está distribuida por el trópico y el subtrópico y constituye una de las hierbas más destacadas.

En Cuba, fue introducida probablemente por los africanos traídos como esclavos durante la época colonial o en las tratadas negreras y se encuentra muy bien adaptada a las diversas zonas ecológicas.

### 2.2.2 Caracteres botánicos

*Panicum maximum* Jacq.: Pertenece la orden *Glumiflorae*, por ser una planta perenne, tallos conspicuamente articulados, hojas alternas y envainadoras. Las flores se disponen en una inflorescencia compuesta y el fruto en cariósipide (Hermano León, 1946). Dentro de este mismo orden, Harlam (1956) la sitúa en la subfamilia Panicoidea, ya que la desarticulación de las espiguillas es por debajo de las glumas y estas caen enteras.

Esta hierba pertenece además a la tribu Panaceas, debido a que presenta una lema fértil y la palea endurecida, o al menos más firme que las glumas.

El género *Panicum*, donde se ubica taxonómicamente esta especie, se caracteriza porque las espiguillas son algo deprimidas, en panojas abiertas, glumas herbáceas, nerviadas y desiguales, y la primera gluma es un tercio de la espiguilla, estas son de diferentes tamaños: 3,5 mm en la guinea común y 2,5 en la guinea enana.

Anatómicamente *Panicum maximum*, se diferencia del resto de las especies por presentar el fruto o cariósipide arrugado transversalmente, de tamaño erguidos, lígula de 4 a 6 cm, limbos escabrosos en los bordes, hojas planas, vainas ciliadas y panículas de 20 a 50 cm.

Puede alcanzar alturas variadas desde 1 hasta 4 m (Dudar, Yepes y Machado, 1973).

Esta especie, dada su condición apomíctica (Warmke, 1954), presenta una gran variabilidad intraespecífica; así León y Sgaravati (1971) señalan más de 55 variedades en 20 países y Hutton (1970) plantea que en Australia hay seis variedades que son las más extendidas: Hamil, Sabí común, Petri, Colonial, Gaton panic. En nuestro país Sidak, Seguí y Pérez (1977) encontraron una gran variabilidad al estudiar 192 clones de esta especie bajo condiciones homogéneas e informaron que la producción de heno varió desde 1 454 a 3 144 g/macolla, la proteína bruta desde 6 hasta 8%, y se detectaron ocho grupos fenológicos. Dudar, Yepes y Machado (1973) clasificaron morfológicamente siete ecotipos cubanos, los cuales fueron denominados según las características o lugar de origen como: Montícola, Serpenticola, Pubescente mediano, Gigante verde, Gigante azul y Tardío.

Como resultado de la introducción de pastos, contamos con varios cultivares de guineas promisorias, tales como: Likoni, Makueni, Uganda y común de Australia, entre otras.

El cv. Likoni, originario de Kenya, se caracteriza según Hernández y Cáceres (1983) porque sus macollas presentan entre 200 y 300 hijos, con una gran producción de hojas. Es de tipo mediano, variando de altura sexual y vegetativa de acuerdo con la época del año, la fertilización y el manejo de pastizal. En condiciones de secano y en la época de menor pluviosidad, la altura vegetativa fluctúa entre 32 y 50 cm, mientras que el período lluvioso entre 54 y 92; puede alcanzar 140 cm. La altura de tallos reproductivos varía entre 70 y 125 cm en el período seco y en la primavera de 110 a 180 cm. Las hojas alcanzan 2 cm de ancho y 55 de longitud, con una superficie lisa y de color verde claro. Es un cultivar precoz, que inicia su floración a partir de la tercera semana posterior al corte; la misma se mantiene en todos los períodos del año con una intensidad de hasta 43,8 panojas/macolla.

Un aspecto interesante en este cultivar es que su producción de hojas no se detiene después de comenzado su ciclo de floración.

El cv. Uganda, con gran semejanza al anterior, es según Anon (1980) una gramínea de porte mediano a alto, macollosa, con abundantes tallos generativos y vegetativos, que pueden alcanzar hasta 3 m, hojas lanceoladas, largas y anchas con poca vellosidad, lígula pelosa, aurícola blanquecina y un color verde más intenso.

El cv. Común de Australia, procedente de Australia, se introdujo en Cuba en 1968; presenta sus hojas lanceoladas de 42 a 67 cm de largo y 12 mm de ancho en el período menos lluvioso, que pueden ser mayores en la época de mayor precipitación. Su porte es mediano y su hábito de crecimiento es erecto. Los tallos vegetativos son relativamente comprimidos, los cuales pueden alcanzar una longitud de 80 a 120 cm. La inflorescencia está constituida por una panoja típica de 25 a 35 cm de largo con un ancho máximo de 22 a 32 cm y de 5 a 8 verticilos.

El cv. Makueni, procedente de Kenya, se introdujo en Cuba en 1973, y se caracteriza por presentar limbos con una longitud entre 18 y 47 cm y de 1,6 a 2,7 cm de ancho. Presenta pelos cortos tanto en la vaina como en el limbo. La altura vegetativa es de 160 a 170 cm y la generativa de 225. La espiguilla presenta un color verde a morado cubiertas de pelos, con una longitud de 3,4 mm. El largo de la panoja varía de 17 a 30,5 cm.

La especie *Chloris gayana* Kunth. es nativa de África del Sur. Pertenece a la tribu Chlorideae, familia Gramineae. Se caracteriza según Mesa y Lamela (1981) por ser una planta estolonífera, con tallos robustos de 1 a 1,5 m de altura, estolones largos y fuertes, entrenudos comprimidos, resistentes y delgados con dos o cuatro hojas en cada nudo de 3 a 5 mm de ancho. La inflorescencia es digitada. Se adapta muy bien a nuestros suelos y se destaca por su potencial productivo y equilibrio estacional de MS. La CSIRO la considera como una planta indicadora, debido al pequeño tamaño de sus semillas.



### **2.3 Metodología general**

Los experimentos fueron llevados a cabo en la Estación Experimental de Pastos y Forrajes "Indio Hatuey", situada en la región central de la provincia de Matanzas en el punto geográfico determinado por los 22°48'7" de latitud norte y los 81°2' de longitud oeste, a una altura de 19,01 m sobre el nivel del mar (Anon, 1971).

También en la Escuela Superior de Agricultura de Praga fueron ejecutados experimentos en cámara climatizada y en medio líquido.

#### **2.3.1 Preparación del suelo y siembra**

Para los experimentos en macetas, en casa de cristal y para los de laboratorios, los suelos fueron muestreados desde 0 hasta 15 a 20 cm de profundidad, por ser la zona donde se desarrolla preferentemente el sistema radical de los pastos. Los mismos fueron secados al aire y pasados por un tamiz de 0,6 cm.

Las macetas fueron recubiertas internamente por una fina lámina de polietileno, a fin de evitar las infiltraciones. Una vez efectuadas estas operaciones, se prepararon 6 kg de suelo para cada maceta, de acuerdo con los diferentes tratamientos a estudiar.

Las sales de P, K y Ca se mezclaron homogéneamente con el suelo en estado sólido, mientras que las sales de N, Mg, Mn, Cu, Zn, B y Mo en estado líquido según las recomendaciones de Mitreva (1976); se calculó la dosis a través del peso de 1 ha surco.

Después de preparado el suelo y con suficiente humedad (85% de la capacidad de campo) se sembraron con semillas gábricas las especies y/o variedades de pastos a estudiar. Una vez germinadas las mismas se dejaron 5 plantas por maceta para su evaluación, logrando con esto una mayor uniformidad. En todo momento se mantuvo un estricto control fitosanitario.

La temperatura interna de la casa de cristal fue de 31,5 – 19,4 y 25,5°C para la máxima, mínima y media respectivamente.

#### **2.3.2 Fertilización y riego**

Se utilizó en todos los casos un fondo fiji de macro y microelementos, con el objetivo de eliminar cualquier factor nutricional que pudiera enmascarar la respuesta a obtener.

El riego se efectuó en días alternos hasta un 85% de la capacidad de campo, por el método gravimétrico y con agua destilada.

#### **2.3.3 Corte, toma y preparación de las muestras**

En todos los experimentos los cortes fueron efectuados a las 2 semanas siguientes después de haber detenido el crecimiento en altura, coincidiendo con la fenofase de inicio de floración.

El material vegetal cortado se introdujo en bolsas de papel, para someterlo al secado en estufa y poder determinar el peso seco y sus correspondientes parámetros químicos.

#### **2.3.4 Mediciones**

Los síntomas carenciales de los nutrimentos fueron observados visualmente.

La producción de raíz al final del experimento fue medida en base seca; para esto, las mismas fueron sacadas de cada maceta con extrema precaución y lavadas con agua corriente a fin de eliminar todas las partículas del suelo. Posteriormente, después de secadas al aire, se introdujeron en bolsas de papel y se colocaron en una estufa a 90°C hasta lograr el peso constante.

#### **2.3.5 Cálculos y análisis estadísticos**

El rendimiento de MS en cada corte efectuado, fue el peso seco de la parte aérea de cada maceta.

La extracción de P (mg/maceta) fue calculando multiplicando el rendimiento de MS (g/maceta) por el por ciento de P en planta.

La eficiencia de utilización del P (mg MS/mg de P aplicado) se calculó sustrayendo el rendimiento de MS del tratamiento fertilizado del rendimiento del tratamiento sin fertilizar, dividido por la cantidad de P aplicado por kg de suelo, según:

$$\text{E.U.P.} = \frac{\text{Rendimiento de MS del tratamiento fertilizado} - \text{Rendimiento de MS del tratamiento no fertilizado}}{\text{P aplicado}}$$

Se efectuaron análisis de varianza para comparar los valores medios de los parámetros, según la prueba de rangos múltiples de Duncan (1955). Análisis de regresión se efectuaron además para determinar el grado de correlación entre algunos parámetros y la dosis de P.

## **2.4 Métodos analíticos**

### **2.4.1 Análisis químico del pasto**

Para efectuar esto, se tomaron dos gramos del recipiente que contenía la muestra molida correspondiente a cada tratamiento, tratando de disminuir el tiempo de almacenamiento de estos, a fin de evitar la alteración del material. Los análisis se efectuaron por tratamientos y por duplicados.

La determinación del N (%) se realizó por el método de Kjeldahl (AOAC, 1965), el cual se basa en la transformación del nitrógeno contenido en la muestra de sulfato de amonio a través de la digestión con ácido sulfúrico concentrado p.a. en presencia de sulfato de potasio, sulfato cúprico pentahidratado y selenio metálico, en la proporción de 1000:100:30 g respectivamente como catalizador.

El ión amonio formado se transforma en amoníaco, que se destila y valora con una solución de ácido patrón.

El fósforo, para su determinación, fue basada en el método adaptado por Amaral (1972), el cual se fundamenta en la formación de un complejo de coordinación entre el P y el molibdato en medio ácido, con la parición del color azul a través de la reducción del complejo por el ácido cloroestannoso.

Para el análisis de potasio, se tomaron alícuotas de la disolución ácida de las cenizas (1 ml) y se llevaron a un volumétrico de 100 ml con agua destilada. Su determinación fue a través de fotómetro de llama con el filtro adecuado (AOAC, 1965).

La determinación de calcio y magnesio por complexometría se fundamenta en la formación de un quelato entre la solución disódica del ácido etilendiamino (EDTA) y el catión. En una alícuota de la disolución de las cenizas se determina el Ca y en otra porción la suma de Ca y Mg, calculándose esta última por diferencia (AOAC, 1965).

### **2.4.2 Análisis químico del suelo**

El pH fue determinando en una relación suelo:disolución de 1:25 agitándose a intervalos regulares durante 30 minutos midiéndose posteriormente con el electrodo de vidrio potenciométricamente.

La materia orgánica fue determinada por el método de Walkley-Black (citado por Jackson, 1958), el cual consiste en añadirle a 0,5 g de suelo 10 ml de dicromato de potasio 1N y 20 ml de ácido sulfúrico concentrado p.a., agitándose hasta asegurar el contacto íntimo de los reactivos con el suelo y dejando en reposo posteriormente durante 30 minutos. La disolución se diluye con 200 ml de agua destilada y se añaden 10 ml de ácido fosfórico al 85%, a 0,2 de fluoruro de sodio y 30 gotas de difonilamina, utilizándose para la valoración de dicha solución el sulfato ferroso amónico.

El fósforo y el potasio fueron determinados por el método de Oniani (1974), el cual se basa en la extracción de las formas solubles de P y K del suelo en  $H_2SO_4$  0,1N, pasando a través de esta disolución todas las sales de fósforo de cationes monovalentes y los fosfatos ácidos y monoácidos y una parte de los fosfatos de Fe y Al. El fósforo se lee por fotocolorimetría a  $660\text{nm}$  y el potasio por fotometría de llama.

## **2.5 Metodología experimental en medio líquido**

Estos experimentos se condujeron en la Cátedra de Bases Biológicas de la Producción Vegetal, de la Escuela Superior de Agricultura de Praga.

Para esto se utilizó una solución nutritiva Knop (1961), cuya composición en ppm es la siguiente:  $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$  (4,39);  $KNO_3$  (1,965);  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  (1,465). El KCl (33,33 g/l) se aplicó en cantidades variables de forma que la concentración de K fuera constante en todos los tratamientos. El  $Fe^{2+}$  fue aplicado en solución EDTA (1 ml/l). En todo el período experimental las plantas estuvieron a la mitad de la concentración (Knop  $\frac{1}{2}$ ), con pH de 5,73.

Los tratamientos utilizados fueron: 1/32; 1/16; 1/8;  $\frac{1}{4}$  y  $\frac{1}{2}$  de la concentración de P, correspondiente a 0,0205; 0,0416; 0,0825; 0,165 y 0,330 ppm respectivamente.

El cambio de solución se efectuó cada 2 días, aireándose diariamente la misma. Se utilizaron macetas plásticas de 500 ml de capacidad.

Los experimentos se condujeron en una cámara climatizada a  $26^\circ\text{C}$  de temperatura, 60% 10 de humedad relativa, con luces de sodio a una intensidad de  $24\text{ W}\cdot\text{m}^2$  y un fotoperíodo de 12 horas luz

Las plantas fueron puestas a germinar en arena estéril y con agua destilada. Fueron transplantadas a la solución nutritiva en sus respectivos tratamientos, cuando alcanzaron una altura de 4 a 5 cm, colocándose 10 plantas por macetas en 4 réplicas. La cosecha se efectuó en las primeras fases de desarrollo ontogenético, separándose en sus órganos principales: la raíz, los tallos y las hojas fueron colectadas de arriba hacia abajo, tomándose la segunda, tercera y cuarta para sus análisis respectivos.

### Capítulo 3. Influencia de las características del suelo sobre la eficiencia de la utilización del fósforo

Para obtener buenos rendimientos de pastos, a fin de garantizar una adecuada alimentación de la masa ganadera, se hace necesaria la aplicación de prácticas agronómicas, donde la fertilización desempeña un gran papel en la consecución de estos objetivos.

Las recomendaciones de fertilizantes para las nuevas áreas de cultivo necesitan estudios previos a largo plazo para conocer cuantitativamente la respuesta de las plantas a las diversas combinaciones de nutrimentos según el tipo de suelo, pero un paso previo para abreviar tal conocimiento sería la determinación inicial en forma cualitativa del estado nutritivo del suelo que nos indique cuál o cuáles son los nutrimentos que son o prontamente serán limitantes para el normal crecimiento y desarrollo de los pastos y su efecto en la utilización de los diferentes elementos, ya que según Tomov y Gorbanov (1984) el disturbio en la proporción de los elementos nutritivos en el suelo provoca una reducción en el rendimiento y puede afectar considerablemente la síntesis orgánica en los cultivos.

La fertilización fosfórica es de gran importancia, máxime cuando una gran parte de nuestros suelos dedicados a la ganadería presentan diversos problemas, por lo que se hace necesario conocer las características químicas y físico-químicas para obtener una buena utilización del mismo.

#### Sección A

#### Estudio de la cinética de sorción de los iones fosfatos en los suelos Ferralítico Rojo hidratado y Ferralítico Cuarcítico amarillo lixiviado

##### Materiales y métodos

**Tratamientos:** Los tratamientos consistieron en aplicar a 2 g de suelo, 10 ml de disolución de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  (250  $\mu\text{gP/ml}$ ) en  $\text{CaCl}_2$  0,01 M, con una actividad específica de 0,05  $\mu\text{Ci } ^{32}\text{P/ml}$ , agitándose durante 2, 4, 6, 16, 20, 24, 28, 32, 40, 44, 48, 52, 56, 64 y 72 horas a temperatura ambiente de  $\pm 28^\circ\text{C}$ .

**Procedimientos:** Las curvas de sorción en función del tiempo se estudiaron mediante el método de Rachinskii (1974) usando  $^{32}\text{P}$  como trazador radioactivo, y se tomaron dos muestras de suelo para cada uno de los tiempos de agitación, de cada tipo de suelo.

Una vez alcanzados los tiempos de agitación en un vibrador electrónico, se centrifugaron durante 5 minutos a 3 000 rpm, tomándose posteriormente una alícuota de 1 ml y colocándola en placas de 1,5 cm de diámetro bajo la acción de la luz infrarroja, hasta lograr la desecación total. Se realizaron lecturas en un sistema radiométrico Geiger-Müller a intervalos de 100 segundos, repitiéndose las mismas cuatro veces.

Los valores de la misma sorción fueron calculados según:

$$S = \frac{V}{m} C (1 - a/a_0)$$

Donde:

S= Fósforo sorbido en un tiempo dado, expresado en gP/g de suelo

V= Volumen de la solución fosfórica inicial (ml)

C= Concentración de P en la solución inicial ( $\mu\text{gP/ml}$ )

M= Masa de suelo (g)

a= Número de impulsos de la muestra/100 segundos

$a_0$ = Número de impulsos de la muestra patrón/100 segundos

Se determinó además el coeficiente de correlación entre la S y el inverso del tiempo de equilibrio, según Ryden y Syers (1975) y Ryden, McHaughlin y Syers (1977) para la misma sorción de los iones fosfatos, a cada tipo de suelo.

##### Resultados

En la figura 1 se presenta la cinética de sorción de los suelos, donde se puede apreciar en ambas curvas dos fases bien definidas, una de rápida sorción y otra lenta o estable. Además, es muy notorio que el suelo Ferralítico Rojo hidratado presenta una mayor sorción comparada con el suelo Ferralítico Cuarcítico amarillo lixiviado.

En la figura 2 se observa la extrapolación de la línea recta con coeficientes de correlación altamente significativos y negativos entre la sorción de fósforo y el inverso del tiempo de agitación, dando como resultado

una sorción de 1 120 y 300  $\mu\text{gP/g}$  de suelo para el Ferralítico Rojo y Ferralítico Cuarcítico respectivamente, por lo que este primer suelo sorbe 820 veces más P que el segundo.

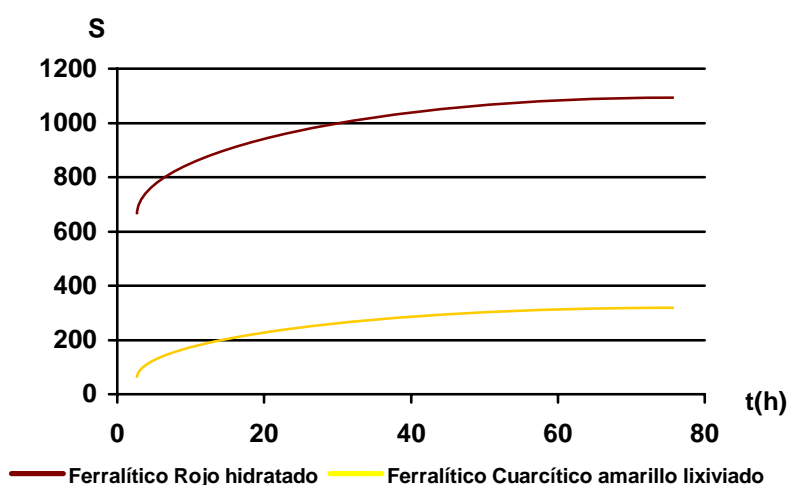


Fig. 1 Cinética de sorción en los suelos Ferralítico Rojo hidratado y Ferralítico Cuarcítico amarillo lixiviado ( $\mu\text{gP/ml}$ ).

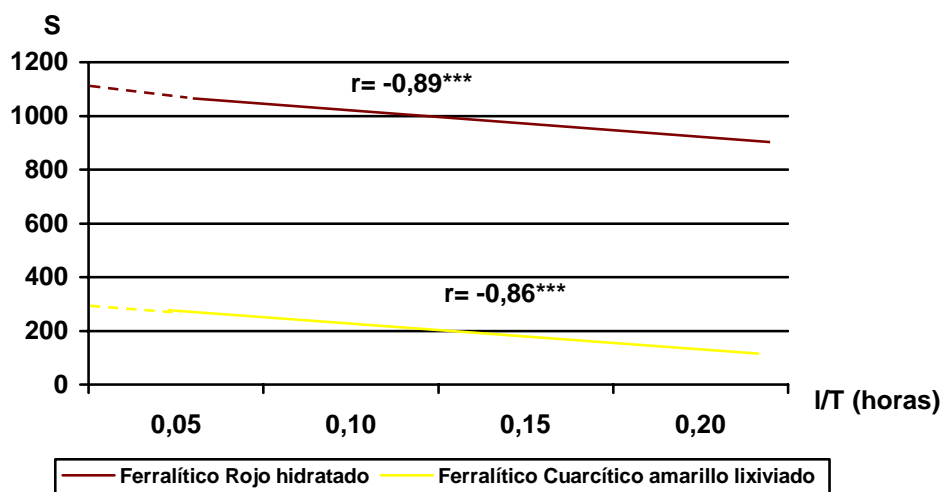


Fig. 2. Sorción máxima de P ( $\mu\text{g/g}$ ) de dos suelos.

## Sección B

### Status nutritivo de suelos y su relación con la eficiencia de utilización del fósforo

#### Materiales y métodos

**Tratamientos:** Se efectuaron dos experimentos por separado para determinar el status nutritivo de los suelos anteriormente estudiados mediante la técnica de omisión de nutrientes, según Chaminade (1970) y Crack (1971), en un diseño de bloques al azar y tres repeticiones realetorizándose las macetas periódicamente. Los tratamientos se expresan en la tabla 3.

**Procedimiento:** Se utilizó para estos dos estudios el rhodes común (*Chloris gayana* Kunth.) como planta indicadora, según las recomendaciones de la CSIRO (1972). Se efectuaron tres cortes, cuando más del 75% de las plantas alcanzaron la fenofase de inicio de floración, para determinar el rendimiento de MS (g/maceta) y el por ciento de N, P, K, Ca y Mg.

Las fuentes y niveles de los nutrimentos aplicados se expresan en la tabla 4.

Tabla 3. Tratamientos empleados.

O	Control absoluto
T	Todos los nutrimentos aplicados (N, P, K, Ca, Mg, Mn, Cu, Zn, B y Mo)
N	Todos los nutrimentos aplicados menos N
P	Todos los nutrimentos aplicados menos P
K	Todos los nutrimentos aplicados menos K
Ca	Todos los nutrimentos aplicados menos Ca
Mg	Todos los nutrimentos aplicados menos Mg y microelementos

Tabla 4. Fuentes y niveles de los nutrimentos aplicados al suelo.

Elemento	Fuente	Dosis
N	NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	120 kg N/ha
P	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	90 kg P/ha
K	KCl	120 kg K/ha
Ca	CaCO <sub>3</sub>	880,97 kg Ca/ha
Mg	MgSO <sub>4</sub> •10H <sub>2</sub> O	70,76 kg Mg/ha
Mn	MnSO <sub>4</sub> •H <sub>2</sub> O	11 kg Mn/ha
Cu	CuSO <sub>4</sub> •5H <sub>2</sub> O	1,87 kg Cu/ha
Zn	ZnSO <sub>4</sub> •7H <sub>2</sub> O	1,86 kg Zn/ha
B	NaB <sub>4</sub> O <sub>7</sub> •10H <sub>2</sub> O	0,69 kg B/ha
Mo	Na <sub>2</sub> MoO <sub>4</sub> •2H <sub>2</sub> O	1,14 kg Mo/ha

Los demás aspectos relacionados con el método experimental aparecen descritos en el capítulo 2.

## Resultados

### Suelo Ferralítico Rojo hidratado

Como se puede observar en la figura 3, en la acumulación de MS (g/maceta) expresada como rendimiento relativo (%) con respecto al tratamiento que recibió todos los nutrimentos, no hubo diferencias para ningún nivel de significación entre los diferentes tratamientos empleados, por lo que ningún nutrimento resultó ser limitante para la producción de MS.

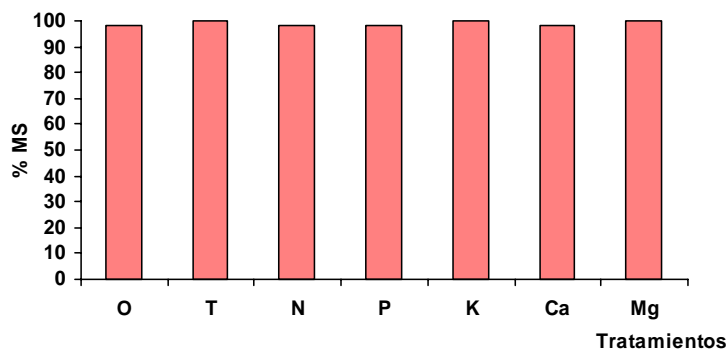


Fig. 3. Efecto de la omisión de nutrientes sobre el rendimiento de MS. Suelo Ferralítico Rojo hidratado

En la tabla 5 se expresa la composición química del rhodes común, según los tratamientos empleados.

En cuanto a los tenores de N no hubo diferencias para ningún nivel de significación, aunque se presentó una tendencia de aumentar con la omisión de P, mientras que disminuyó con la sustracción de K.

Con respecto al contenido de P, hubo diferencias significativas ( $P < 0,001$ ) entre los tratamientos, disminuyendo cuando se omitió este elemento al suelo. Con la omisión de N, esta aumentó significativamente. En general, el contenido de P en el pasto alcanzó valores aceptables para el crecimiento de las plantas.

El Ca y el Mg en planta no mostraron diferencias significativas aunque es notoria la tendencia a disminuir el primero cuando no se aplicó N.

La relación N/P tuvo diferencias significativas entre tratamientos ( $P < 0,01$ ), aunque en el tratamiento menos P, su incremento cuantitativamente no fue muy grande con respecto al control que recibió todos los nutrimentos.

Tabla 5. Efecto de la omisión de los nutrientes al suelo sobre la composición química del pasto (%).

Tratamiento	N	P	K	Ca	Mg	N/P
O	1,22	0,13 <sup>c</sup>	1,48	1,04	0,53	10,43 <sup>a</sup>
T	1,04	0,16 <sup>cb</sup>	1,61	1,04	0,41	6,50 <sup>b</sup>
N	1,06	0,22 <sup>a</sup>	1,69	0,95	0,45	4,81 <sup>b</sup>
P	1,15	0,13 <sup>c</sup>	1,62	1,04	0,60	8,93 <sup>ab</sup>
K	0,98	0,20 <sup>ab</sup>	1,41	1,06	0,51	4,97 <sup>b</sup>
Ca	1,01	0,19 <sup>a<sup>b</sup></sup>	1,64	0,89	0,58	5,54 <sup>b</sup>
Mg	0,95	0,16 <sup>ab</sup>	1,50	0,86	0,60	6,15 <sup>b</sup>
ES X ±	0,06	0,01 <sup>***</sup>	0,06	0,06	0,06	1,01

<sup>a,b,c</sup> Medias en la misma columna con superíndices no comunes difieren a P<0,05 (Duncan, 1955)

\*\* P<0,01 \*\*\* P<0,001

### Suelo Ferralítico Cuarcítico amarillo lixiviado

En cuanto el rendimiento de MS en g por planta por tratamiento, expresado por el índice de rendimiento acumulado en la ordenada y en la abscisa el rendimiento acumulado del tratamiento completo según Schenkell (1970), nos indica que el P y el N fueron elementos minerales que más limitaron el rendimiento de MS del pasto, en un 75% y 13% respectivamente y el Ca, K y Mg al parecer serán limitantes en el futuro (fig. 4)

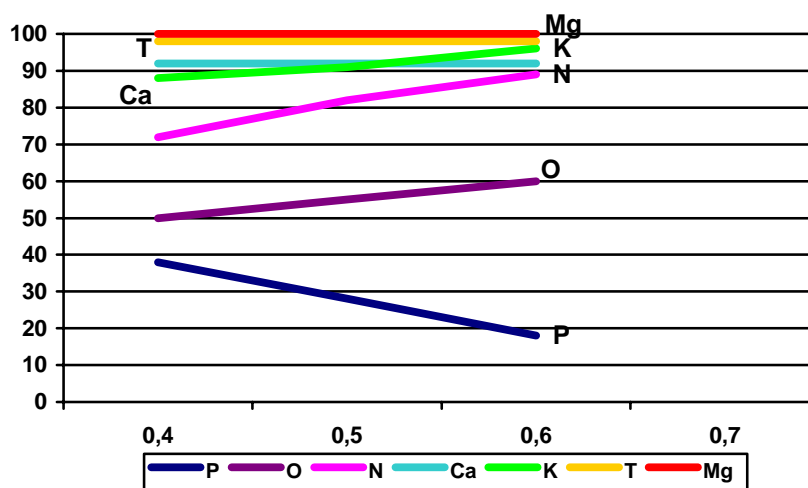


Fig. 4. Efecto de la emisión de nutrientes sobre el rendimiento de MS. Suelo Ferralítico Cuarcítico amarillo lixiviado.

La composición química del pasto se puede apreciar en la tabla 6.

Tabla 6. Efecto de la omisión de nutrientes al suelo sobre la composición química del pasto (%).

Tratamiento	N	P	K	Ca	Mg	N/P
O	2,07 <sup>cd</sup>	0,083 <sup>cd</sup>	1,58 <sup>e</sup>	0,674 <sup>a</sup>	0,679 <sup>b</sup>	24,94 <sup>b</sup>
T	2,71 <sup>ab</sup>	0,136 <sup>abc</sup>	2,23 <sup>abc</sup>	0,621 <sup>ab</sup>	0,923 <sup>b</sup>	19,93 <sup>c</sup>
N	2,11 <sup>d</sup>	0,146 <sup>abc</sup>	2,01 <sup>abc</sup>	0,600 <sup>ab</sup>	1,150 <sup>ab</sup>	14,45 <sup>cd</sup>
P	2,49 <sup>abc</sup>	0,071 <sup>d</sup>	2,10 <sup>abc</sup>	0,582 <sup>ab</sup>	0,913 <sup>b</sup>	35,07 <sup>a</sup>
K	2,66 <sup>ab</sup>	0,150 <sup>ab</sup>	1,74 <sup>de</sup>	0,652 <sup>ab</sup>	1,056 <sup>ab</sup>	17,73 <sup>c</sup>
Ca	2,50 <sup>ab</sup>	0,133 <sup>abc</sup>	2,20 <sup>abc</sup>	0,522 <sup>bc</sup>	0,942 <sup>b</sup>	18,80 <sup>c</sup>
Mg	2,17 <sup>cd</sup>	0,139 <sup>ab</sup>	2,18 <sup>abc</sup>	0,543 <sup>abc</sup>	0,841 <sup>b</sup>	15,61 <sup>c</sup>
ES X ±	0,13 <sup>*</sup>	0,010 <sup>*</sup>	0,13 <sup>**</sup>	0,050 <sup>*</sup>	1,220 <sup>*</sup>	1,89 <sup>*</sup>

<sup>a,b,c,d,e</sup> Medias en la misma columna con superíndices no comunes difieren a P<0,05 (Duncan, 1955)

\* P<0,05 \*\* P<0,01

El menor contenido de N (%) le correspondió a los tratamientos O y N con valores de 2,07 y 2,11 respectivamente, y cuando el suelo recibió todos los nutrientes alcanzó el mayor valor. Las diferencias entre tratamientos fueron significativas a P<0,05.

En cuanto al contenido de P en el pasto hubo diferencias significativas ( $P < 0,01$ ) y no sobrepasó el límite de 0,14%, y con la omisión de dicho nutriente al suelo esto resultó extremadamente bajo (0,071%), muy similar al control.

Los tenores de K en planta mostraron diferencias significativas entre tratamientos ( $P < 0,01$ ); se destacan los contenidos más bajos en el control y la omisión de este en el suelo.

Con respecto al Ca y Mg hubo diferencias significativas entre tratamientos ( $P < 0,01$ ); se que los valores más bajos correspondieron cuando al suelo no se le suministró P y Ca, mientras que el contenido de Mg fue menor en el tratamiento control y aumentó cuando se le omitió N y K.

La relación N/P fue alta con la omisión absoluta de nutrientes al suelo (24,94), superior cuando se le omitió solamente al suelo P (35,07), difiriendo ambos significativamente a  $P < 0,01$  del resto de los tratamientos.

En la tabla 7 se puede expresar la eficiencia de utilización del P (EUP) expresada en g de MS producida por mg de P aplicado por kg de suelo, para ambos tipos de suelos. En el suelo Ferralítico Cuarcítico amarillo lixiviado, la aplicación de P aumentó este parámetro considerablemente, siguiéndole en orden el N y por último el Ca.

Tabla 7. Efecto de la omisión de nutrientes en los suelos sobre la eficiencia de utilización del P.

Tratamientos	FRH	FCAL
N	5,56	11,78
P	5,56	68,38
K	8,89	0,67
Ca	5,56	8,33
Mg	-	-

FRH Suelo Ferralítico Rojo hidratado

FCAL Suelo Ferralítico Cuarcítico amarillo lixiviado

En el suelo rojo, se observó la necesidad de aplicar K para elevar la EUP, aunque no es una gran cuantía, mientras que el resto de los nutrientes contribuyó por igual a este parámetro. En sentido general, la eficiencia de utilización de P fue muy baja, coincidiendo con el de mayor sorción y menor relación de N/P del pasto, contrario a lo encontrado en el suelo Ferralítico Cuarcítico amarillo lixiviado.

### Discusión

La cinética de sorción en ambos tipos de suelos se caracterizó por un rápido proceso inicial de quimisorción o sorción específica, seguido por una reacción de intercambio lento y prolongado, típico de una discusión intraparticular-precipitación.

Resultados similares han sido obtenidos por Barrow (1967) cuando estudiaba las relaciones entre la toma de P por las plantas y algunas características del suelo; también González-Abreu y Savich (1967) alcanzaron esas mismas fases cuando estudiaban la fortaleza de sorción de los iones fosfatos en un suelo húmico carbonatado, y Pino, Urbina, Luzioli y Casas (1983) en un suelo derivado de cenizas volcánicas.

Aunque estos dos suelos pertenecen al mismo agrupamiento pedogenético, tienen diferencias bien marcadas en cuanto a la sorción de los fosfatos, que repercutieron en la eficiencia de utilización de este elemento por los pastos.

Estas diferencias en cuanto a la sorción de los fosfatos pudieran estar fundamentadas a los elementos del complejo absorbente del suelo, y en particular a las formas activas del Fe, Al y Mn en los suelos ácidos, según las consideraciones de Perkins, Dean y Bhango (1957), Kuo y Lotse (1974), Jackson (1967), Ohki (1975) y Preston y Fox (1977).

Anon (1979) plantea que los suelos Ferralíticos Rojos poseen un alto contenido de óxidos e hidróxidos de Fe y Al, así como una elevada cantidad de arcillas caolínicas; mientras que en los suelos Ferralíticos Cuarcíticos amarillos, los contenidos en estos elementos son menores y presentan una estructura menos arcillosa, lo que pudiera sustentar nuestros resultados, independientemente de que el pH de este segundo suelo es ligeramente un poco menor.

Otro factor que pudo haber contribuido a que la cinética de sorción se manifestara de esta forma es el contenido de materia orgánica, donde en el suelo rojo es muy superior; esta se considera como una fuente de acidez de los suelos, debido a que las moléculas del tipo humus presentan en su periferia grupos fenólicos y carboxílicos, que al disociarse se convierten en fuentes de protones, según las consideraciones de Bornemissza (1965). También Harter (1969) demostró que la materia orgánica incrementó significativamente la sorción de los iones fosfatos debido a una reacción de intercambio de aniones en los sitios activos debido a una reacción de intercambio de aniones en los sitios activos de la materia orgánica, y Fassbender (1969) encontró una

correlación significativa entre esta y la fijación del P; sin embargo, Brown y Loewenstein (1978) hallaron una correlación muy baja entre la sorción y el contenido orgánico del suelo, debido a la gran reactividad del Al, que ocupó los sitios activos de esta y no por los iones fosfatos.

En general esta dualidad de la materia orgánica ha sido reseñada por López-Hernández (1977), la cual puede fijar fosfatos a través del complejo orgánico-metálico o también puede bloquear los sitios activos de la adsorción (Nagarajah, Posner y Quirk, 1968). No obstante, conviene añadir que aunque existan pocos estudios en este sentido es bien conocido el papel benéfico que ejerce la materia orgánica sobre el status de P disponible en el suelo.

Independientemente la influencia que pudiera haber ejercido la materia orgánica sobre la sorción de los fosfatos, esta influyó notoriamente en los resultados del rendimiento, ya que el rendimiento real y potencial de MS fue mayor en el suelo Ferralítico Rojo hidratado.

En el suelo anteriormente citado no hubo diferencias significativas entre los tratamientos para la producción de MS, y por lo tanto la eficiencia de utilización del P fue casi nula ante la omisión de los nutrimentos, aspecto muy diferente a lo hallado en el suelo Ferralítico Cuarácico amarillo lixiviado.

En el suelo rojo, la no respuesta a la omisión de P pudiera haber estado influenciada por la alta sorción que presenta el mismo a los iones fosfatos, o al contenido de este, que aparecen haber sido lo suficientemente altos como para provocar la ausencia de respuesta de la planta indicadora. Numerosos autores han informado que los rendimientos de MS no se ven afectados en determinadas situaciones edafológicas con las aplicaciones de P (Castle y Holmes, 1960; Reith e Inkson, 1961; Ferrer, Ramos y Carreras, 1964), por lo que parece que la eficiencia de utilización del mismo se también afectada por la concentración de P disponible del suelo, que aunque por el método de Oniani (1974) este suelo se considera con un abastecimiento bajo de P, parece ser adecuado para el cultivo de los pastos. En este mismo tipo de suelo, Ruiz y Ayala (1978) no encontraron respuesta a la *Glycine wightii* cuando la fertilizaban bajo condiciones controladas con dosis crecientes de P. Asimismo, Hernández y Cárdenas (1983) tampoco obtuvieron respuesta en *Cynodon dactylon* cv. Coastcross-1 cuando la fertilizaban desde 0 hasta 200 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha, y en la hierba guinea (*Panicum maximum*) tampoco encontraron respuesta ni a la dosis y ni a momentos de aplicación (Hernández y Cárdenas, 1984); los suelos tenían 2,26 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g de suelo. Sin embargo, Crespo (1977) informó que en este tipo de suelo no se ha de esperar respuesta cuando el contenido de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> no sobrepasó el límite de 3,5 mg/100 g por el método de Bray-Kurtz.

En el suelo Ferralítico Cuarácico amarillo lixiviado, hubo una reducción del rendimiento de un 75% debido a la omisión del P, ya que el contenido de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> asimilable en dicho suelo parece que no es suficiente para el buen desarrollo del pasto, y sin embargo hubo una gran eficiencia de utilización de este nutrimento (68,38).

Resultados similares han sido descritos por Burton, Wilkinson y Carter (1969), quienes informaron una reducción del 45% del rendimiento de MS en *Cynodon dactylon*, en un suelo de bajo contenido, y por Figarella, Vicente-Chandler, Silva y Caro-Costas (1964) cuando aplicaron fósforo en dos suelos deficientes del mismo. Falade (1975), estudiando la respuesta de cinco gramíneas tropicales, obtuvo un incremento de un 17,5% de MS con aplicaciones de 20 mg de P/maceta, evidenciándose la necesidad de aplicar P en estos tipos de suelos.

Adepetu, Adepoju y Adegbola (1982) encontraron la aplicación de 75 kg P/ha incrementó significativamente el rendimiento de MS en suelos con un contenido menor de 20 g/g de suelo.

Por otra parte, Paretas, González y Juan (1985) plantearon que para los suelos arenosos con 2,5 ppm de P, se halló respuesta en bermuda de costa a la fertilización nitrogenada cuando esta no era acompañada con base fosfórica, y concluyeron que para aumentar la eficiencia de utilización del N era necesaria de P, además de reducir los costos de forrajes y de aumentar el contenido de P foliar.

Con respecto al contenido de P en las plantas, en el suelo Ferralítico Cuarácico no sobrepasó el límite de 0,14%, por lo que se hace difícil el cultivo de gramíneas medianamente exigentes, así como de las que exigen más P, según los resultados de Andrew y Robins (1971), y más aun en el tratamiento control que fue de 0,083% por lo que corrobora además la necesidad de aplicar fertilizantes fosfóricos a este tipo de suelo y poder mantener un crecimiento adecuado de los pastos, que en estas condiciones fue raquítico, con un número reducido de hijos, además de presentar algunas coloraciones típicas de deficiencia de P, según lo comunicado por Smith (1975).

En el suelo Ferralítico Rojo, los tenores de P fueron mayores, lo que demuestra lo planteado anteriormente, aunque estas podían haber sido un poco mayores según los resultados de Hernández y Cárdenas (1983, 1984), donde los contenidos de P en los pastos evaluados estuvieron dentro de los niveles críticos citados en la literatura pudiendo haber influido algunas deficiencias en las técnicas analíticas, además, la especie *Chloris gayana* utilizada en estos experimentos no mostró síntomas de deficiencias.

Todos los resultados argumentan que en este tipo de suelo con bajo contenido de P asimilable y bajo sorción se requiere fertilizar con una dosis adecuada para de esta forma aumentar los rendimientos de los pastos.



No obstante, la importancia de garantizar que un nutrimento en estudio sea el factor limitante en la producción de pastos, no debe ser sobrenfatizado, puesto que muchas veces en forma simultánea otros nutrimentos pueden limitar dicha productividad. Bajo estas circunstancias, la interacción de nutrimentos y la identificación de los elementos claves constituyen aspectos de importancia para el diagnóstico de los requerimientos nutricionales y para la eficiencia de utilización del elemento en estudio.

Por eso, al estudiar la omisión de los elementos principales, se vio que en el tratamiento menos N, en el suelo Ferralítico Cuarcítico, el rendimiento de MS se redujo en un 13%, por lo que se deriva de esto la importancia que tiene el mismo en la producción de pastos con una composición química aceptable para la masa ganadera; resultados similares han sido obtenidos por Halse, Greenwood, Lapins y Boundy (1969), Prine y Burton (1966) y Retray (1972) entre otros autores. Sin embargo, en el suelo rojo el N no fue un factor limitante; Wellner y Castillo (1968) y Ramos, Herrera y Curbelo (1982) recomiendan aplicar N para incrementar los rendimientos de MS, y más cuando se fracciona para equilibrar el balance estacional, según Crespo (1981), teniendo en cuenta además que los pastizales en explotación hacen grandes extracciones de este elemento, por lo que ambos suelos deben ser fertilizados y sobre todo el arenoso, donde las pérdidas por volatilización alcanzan valores de hasta un 13% según Passer (1964).

Con respecto a la eficiencia de utilización del P, Ávila (1978), en un suelo Pardo Grisáceo, concluyó que en ausencia de N los rendimientos no se vieron afectados por aplicaciones de P, pero cuando aplicó 200 kg de N/ha/año y 90 kg de  $P_2O_5$ /ha/año, estos se incrementaron con relación al tratamiento que recibió N en ausencia de P, aumentando de esta forma la utilización del P, y a la vez un uso efectivo y económico del N.

En cuanto a los tenores de N en el pasto, se encuentran en ambos suelos dentro de los límites normales del cultivo según lo informado por Crespo, Aspiolea y López (1979). Se puede notar que en el suelo Ferralítico Cuarcítico los tenores fueron mayores, a pesar de que el suelo rojo tuvo un mayor contenido de materia orgánica, pudiendo deberse a que el pasto cultivado en estas condiciones hizo una mayor dilución de la fracción nitrogenada por el aumento del rendimiento de MS, según los resultados de Chesney (1972). Las pequeñas variaciones de este elemento en los diferentes tratamientos utilizados pudieran deberse a la necesidad que tienen las plantas de conservar un adecuado balance iónico.

La relación N/P ha sido reseñada por Remolón (1975) y Mesa y Figueroa (1979) para predecir limitación del P disponible en el suelo para el normal crecimiento y desarrollo de los pastos, cuando alcanzan valores superiores y significativos con respecto al control, por lo que de acuerdo con nuestros resultados el suelo Ferralítico Cuarcítico tiene una severa deficiencia del mismo, y a la vez, es el que hace una mayor utilización del P aplicado; no ocurre así en el suelo rojo, pues aunque hay diferencias entre tratamientos ( $P < 0,01$ ) las variaciones entre el control y donde se le emitió P son discretas, además de que el contenido de P (%) en el pasto fue mayor con un menor contenido de N.

Por todo lo anteriormente explicado, la relación N/P del pasto nos pudiera sugerir hasta qué medida el P puede ser utilizado eficientemente por las plantas.

Con respecto a la omisión de K, en el suelo Ferralítico Rojo esto no limitó el rendimiento de MS, y por ende la eficiencia de utilización del P por el pasto; mientras que el suelo Ferralítico Cuarcítico, aunque no fue muy marcada hubo una pequeña disminución, relacionada con el contenido inicial en el suelo. Este elemento por sí solo incrementa poco la producción de pastos, y es más notable su efecto cuando se aplican cantidades elevadas y frecuentes de N en los sistemas de producción forrajera. Paretas, Aspiolea, Ávila, Crespo, González, López y Hernández (1983) plantean que en un suelo Ferralítico Rojo no obtuvieron respuesta de la hierba guinea con 300 kg de N/ha/año, mientras que cuando aplicaron 300 y 600 kg de N/ha/año lograron un incremento de 12,9 y 20,2 t de MS/ha/año respectivamente. En un suelo pardo con un contenido de 14 mg K/100 g de suelo, se incrementó ligeramente el rendimiento del pasto pangola (*Digitaria decumbens*) (1 t de MS/ha/año) con una dosis de 279 kg/ha/año.

También informan estos autores que la eficiencia de utilización del P se vio poco afectada cuando estudiaron la influencia de la fertilización PK en la bermuda cruzada-1 en un suelo húmico calcimórfico con un contenido de 14 mg de K/100 g de suelo, durante 2 años consecutivos; sin embargo, se hizo evidente en el tercer año, en el cual la dosis de 50 y 100 kg de P y K/ha respectivamente, produjo un incremento de 16,4 t MS/ha con respecto al control absoluto.

Anon (1981) efectuó un ensayo de tres gramíneas forrajeras (*Andropogon gayanus*, *Brachiaria decumbens* y *B. humidicola*) para evaluar diferentes niveles de PK, donde encontraron una marcada interacción entre los dos elementos en las tres gramíneas; se evidenció que en la medida que se incrementaron las dosis de K, todas las especies aumentaron sus rendimientos de MS y acentuaron sus respuestas al P, al igual que la eficiencia de utilización del fósforo.

En cuanto al contenido de K en el pasto, en ambos suelos fue satisfactorio y no mostró un consumo de lujo, según lo informado por Sallete (1970); se evidenció además que cuando se omitía este elemento en los suelos, su contenido disminuía con respecto al tratamiento que recibió todos los nutrimentos, debido a que la disponibilidad de K disminuyó. Resultados similares han sido obtenidos por Whitelead (1966) y Aspiolea,

Arteaga y Mojena (1978); sin embargo, cuando se le omitió el P en ambos suelos el por ciento de K en planta no se vio afectado, aspecto que pudiera relacionarse con lo planteado anteriormente.

Con respecto al Ca, a pesar de no haber diferencias significativas entre tratamientos para el rendimiento de MS, su omisión en los suelos disminuyó el por ciento de P en las plantas con respecto al tratamiento que recibieron todos los nutrimentos, incluyendo a dicho elemento, debido quizás a que el Ca incrementa la disponibilidad de fosfatos a las plantas por un decrecimiento en la formación de P-Al y P-Fe y un incremento en la liberación de P-orgánico, según Rusell (1950) y Black (1957), de esta forma aumenta la toma de P por los cultivos y disminuye la fijación en el suelo, según Lotero (1966). Los valores de P alcanzados bajo estas circunstancias por el pasto en el suelo Ferralítico Rojo, son adecuados aun para especies de pastos con cierta exigencia al P, y en el suelo Ferralítico Cuarácítico fueron más bajos (0,13%) debido a lo planteado anteriormente; no obstante, de acuerdo con nuestros resultados habría que estudiar con más profundidad la conveniencia de aplicar Ca para aumentar el aprovechamiento del P por los pastos.

Además, los tenores de Ca estuvieron dentro del rango para este elemento para las gramíneas tropicales según Funes y Gómez (1971), cuando estudiaron las variaciones estacionales del calcio y fósforo en gramíneas y leguminosas tropicales, lo que evidenció una vez más lo planteado anteriormente con respecto a la aplicación de Ca en estos dos suelos.

Con respecto al Mg, cuando se omitió no se apreció en ninguno de los dos suelos afectación en el rendimiento de MS, ni en la eficiencia de utilización de P.

Se puede concluir que en el suelo Ferralítico Rojo hidratado ningún elemento nutritivo resultó limitante para el rendimiento de MS y, por tanto, tampoco afectó la utilización del P en una forma más eficiente; no obstante, bajo las condiciones del trópico, es necesario hacer aplicaciones de N y K en los sistemas intensivos de producción forrajera, mientras que en el suelo Ferralítico Cuarácítico amarillo lixiviado el P fue el primer elemento que redujo significativamente el rendimiento de MS, y la eficiencia de utilización de este elemento se vio afectada por la no aplicación de N, P y K en menor cuantía.

#### Capítulo 4. Eficiencia de utilización del fósforo en cultivares de *Panicum maximum* Jacq.

La variación intraespecífica, o el requerimiento interno de fósforo que tiene cada especie y/o variedad es un pasto importante a considerar; esta especificidad genética puede estar condicionada por factores morfológicos, fisiológicos y bioquímicos, según Klismashevsky (1974).

Este nutrimento interviene en numerosos procesos fisiológicos, por lo que para la obtención de buenas cosechas es necesario que las plantas tengan una adecuada concentración de fósforo disponible en la solución del suelo, sin embargo, como ya hemos apuntado, los suelos dedicados al cultivo de los pastos son generalmente limitante en este elemento para el normal crecimiento y desarrollo.

También es conocido que este fertilizante incrementa sus precios considerablemente en el mercado internacional, lo que nos precisa, ante esta problemática a seleccionar especies de pastos o variedades con bajos requerimientos de P y un mínimo rendimiento de MS por área, y a la vez, una a alta eficiencia de utilización del P.

En el complejo agámico de la especie *Panicum maximum*, existen un gran número de variedades o cultivares comerciales, con un alto rendimiento de forraje y de elevado valor biológico, por lo que se hace necesario definir los requerimientos de P en sus principales cultivares.

El objetivo del presente capítulo es exponer y discutir los resultados encontrados en cuatro cultivares de esta especie: Likoni, Makueni, Común de Australia y Uganda, donde se estudió los requerimientos internos de P, así como la eficiencia de utilización del P en cada uno de estos cultivares.

#### Materiales y métodos

**Tratamiento y diseño.** Se utilizó un diseño de bloques al azar con arreglo factorial y cuatro repeticiones. Los cultivares fueron: Likoni, Makueni, Común de Australia y Uganda. Los tratamientos consistieron en la aplicación de niveles de 0, 100, 250, 350, 450, 550, 650 y 750 kg de P/ha en forma de  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  p.a. Los niveles críticos fueron determinados por el método discontinuo de dos medias propuesto por Cate-Nelson (1965), el cual se basa en una regresión lineal discontinua del tipo  $Y = b_0 + b_1X$ , donde  $X=0$  si está por debajo del nivel crítico y  $X=1$  si está por encima, seleccionándose el punto como nivel crítico en el eje X, el que aporta mayor coeficiente de determinación ( $R^2$ ).

**Procedimiento.** El experimento se desarrolló en condiciones controladas en casa de cristal, utilizándose un suelo Ferralítico Cuarcítico amarillo lixiviado, cuyas características químicas aparecen descritas en el capítulo 2. El suelo después de secado al aire y pasado por un tamiz de 0,6 cm, se tomaron 6 kg por maceta. Las fuentes y niveles del fondo fijo de macro y microelementos se expresan en la tabla 8.

Tabla 8. Fuentes y niveles aplicados al suelo como fondo fijo.

Elemento	Fuente	Niveles
N	$\text{NH}_4\text{NO}_3$	120 kg N/ha (+)
K	KCl	150 kg K/ha
Ca	$\text{CaCO}_3$	500 kg Ca/ha
Mg	$\text{MgSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	10 kg Mg/ha
Mn	$\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	3 kg Mn/ha
Cu	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	3 kg Cu/ha
Zn	$\text{ZnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$	8 kg Zn/ha
B	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	8 kg B/ha
Mo	$\text{Na}_2\text{O}_4\text{Mo} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	1,1 kg Mo/ha

Se efectuaron dos cortes en la fenofase de inicio de floración y en cada una se determinó el rendimiento de MS (g/maceta) y el por ciento de P, y al final del experimento, se midió el peso seco del sistema radical.

#### Resultados

##### Rendimiento de MS (g/maceta)

Se observó un interacción altamente significativa ( $P < 0,001$ ) entre los cultivares de *Panicum maximum* y los niveles de aplicación del P al suelo, tanto en el primer corte como en el segundo y en el acumulado total (fig. 5).

En el primer corte, los cvs. Likoni, Común de Australia y Uganda no difirieron significativamente entre tratamientos a partir de los 250 kg de P/ha aplicados al suelo, mientras que el cv. Makueni fue a partir de los 100 kg de P/ha.

La marcada respuesta con respecto al control y los niveles anteriormente citados de cada cultivar fue evidente y se lograron incrementos de 27,4; 24,53; 25,90 y 34,93 g/maceta para los cultivares Likoni, Makueni, Común de Australia y Uganda respectivamente.

En el segundo corte los cultivares Likoni, Makueni y Común de Australia mostraron diferencias significativas ( $P < 0,001$ ) con el control cuando se aplicó 100 kg de P/ha al suelo y no difirieron del resto de los tratamientos empleados. El cv. Uganda mostró el mismo patrón que en el primer corte, o sea, que a partir de los 250 kg de P/ha no hubo diferencias significativas entre los tratamientos.

En esta segunda cosecha se mantuvo una buena respuesta con respecto al control en cada cultivar, pues se obtuvieron incrementos de 10,32; 14,15 y 10,92 g/maceta para la Likoni, Común de Australia y Uganda respectivamente. El cultivar Makueni mostró un incremento insignificativo (3,82 g/maceta).

Todos los pastos redujeron el rendimiento de MS con respecto al primer corte en 10,04; 8,21; 6,87 y 15,24 g/maceta para los cvs. Likoni, Makueni, Común de Australia y Uganda respectivamente, donde se puede apreciar que este último fue el más afectado; sin embargo, cuando se analiza el tratamiento control de esta cosecha con el control del primer corte, hubo un incremento de 5,57; 9,88; 1,23 y 8,11 g/maceta, para los cultivares anteriormente citados.

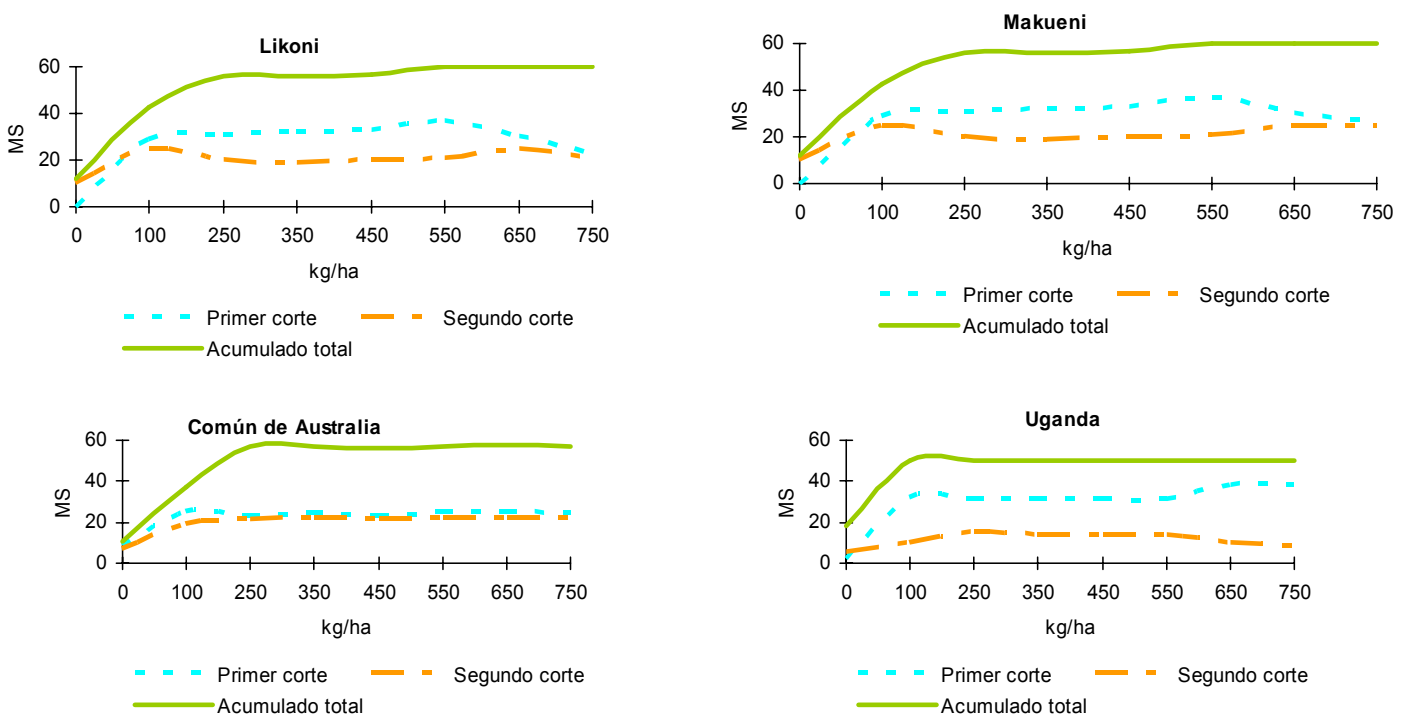


Fig. 5. Efecto del P sobre le rendimiento de MS (g/macolla).

Con respecto al acumulado total de MS, se obtuvo una respuesta similar a la del segundo corte.

Se puede notar, en sentido general, que cada cultivar de esta especie respondió indistintamente a la fertilización fosfórica.

### Producción de raíz (g/maceta)

Se obtuvo una regresión lineal altamente significativa ( $P < 0,001$ ) entre la producción de raíz en base seca y los niveles de P aplicados al suelo, con  $r$  de 0,84; 0,61, 0,72 y 0,60 para los cvs. Likoni, Makueni, Común de Australia y Uganda respectivamente (fig. 6); destacó este último por una mayor producción de raíz, y no se evidenciaron marcadas diferencias entre la Likoni y la Común de Australia. El cv. Makueni presentó la menor producción de raíz.

### Contenido de P (%)

El contenido de P en los pastos mostró una interacción altamente significativa ( $P < 0,001$ ) entre estos y los diferentes tratamientos empleados, tanto en el primer corte como en el segundo y en el promedio total (tablas 9, 10 y 11).

Se pudo observar que cada uno de los cultivares objeto de estudio incrementó el contenido de P, a medida que aumentaba el fósforo aplicado al suelo en ambos cortes.

En el primer corte la Likoni difirió significativamente con respecto al control ( $P < 0,001$ ) hasta los 250 kg de P/ha la Makueni y la Uganda hasta los 350 kg de P/ha; mientras que en la segunda cosecha la Likoni y la Makueni difirieron hasta los 250 kg de P/ha, la Uganda hasta los 550 kg P/ha y la Común de Australia hasta los 650 kg P/ha, donde alcanzan los mayores tenores de P significativamente.

En el segundo corte se apreció un decrecimiento en el contenido de este nutrimento en 0,028; 0,051 y 0,010 unidades porcentuales en los cvs. Likoni, Makueni y Uganda respectivamente; sin embargo, en la Común de Australia hubo un ligero incremento de 0,035% debido a un aumento de este elemento en los dos últimos tratamientos. Además, es de notarse que en este corte en el tratamiento control hubo un aumento de este contenido en 0,022; 0,02% en los cvs. Likoni y Makueni, en la Uganda no hubo variaciones, mientras que en la Común de Australia hubo un incremento de 0,011%. No obstante, tanto en la primera cosecha como en la segunda, en el control los tenores de P no sobrepasaron el límite de 0,13%.

Analizando el promedio de ambos cortes, se observa que la Likoni y la Uganda no difieren entre tratamientos significativamente a partir de los 350 kg de P/ha, al igual que la Makueni, mientras que la Común de Australia a los 650 kg de P/ha.

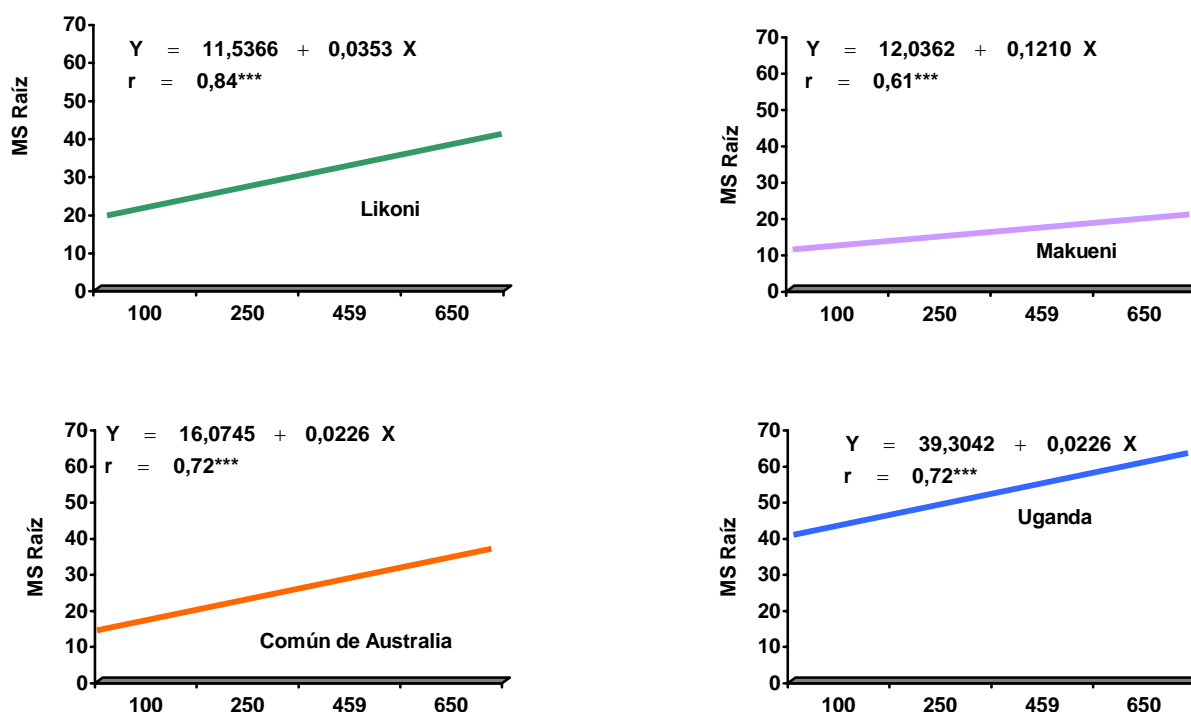


Fig. 6. Efecto del P sobre el rendimiento de raíz (g/maceta).

Tabla 9. Efecto del P sobre el contenido de P (%) en *Panicum maximum* (primer corte).

Tratamientos	Likoni	Makueni	Común de Australia	Uganda	%	ES X
0	0,087 <sup>l</sup>	0,133 <sup>hi</sup>	0,135 <sup>hi</sup>	0,110 <sup>hi</sup>	0,116	
100	0,150 <sup>h</sup>	0,136 <sup>hi</sup>	0,140 <sup>h</sup>	0,148 <sup>h</sup>	0,146	
250	0,258 <sup>def</sup>	0,211 <sup>fg</sup>	0,200 <sup>g</sup>	0,222 <sup>fg</sup>	0,223	
350	0,256 <sup>def</sup>	0,320 <sup>abc</sup>	0,226 <sup>fg</sup>	0,288 <sup>cde</sup>	0,272	
450	0,285 <sup>cde</sup>	0,340 <sup>ab</sup>	0,347 <sup>a</sup>	0,299 <sup>bcd</sup>	0,318	
550	0,278 <sup>cde</sup>	0,346 <sup>a</sup>	0,348 <sup>a</sup>	0,291 <sup>cde</sup>	0,316	0,007***
650	0,245 <sup>efg</sup>	0,350 <sup>a</sup>	0,350 <sup>a</sup>	0,293 <sup>cde</sup>	0,310	
750	0,216 <sup>fg</sup>	0,366 <sup>a</sup>	0,354 <sup>***</sup>	0,288 <sup>cde</sup>	0,306	
X	0,222	0,275	0,263	0,242		
ES X			0,005 <sup>***</sup>			

a,b,c,d,e,f,g,h,i Letras no comunes difieren significativamente a  $P < 0,05$  (Duncan, 1955)

\*\*\*  $P < 0,001$

Tabla 10. Efecto del P sobre el contenido de P (%) en *Panicum maximum* (segundo corte).

Tratamientos	Likoni	Makueni	Común de Australia	Uganda	%	ES X
0	0,109 <sup>l</sup>	0,135 <sup>l</sup>	0,124 <sup>l</sup>	0,109 <sup>l</sup>	0,109	
100	0,130 <sup>l</sup>	0,126 <sup>l</sup>	0,124 <sup>l</sup>	0,136 <sup>l</sup>	0,129	
250	0,191 <sup>k</sup>	0,228 <sup>fg hij</sup>	0,272 <sup>efgh</sup>	0,206 <sup>jk</sup>	0,224	
350	0,214 <sup>ijk</sup>	0,230 <sup>hijk</sup>	0,290 <sup>cdef</sup>	0,256 <sup>fg hij</sup>	0,247	
450	0,222 <sup>ijk</sup>	0,241 <sup>ghij</sup>	0,320 <sup>cd</sup>	0,254 <sup>fg hi</sup>	0,259	
550	0,229 <sup>ghijk</sup>	0,257 <sup>fg hij</sup>	0,364 <sup>b</sup>	0,328 <sup>bc</sup>	0,295	0,0067 <sup>***</sup>
650	0,233 <sup>hijk</sup>	0,269 <sup>efgh</sup>	0,440 <sup>a</sup>	0,288 <sup>cdef</sup>	0,308	
750	0,225 <sup>hijk</sup>	0,306 <sup>cde</sup>	0,455 <sup>a</sup>	0,278 <sup>defg</sup>	0,316	
X			0,135 <sup>***</sup>			
ES X	0,194	0,224	0,298 <sup>***</sup>	0,232		
			0,0048 <sup>***</sup>			

a,b,c,d,e,f,g,h,i,j,k,l Letras no comunes difieren significativamente a P<0,05 (Duncan, 1955)

\*\*\*P<0,001

Tabla 11. Efecto del P sobre el contenido de P (%) en *Panicum maximum* (promedio de los dos cortes).

Tratamientos	Likoni	Makueni	Común de Australia	Uganda	%	ES X
0	0,097 <sup>l</sup>	0,134 <sup>ij</sup>	0,130 <sup>ij</sup>	0,109 <sup>ij</sup>	0,118	
100	0,140 <sup>l</sup>	0,133 <sup>ij</sup>	0,144 <sup>ij</sup>	0,144 <sup>i</sup>	0,137	
250	0,225 <sup>h</sup>	0,227 <sup>gh</sup>	0,214 <sup>gh</sup>	0,214 <sup>h</sup>	0,226	
350	0,235 <sup>gh</sup>	0,313 <sup>ab</sup>	0,272 <sup>fg</sup>	0,272 <sup>ef</sup>	0,270	
450	0,255 <sup>fg</sup>	0,291 <sup>cd</sup>	0,277 <sup>cd</sup>	0,277 <sup>ef</sup>	0,289	
550	0,254 <sup>fg</sup>	0,301 <sup>bc</sup>	0,309 <sup>bc</sup>	0,309 <sup>de</sup>	0,305	0,0064 <sup>**</sup>
650	0,239 <sup>gh</sup>	0,310 <sup>ab</sup>	0,290 <sup>ab</sup>	0,290 <sup>ef</sup>	0,309	
750	0,221 <sup>h</sup>	0,335 <sup>a</sup>	0,283 <sup>a</sup>	0,283 <sup>ef</sup>	0,311	
X			0,12 <sup>**</sup>			
ES X	0,208	0,255	0,281 <sup>***</sup>	0,237		
			0,0045 <sup>***</sup>			

a,b,c,d,e,f,g,h,i,j Letras no comunes difieren significativamente a P<0,05 (Duncan, 1955)

\*\*\*P<0,001

### Niveles críticos de P (%)

En la tabla 12 se aprecian los niveles críticos de P, determinados para un 80 y 85% del rendimiento máximo de MS, así como el coeficiente de determinación.

Tabla 12. Niveles críticos de P en *Panicum maximum*.

Cultivares	Nivel crítico	R <sup>2</sup>
Likoni	0,197	0,78
Makueni	0,209	0,87
Común de Australia	0,202	0,99
Uganda	0,230	0,78

Se puede observar una variabilidad y se nota que el cv. Likoni posee un menor requerimiento interno de P en comparación con el cv. Uganda, a pesar de que ambas plantas presentan una morfología externa muy semejante, y que esta última es más exigente a este elemento.

Los R<sup>2</sup> calculados para evaluar el ajuste del nivel crítico es satisfactorio para cada hierba objeto de estudio.

### Eficiencia de utilización del fósforo (EUP)

En la figura 7 se puede observar la EUP, calculada según el modelo  $Y=ab^x$ , en función de los niveles de P aplicado al suelo. Es de notarse que la misma disminuye drásticamente a medida que aumenta la dosis de P aplicada al suelo.

Se observó, además, que a medida que aumentaba el contenido de P en los pastos de EUP disminuía linealmente, según se puede apreciar en la figura 8, donde cada cultivar lo hizo en formas diferentes.

En la figura 9 se expresan las medias ponderadas para este parámetro; se nota más claramente que en la primera cosecha la EUP fue mayor que en el segundo corte. Además, los cvs Likoni y Uganda tuvieron la mayor eficiencia de utilización del P, aunque en el primer cultivar mencionado la EUP del primer corte fue mayor que la de Uganda. Se puede notar en sentido general la variabilidad existente en este parámetro en cada uno de los cvs. de la especie *Panicum maximum*.

Analizando las pendientes de las figuras 7 y 8 y con las medias de la figura 9, el cv. Uganda, mostró una mayor eficiencia de utilización, seguida por la Likoni, Makueni y Común de Australia, aunque las diferencias entre ellas no son muy grandes.

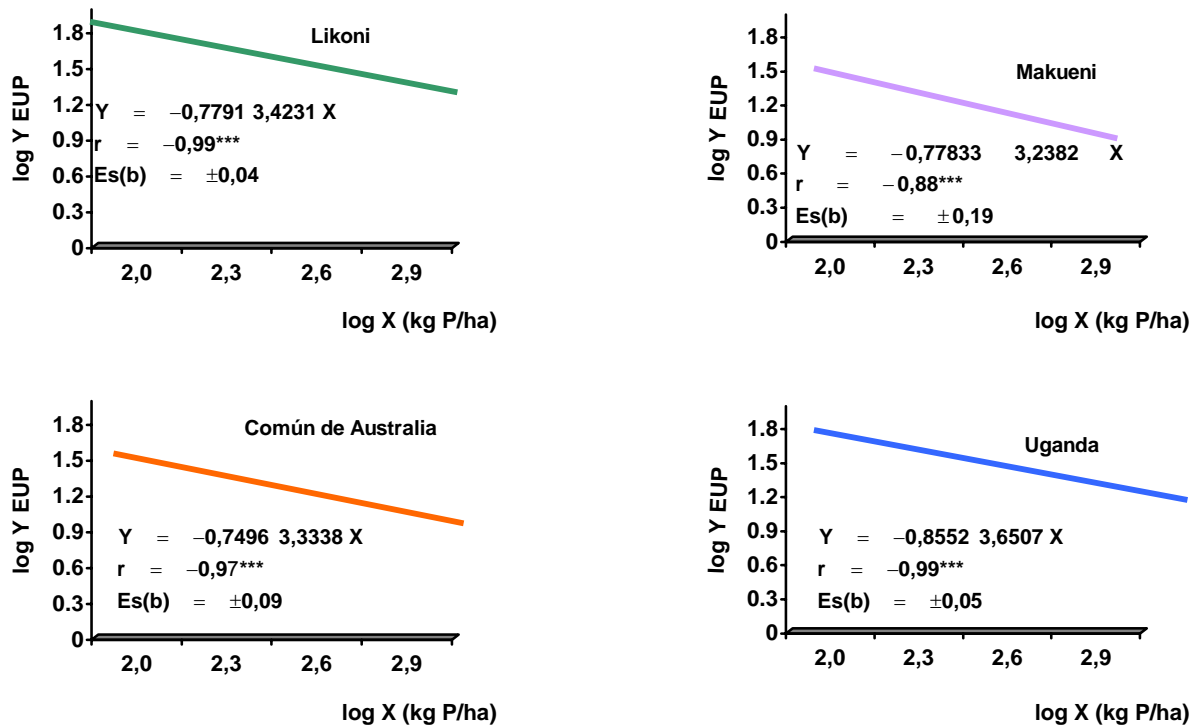


Fig. 7. Eficiencia de utilización del fósforo en cvs. de *Panicum maximum*.

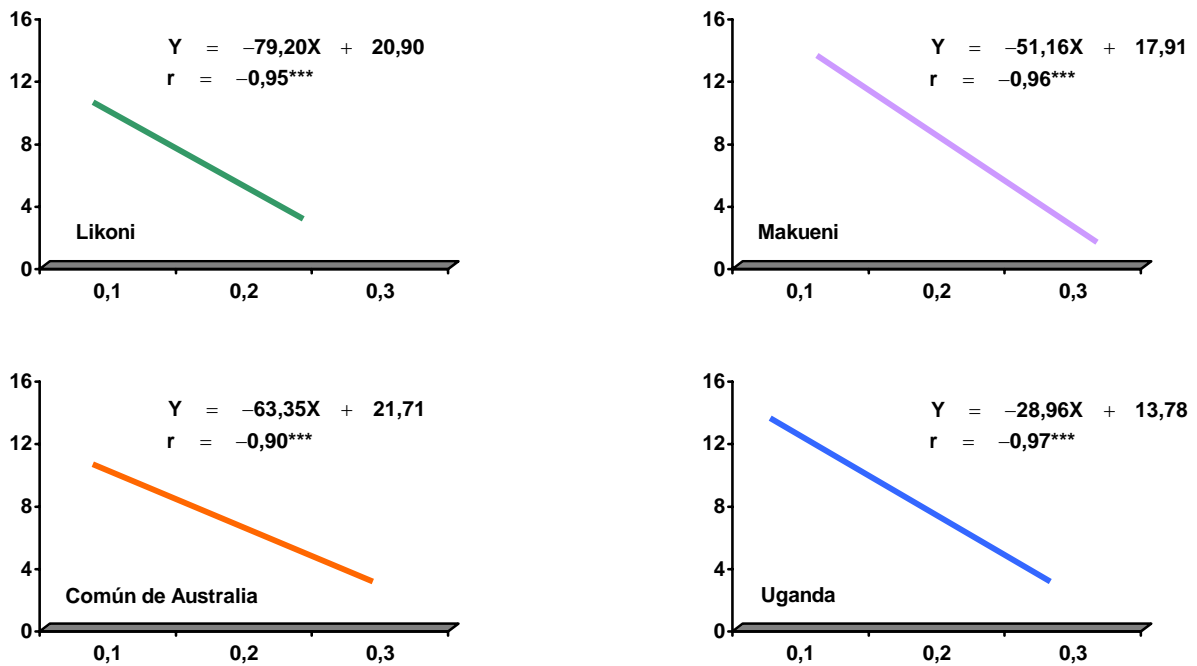


Fig. 8. Relación entre la EUP y el % de P en los cvs. de *Panicum maximum*.

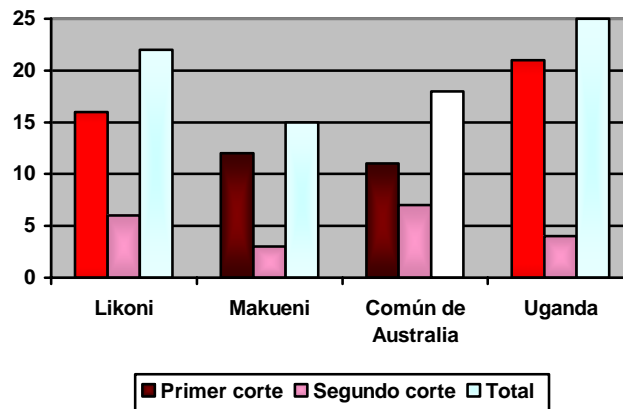


Fig. 9. Eficiencia de la utilización del P (mg de MS/mg de P aplicado por kg de suelo).

### Discusión

En el desarrollo del presente capítulo se pudo constatar una respuesta significativa ( $P < 0,001$ ) con respecto al rendimiento de MS al incrementarse los niveles de fertilización fosfórica en cada uno de los cultivares, lo mismo en el primer corte que en el segundo y en el acumulado total; ello coincidió con lo expresado por Demolon (1975) acerca de que el P es uno de los principales elementos minerales que más se relacionan con el rendimiento de MS. Conclusiones similares han sido expresadas por Figarella, Vicente-Chandler, Silva y Caro costas (1964) cuando aplicaron P en dos suelos deficientes del mismo; también Falade (1975) obtuvo un incremento hasta de un 17,5% de MS con aplicaciones de 20 mg de P/maceta. Además, Burton, Wilkinson y Carter (1969) y Cottier y Kewitt (1975) han obtenido resultados similares, por lo que se evidencia la necesidad de aplicar fertilizantes fosfóricos cuando los suelos presentan un estado carencial del mismo.

Los cultivares objeto de estudio mantuvieron durante la etapa experimental un crecimiento vigoroso, reafirmando las características promisorias de la especie *Panicum maximum* para nuestra ganadería (SIMO y de la Paz, 1978; Gerardo y Oliva, 1979; Gerardo y Ortiz, 1981 y Machado y Muñoz, 1982) en todos los tratamientos y en ambas cosechas excepto en el tratamiento control, donde se manifestaron algunos síntomas de deficiencia en concordancia con lo informado por Salinas, Sáenz y García (1980) y con rendimientos que no sobrepasaron los 12 y 5 g de MS por maceta para la primera y segunda cosecha respectivamente; ello pudo deberse a que las deficiencias de P en el suelo redujeron la eficiencia fotosintética y la cantidad de clorofila por área foliar, según los resultados de Fujiwara y Suzuki (1960), y a la limitación del crecimiento de los brotes y por consiguiente a la velocidad del crecimiento de acuerdo con las conclusiones obtenidas por Christie (1975) en *Cenchrus ciliaris* en condiciones similares a las nuestras.

La reducción del rendimiento de MS en el segundo corte pudiera justificarse a la disminución de P en el suelo, debido a las extracciones que hacen los pastos del mismo, más a la pequeña fijación que el suelo hace de este elemento, según lo apreciado en el capítulo 3.

En este experimento, en el primer corte se obtuvo una máxima res con el nivel de 250 kg de P/ha en todos los cultivares, excepto en el Makueni que fue con 100 kg de P/ha; exceptuando al cv. Uganda que mostró el mismo patrón de la primera cosecha, lo que parece indicar que en términos relativos los cvs. Likoni, común de Australia y Uganda necesitan un mayor contenido de P durante la fase de establecimiento que el cv. Makueni. Además, se puede lograr un mantenimiento del pastizal con un nivel de 100 kg de P/ha en este tipo de suelo, aunque el cv. Uganda es más exigente a dicho elemento. Resultados similares obtuvo Millán (1978), cuando concluyó que las especies forrajeras difieren en su respuesta a la aplicación de fertilizantes y que la guinea necesita 100 kg de P/ha como mínimo para ser manejada intensivamente en un suelo de baja fertilidad.

En Cuba existen muy pocos resultados sobre evaluación de pastos con fertilizantes fosfóricos en suelos de textura arenosa, donde la sorción sea igual o inferior a 300 mg de P/kg de suelo; no obstante, Crespo, Paretas y Pupo (1976), en un suelo sabanoso de Las Tunas con bajo contenido de  $P_2O_5$  asimilable, obtuvieron una bermuda de costa una máxima eficiencia de utilización del P con 67,8 kg de P/ha y Aspiolea, Portieles y Valdés (1976), en suelo de textura arenosa-arcillosa, señalaron que el rendimiento se incrementó hasta el nivel de 100 kg P/ha.

También Mesa, Hernández y de la Cruz (1983) obtuvieron en cuatro cultivares de *Cynodon dactylon* rendimientos máximos de MS con aplicaciones de 100-250 kg de P/ha en este mismo tipo de suelo, por lo que



las respuestas de nuestros pastos parecen estar alrededor de este rango de aplicación en suelos de estas características, o sea, de baja fertilidad.

Pudo apreciarse, además, que en el tratamiento control el rendimiento se incrementó en la segunda cosecha, debido posiblemente a un mayor crecimiento del sistema radicular en esta etapa, y por consiguiente a un incremento en la absorción de P y de otros nutrimentos.

Esta respuesta de la parte aérea se reflejó también en el sistema radical, al encontrarse incrementos lineales de esta con el aumento de P en el suelo. Resultados similares han sido observados por Danilova (1965), quien concluyó que las condiciones de nutrición influyen en el desarrollo de ambas partes, aunque en algunos casos, de acuerdo con las características fisiológicas de la especie, la acción de fertilización fosfórica en el desarrollo de la raíz es específica.

Por otra parte, Sazonov (1915) y Ressel (1955) argumentaron que el efecto positivo del P en el crecimiento y desarrollo de los cultivos, se debe en una medida considerable a la influencia que ejerce sobre el sistema radical de los mismos, debido a que cuando la cantidad de P en el medio es suficiente, dicho sistema se desarrolla mejor formando una densa red de radículas pequeñas.

McLachlan (1976) le concede gran importancia al estudio del sistema radical, debido a que el área superficial de la raíz, su velocidad de crecimiento, así como el grosor y la cantidad de las mismas están involucradas en la eficiencia de estos en absorber fosfatos del suelo y tiene más valor la morfología del sistema radical, que su propia actividad metabólica.

También Christie (1975) notó que incrementando los niveles de P en el suelo, además de aumentar la tasa de crecimiento del *Cenchrus ciliaris*, aumentó significativamente el desarrollo del sistema radical, y de esta forma la resistencia a la sequía.

De todos los cultivares evaluados en este experimento, la Uganda fue la que presentó una mayor producción de raíz, aspecto que pudo estar determinado por las características genéticas de la especie y/o variedad.

En cuanto a l contenido de P en las plantas, se observó una marcada variabilidad; esto coincidió con Andrew (1977), quien planteó que entre las especies y ecotipos de las plantas forrajeras hay una marcada diferencia en sus requerimientos nutricionales, así como en sus habilidades para absorber y acumular elementos minerales.

También Mego (1984) concluye que las diferencias genéticas en los procesos de la absorción de fosfatos están muy relacionados con la capacidad de sorción del tejido radicular, aspecto importante para la selección de variedades con mayores rendimientos.

El aumento del contenido de fósforo de los pastos con la aplicación de niveles crecientes de P al suelo ha sido planteado por numerosos autores, tales como Widdawson, Penny y Williams (1966), Loneragan y Asier (1967) y Andrew y Robins (1971) cuando estudiaron el efecto del P sobre el crecimiento y la composición química en un grupo de pastos. Este aumento de P en ambas cosechas, y por ende en el por ciento de P en general, pudiera deberse a que los iones fosfatos se encuentran libremente en la solución del suelo en forma disponible y a la capacidad del sistema subterráneo de absorber y utilizar este nutrimento según Schenk y Barber (1979), aunque en la segunda cosecha el contenido fue menor, lo que justificaría en esta misma forma el rendimiento de MS, en coincidencia con los resultados de Bingham (1963).

En un experimento con pasto elefante (*Pennisetum purpureum*), Gomide, Christmas, García y Paul (1974) notaron que el contenido de P en la MS disminuyó desde 0,16 a 0,14%, este último valor coincidió con el sexto corte. También Gomide y Zometa (1976) concluyeron que en la hierba guinea el contenido de P en el pasto disminuye conforme a la sucesión de los cortes, variando desde 0,18 en la primera cosecha hasta 0,14% en el cuarto corte, esto puede deberse, entre otras cuestiones, al estado de desarrollo de la planta como unidad biológica, además del agotamiento de este nutrimento en el suelo, y más cuando los suelos son deficientes de P. No obstante, analizando el promedio entre los dos cortes se observa un consumo de lujo para este nutrimento, debido a que no hay un aumento significativo del rendimiento de MS (Christie, 1975), cuestión que se acentúa más en el cv. Makueni, que en la segunda cosecha incrementó sus tenores de P con los niveles superiores de aplicación al suelo.

Con respecto a los niveles críticos internos de P se pudo constatar la respuesta diferencial de cada cultivo; la Likoni fue el pasto menos exigente a este elemento, lo siguió en orden ascendente la Común de Australia, la Makueni y la Uganda, aunque estos valores deben ser considerados como rango de valores y no como únicos, puesto que fluctúan en función de las especies, variedades y ecotipos dentro de una especie, así como en función de suelos y clima (CIAT, 1981).

Diferentes autores han realizado investigaciones y han determinado los contenidos de P en los pastos, pero no han podido establecer los niveles críticos de P en los mismos. Así Oliva, Machado, Lorenzo y Ortiz (1976) lograron 0,225% y 0,15% en Likoni y Uganda respectivamente; para la Likoni también Machado, Rodríguez y Leyva (1980) obtuvieron 0,23%. Se aprecia que estos valores difieren de los obtenidos en nuestro trabajo, lo que puede deberse a los niveles de fertilización empleados, así como al tipo de suelo, manejo del pasto y diseño experimental. No obstante, Andrew y Robins (1971) plantearon como nivel crítico interno 0,19% para P.

*maximum* var. *Trichoglume*, lo que se aproxima a lo obtenido en este experimento, este fue más bajo que los informados en *Cynodon dactylon*, *Chloris gayana* y *Cenchrus ciliaris* y otras especies, lo que es un índice aceptable que permite a la hierba guinea, y sobre todo la Likoni, adaptarse a los suelos dedicados a la ganadería de nuestro país.

Es de notarse que los cvs. Likoni y Uganda, morfológicamente no difieren lo sustancialmente entre sí; sin embargo, ante la fertilización fosfórica, en igualdad de condiciones, cada cultivar tiene su patrón de respuesta, y este último es más exigente a dicho elemento quizás por la mayor cantidad de raíces que produce.

El cv. Likoni constituye actualmente un pasto extendido en nuestro país, donde se ha podido demostrar que este tiene bajos requerimientos internos de P, con una alta producción de MS/área, por lo que tiene ante la fertilización fosfórica una alta eficiencia de utilización.

La eficiencia de utilización del P disminuyó a medida que aumentaba el nivel de aplicación de P al suelo, coincidiendo con lo obtenido por Biddiscombe, Oxanne, Barrow y Keay (1969) cuando hicieron un estudio comparativo de la velocidad de crecimiento y la distribución de P en un grupo de especies. Estos investigadores hallaron una marcada variabilidad entre las especies en cuanto a la respuesta del fósforo, además de que la EUP disminuyó en la misma medida en que aumentaba el contenido de P en el medio. Resultados similares logró también McLachlan (1976).

La eficiencia de utilización del P según Brown (1972), Brown y Jones (1975) no solamente depende de las características del suelo, sino también de las especies de plantas o variedades que crecen en los mismos. Así Brown, Clark y Jones (1977) notaron una marcada variabilidad en genotipos de *Sorghum bicolor* y plantearon además que para obtener un uso eficiente del P por las plantas, las variedades deben ser identificadas en cuanto a esta cuestión, por lo que les concede una gran importancia el estudio del efecto que ejerce la variedad sobre la eficiencia de utilización del P.

La disminución de la EUP con el aumento del contenido de P en los pastos, parece ser una influencia indirecta de los niveles de fertilización, al menos en los suelos deficientes de este nutrimento, ya que según se pudo observar hubo un aumento lineal y significativo entre los niveles de aplicación de P en el suelo y el contenido de P en el pasto, al mismo tiempo que una disminución de la EUP a medida que aumentaba el contenido de P en el suelo.

Bajo esta situación el cv. Uganda presentó una mayor EUP, debido quizás al aumento del mismo sistema radicular, seguido del cv. Likoni. Según se ha podido observar el cv. Uganda presenta una mayor EUP en toda una serie de comparaciones, pero este necesitó 250 kg de P/ha para expresar su máximo rendimiento en el primer corte, de ahí su alto nivel crítico con respecto a los demás cultivares. También en la segunda cosecha su máximo rendimiento fue con este nivel; sin embargo, al cv. Likoni expresó su máximo rendimiento también con 250 kg de P/ha en el primer corte y en el segundo con 100 kg de P/ha al igual que el resto de los cultivares. Se cataloga como un cultivar menos exigente, y por tanto es capaz de convertir más MS con menos requerimientos de P, de ahí la gran ventaja que tiene el mismo para nuestras condiciones.

El cv. Makueni en ambas cosechas dio su máximo rendimiento de MS con 100 kg de P/ha, asociado quizás a su mayor producción de raíz; sin embargo ocupó un tercer lugar en cuanto a la EUP, ya que este genéticamente produce menos forraje y en último lugar el cv. Común de Australia.

Podemos concluir que cada cultivar dentro de esta especie, tiene bien definido su patrón de respuesta en cuanto a la nutrición fosfórica y que el cv. Likoni, a pesar de ocupar un segundo lugar en cuanto a la eficiencia de utilización del P, requiere menos fósforo en el suelo, lo que lo hace ventajoso para explotarlo en nuestra ganadería; por ello se debe seguir investigando en cuanto a dosis y fuentes fosfóricas en diferentes suelos, para su mayor optimización.

## Capítulo 5. Respuesta fisiológica de *Panicum maximum* cv. Likoni al fósforo

Como hemos apuntado anteriormente, el fósforo es uno de los elementos minerales esenciales para la nutrición vegetal, dado su gran reactividad, ya que forma parte de una gran cantidad de compuestos, por lo que se le confiere características vitales en los procesos fisiológicos.

La influencia del P sobre el contenido de las sustancias fisiológicamente activas ha sido estudiada en numerosos cultivos, sin embargo en pastos tropicales apenas se conocen, a pesar de que tienen importancia práctica, tal como fue estudiada por Volleidt y Andreeva (1975) al encontrar grandes correlaciones entre el contenido de los ácidos nucleicos y el rendimiento del trigo.

Esta cuestión unida a los procesos vitales de la planta, como por ejemplo respiración, es de gran interés con respecto a la nutrición fosfórica, ya que este nutrimento, según Zaitseva y Sedenko (1962) observaron una reducción en la actividad respiratoria de los cultivos en suelos deficientes en fósforo, que repercutió de forma importante en el rendimiento de las cosechas.

Por otra parte, la especie *Panicum maximum* cv. Likoni, es de gran interés para la producción bovina en nuestro país y sin embargo los conocimientos que se tienen con respecto a la nutrición fosfórica son prácticamente nulos.

Dada la importancia que tienen estas cuestiones enumeradas anteriormente, es objetivo estudiar bajo condiciones controladas la influencia de la nutrición fosfórica sobre:

- Acumulación y distribución de la materia seca
- Absorción y distribución del fósforo
- Metabolismo del fósforo
- Actividad respiratoria
- Contenido de N, P, K, Ca y Mg en la materia seca

### Sección A

#### Efecto del fósforo sobre la distribución y acumulación de materia (MS) en *Panicum maximum* cv. Likoni

##### Materiales y métodos

Los tratamientos, así como la metodología experimental seguida para este estudio, se detallan en el capítulo 2.

La distribución y acumulación de MS (mg/planta) fue determinada en la segunda, tercera y cuarta hoja, la raíz y los tallos por separado, así como el resto de las hojas de la planta en un solo conjunto.

##### Resultados

Como se puede observar en las figuras 10 y 11, hubo un crecimiento casi lineal en todos los órganos principales de la planta a medida que se incrementaba la concentración de P en el medio externo hasta el tratamiento  $\frac{1}{4}$  (0,165 ppm), donde la segunda, tercera y cuarta hoja estabilizaron su crecimiento; a partir de este nivel el rendimiento de los tallos disminuyó y no sucedió así con el resto de los órganos.

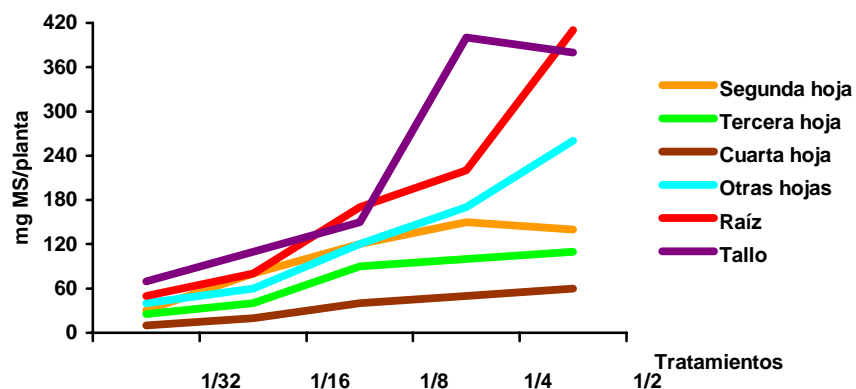


Fig. 10 Efecto del fósforo sobre los componentes del rendimiento de MS en *Panicum maximum* cv. Likoni.

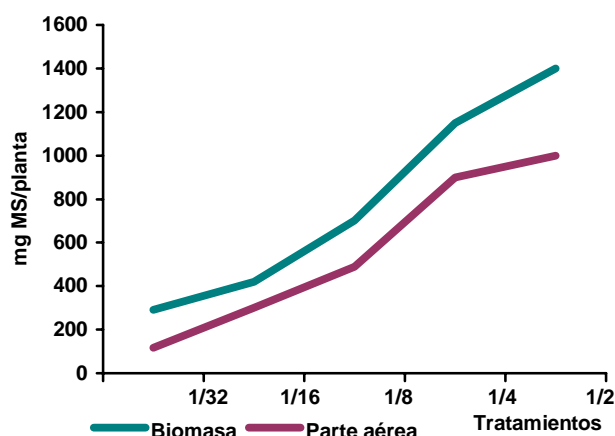


Fig. 11. Efecto del fósforo sobre el rendimiento de MS de la parte aérea y la biomasa total.

Dentro del tejido foliar, la mayor acumulación ocurrió en las hojas más jóvenes, mientras que en los tallos, las raíces solamente poseían el 55% de su rendimiento total, situación que ocurrió en la concentración 0,165 ppm de ( $1/4$ ).

Con respecto a la biomasa total (hoja+tallo+raíz), así como el rendimiento de la parte aérea, fue lineal con respecto a las concentraciones externas de P, con un ligero decrecimiento en el nivel más alto.

Como era de esperarse, también el rendimiento de MS de la biomasa total fue muy superior al rendimiento de la parte aérea en 206,20 mg.

## Sección B

### Efecto de niveles crecientes de fósforo sobre la absorción y distribución de P en la Likoni

#### Materiales y métodos

Para estudiar la absorción y distribución el  $^{32}\text{P}$  se utilizó como trazador radiactivo. Para esto las plantas antes de la cosecha se pusieron en un medio nutritivo Knop con  $^{32}\text{P}$  por un período de tiempo de 5 h en iguales condiciones de luz a la cámara climatizada y a la temperatura de  $26 \pm 2^\circ\text{C}$ .

Después de pasado este tiempo de exposición de las plantas en la solución radiactiva, estas se dividieron en sus partes simples; raíz, tallo, segunda, tercera y cuarta hoja, y se secaron en una estufa a  $90^\circ\text{C}$  hasta peso constante para después homogenizarlas y colocarlas en planchetas de 300 mg aproximadamente. Antes de efectuar la lectura en un radiómetro Geiger-Müller, el contenido de las planchetas fue recubierto con plexiglass disuelto en cloroformo.

Los resultados se expresaron en Impulsos  $(\text{g.MS})^{-1}$ .

Los demás aspectos relacionados con la metodología experimental, así como los tratamientos utilizados, están reseñados en el capítulo 2.

#### Resultados

Como se puede observar en la figura 12 la absorción y acumulación de P disminuye a medida que aumenta la concentración de P hasta 0,0825 ppm. A partir de este nivel las pendientes son menos pronunciadas, y en el caso de la raíz se observó un ascenso en la absorción de este nutrimento.

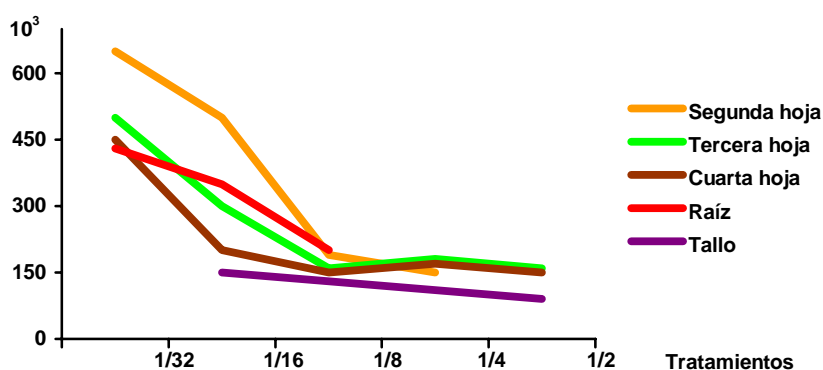


Fig. 12. Efecto del P sobre la distribución y acumulación del fósforo en *Panicum maximum* cv. Likoni.

En las concentraciones más bajas de P y dentro del tejido foliar, la cuarta hoja tiene la mayor concentración de P, la cual alcanza 439, 240 imp. Por g de MS, seguido en orden ascendente por la segunda y tercera hoja; a partir de la concentración 0,0825 ppm de P, estas diferencias no son tan notables.

Se pudo observar además que los tallos fueron los que menos P acumularon y la raíz el órgano de mayor acumulación como promedio.

## Sección C

### Estudio de la influencia de niveles crecientes de fósforo sobre el metabolismo de este en la hierba Likoni (*Panicum maximum*)

#### Materiales y métodos

Para este estudio se siguió igual metodología experimental que en la anterior sección, a diferencia de que las plantas estuvieron expuestas 16 h en la solución Knop con  $^{32}\text{P}$ .

Fueron objeto de análisis segmentos de raíces de la parte apical, central y basal para hacer una valoración del sistema radical en su conjunto.

También se analizaron la segunda, tercera y cuarta hoja, así como los tallos.

Las fracciones estudiadas fueron: fosfolípidos (LP), fosfoproteínas (BP), ácidos fosfonucleótidos (PNK), fósforo inorgánico (AP) y fósforo total (VP), según Kupka (1970), el cual explicaremos a continuación.

A 1 ó 2 g de raíces u hojas, homogenizado y a  $0^{\circ}\text{C}$ , se les efectuó 4 ó 5 extracciones de  $\text{HClO}_4$  0,2 N (1 ml por lg) agitándose durante 5 minutos. Después los extractos, previamente centrifugados a 2 100 g durante 5 minutos, se mezclaron de acuerdo con sus respectivos tratamientos y parte de los tejidos y se neutralizaron a pH 7 con KOH, y se dejaron 2 h a  $0^{\circ}\text{C}$ . Después de pasado este tiempo se centrifuga con  $\text{KClO}_4$  y en el sobrenadante se determina el fósforo inorgánico.

Pero antes de la determinación de esta fracción, al filtrado se le añade carbón activado, se filtra y se le añade 20 ml de agua destilada, 20 ml de butanol y 2 ml de un agente molibdicó, y se completa con agua destilada hasta obtener un volumen de 50 ml.

De este se toma 1 ml, se coloca en una plancheta, se lleva a sequedad bajo la acción de la luz infrarroja, y se determina su actividad.

Para la determinación de los fosfolípidos (LP), al tejido del análisis anterior se le efectuó 4 ó 5 extracciones con una mezcla de etanol:éter en una proporción de 3:1 (1 ml por g) en baño María hirviendo. Posteriormente se centrifugó a 2 100 g durante 5 minutos. Los extractos se mezclaron atendiendo al tratamiento y tipo de tejido en un tubo de ensayos graduado, se leyó el volumen y después se determinó la actividad de la muestra en 1 ml en un sistema radiométrico.

El fósforo de los ácidos nucleicos (PNK) se determinó en los tejidos foliar y radicular de las anteriores extracciones, a los que se le efectuó 4 ó 5 reextracciones con  $\text{HClO}_4$  0,5 N cada una durante 20 minutos a  $70^{\circ}\text{C}$ . Cada extracción se centrifugó a 2 100 g por 5 minutos. Los extractos se unieron al igual que en las determinaciones anteriores, se neutralizaron con KOH, y se dejaron posteriormente 2 h en reposo a  $0^{\circ}\text{C}$ . Pasado este tiempo se centrifugó el  $\text{KClO}_4$ , el sobrenadante se colocó en una probeta graduada, se leyó el volumen y se midió la actividad de la muestra con igual procedimiento al de anteriores determinaciones.

Con respecto a las fosfoproteínas (BP), estas se determinaran en los tejidos provenientes de las extracciones anteriores, a los cuales se les extrae con NaOH 2N durante 10 minutos en baño de agua caliente (cuatro veces). Se centrifuga cada extracción a 2 100 g por 5 minutos, se unen los extractos en una probeta graduada y se determina la actividad.

El fósforo total (VP) se determinó mediante la digestión húmeda, o sea, que a 500 mg del tejido congelado se le añade  $H_2SO_4$  con  $KNO_3$ , se lee el volumen, se pipetea 1 ml de la muestra y se evapora mediante lámparas infrarrojas para medir la actividad.

Los resultados son expresados en Imp. En la MS

## Resultados

### Sistema radicular

Como se puede apreciar en la figura 13, el contenido de fósforo total es la fracción que predomina en la parte apical de la raíz, como era de esperarse, y disminuye a medida que aumenta la concentración externa de P.

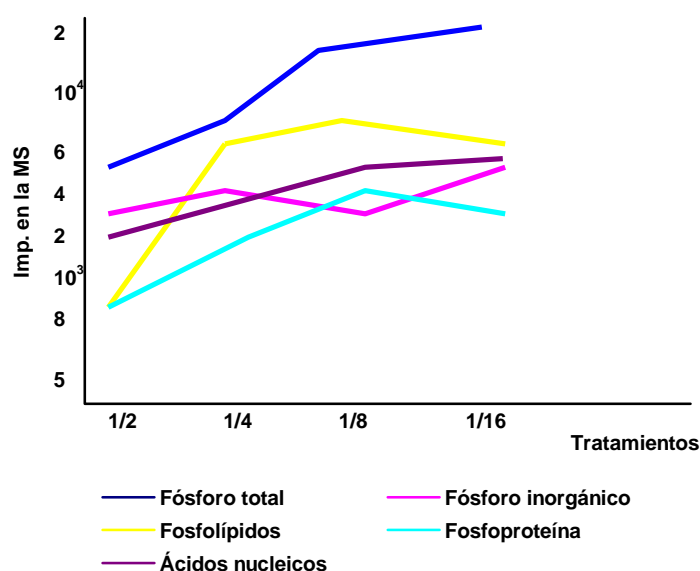


Fig. 13. Fraccionamiento del fósforo en la parte apical de la raíz

Dentro de las fracciones fosfóricas, la correspondiente a los fosfolípidos fue la predominante que estuvo en un 43% con respecto al VP. Se pudo observar que a partir de la concentración de 0,0825 ppm de P en la solución nutritiva, comienza a descender.

Con respecto a la fracción de los ácido nucleótidos (PNK) se observa que también disminuye a medida que se incrementa el P aplicado. Esta fracción representa el 26% del VP.

En cuanto al fósforo inorgánico, este mostró un patrón muy irregular con respecto a las concentraciones externas de P. esta fue la tercera fracción a su contenido con respecto al VP (21%).

Las fosfoproteínas fue la fracción más baja que se encontró en esta zona del sistema radicular con un 16% de VP. Al igual que la fracción fosfolípídica, comienza a descender a partir del tratamiento 1/8.

Analizando la figura 14 que representa una sumatoria matemática de las fracciones individuales en las diferentes zonas del sistema radicular, se puede observar que la parte apical de este posee una gran actividad metabólica. En sentido general, las fracciones fosfolípidos, ácidos nucleicos, fosfoproteínas y fósforo inorgánico representan el 15,0; 16,99; 12,87 y 12,45% y las fracciones LP y BP se encuentran en una relación 1:1, 1.

Además, se puede observar en esta figura que las variaciones de las diferentes fracciones siguieron el mismo patrón que la raíz apical.

### Parte aérea de la planta

En las figuras 15, 16 y 17 se puede observar las variaciones de las diferentes fracciones de fósforo, que corresponden a la segunda, tercera y cuarta hoja respectivamente.

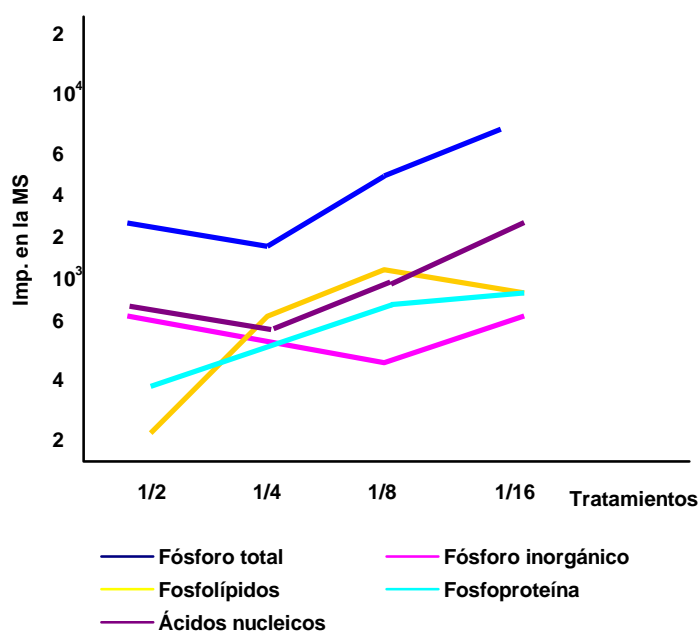


Fig. 14. Fraccionamiento del fósforo en la raíz.

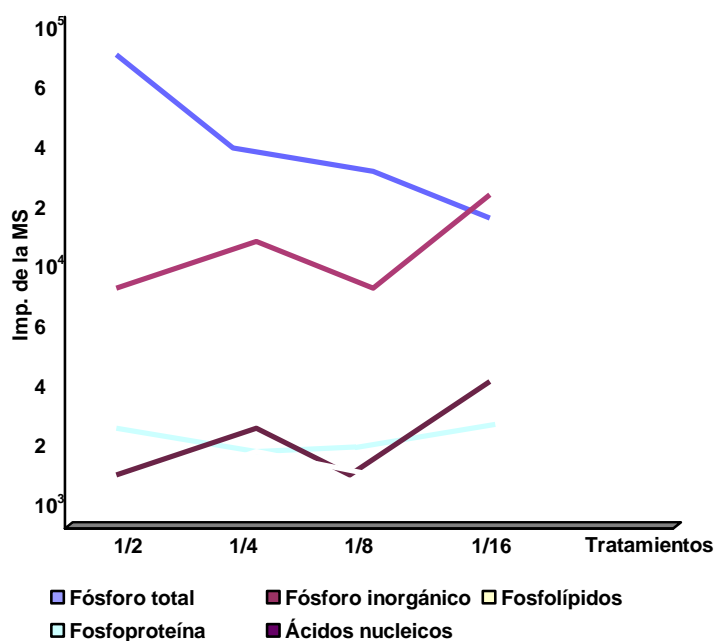


Fig. 15. Fraccionamiento del fósforo en la segunda hoja.

En la segunda hoja, ontogenéticamente más joven, se puede apreciar que el contenido de fósforo total aumentó a medida que se incrementa la concentración de este nutrimento en el medio. Igual tendencia ocurre también en la tercera y cuarta hoja, contrariamente a lo que sucede en el sistema radicular.

Con respecto a la fracción de fósforo inorgánico se observa que disminuye conforme aumenta la dosis de P en la solución nutritiva y que representa el 32,86% del VP.

En cuanto a los fosfolípidos, estos aumentaron linealmente hasta la concentración de 0,165 ppm de P aplicado, para después disminuir. Esta fracción representa el 3,31% del VP acumulado en dicha hoja, mientras que las fosfoproteínas en un 4,37% del VP, con variaciones más discretas.

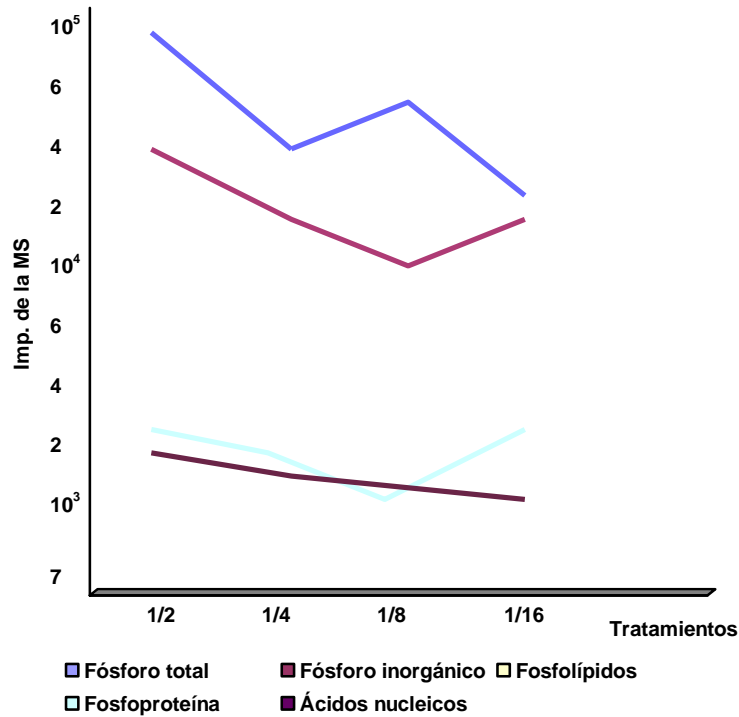


Fig. 16 Fraccionamiento del fósforo en la tercera hoja.

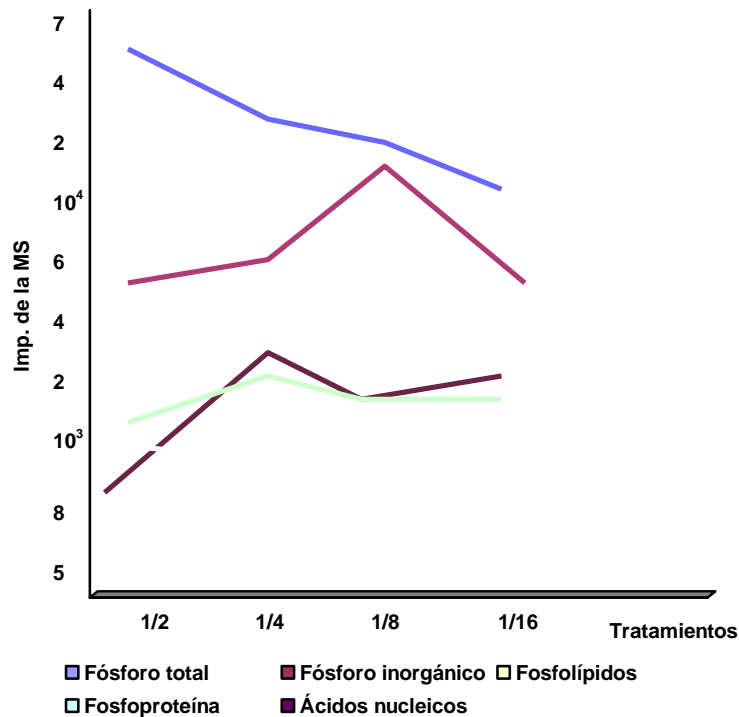


Fig. 17. Fraccionamiento del fósforo en la cuarta hoja.

La fracción de PKN fue la que experimentó mayor variación; se observa una marcada caída en los tratamientos  $\frac{1}{8}$  y  $\frac{1}{4}$ . Esta representa la segunda fracción en importancia, ya que constituye el 4,61%.



Con respecto a la tercera hoja, la fracción AP aumentó a partir del tratamiento  $\frac{1}{8}$  (0,0825 ppm), contrariamente a lo que sucede en la segunda hoja. Esta fracción es la primera en importancia en este órgano, ya que representa el 47,62% del contenido total de P.

Los fosfolípidos aumentan a medida que aumenta la concentración de P en el medio externo y su contenido es ligeramente mayor con respecto a la segunda hoja. Esta fracción representa el 2,59% del VP. La fracción de las fosfoproteínas es mucho mayor que la de los fosfolípidos en 674,25 Imp. Y es el 4,08% del VP, por lo que su contenido como promedio es ligeramente menor comparándola con la segunda hoja.

Por otra parte, la fracción PNK tuvo un incremento casi lineal a medida que se incrementaba la dosis de P en los diferentes tratamientos y representó el 3,61% del VP.

En la cuarta hoja, ontogenéticamente más madura que las anteriores, el contenido de VP mostró un incremento casi lineal, y su contenido fue además menor que en la segunda y tercera hoja.

En cuanto al AP, este mostró un incremento hasta el tratamiento  $\frac{1}{8}$  (0,0825 ppm de P aplicado), para después disminuir. Su contenido con respecto a la segunda hoja disminuyó en 6 146 Imp. Y a la tercera en 13 609,74 Imp.; descenso que repercutió en su participación en el VP (25,89%).

Los fosfolípidos fueron también menores en sentido general, en comparación con lo obtenido en las hojas anteriores, aunque su participación en el VP fue igual que en la segunda hoja.

Con respecto a los PNK, estos tuvieron un comportamiento muy similar al de la segunda hoja, aunque su concentración según los promedios de todos los tratamientos fue menor que en las hojas anteriores, motivado por la caída que tuvo en el último tratamiento, por lo que su contenido con respecto al VP fue de 5,03%.

Las fosfoproteínas tuvieron un comportamiento muy similar al de la fracción anterior, pero no tan pronunciada como se puede observar. Le correspondió el 5,05% del VP, y su contenido fue menor con respecto a la segunda hoja (323,35 Imp.) y de 290,25 Imp. Con la tercera.

En cuanto a los tallos, se evidenció según la figura 18 una mayor variabilidad en cuanto a las diferentes fracciones fosfóricas analizadas.

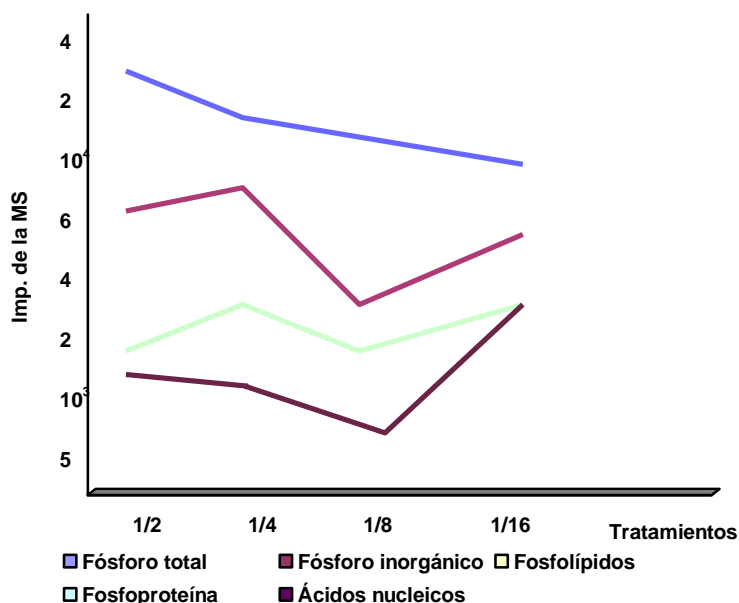


Fig. 18. Fraccionamiento del fósforo en los tallos de la planta.

El VP fue el más bajo de todos los órganos analizados y mostró un incremento bastante uniforme con respecto a los tratamientos.

El resto de las fracciones mantuvieron el mismo patrón con un descenso en el tratamiento  $\frac{1}{8}$ , seguido por un incremento en la concentración 0,165 ppm de P aplicado, para manifestar posteriormente una caída, a excepción de las fosfoproteínas.

También la fracción AP fue menor que le resto de los órganos analizados, aunque interviene en el VP en un 30,15%.

Los fosfolípidos fueron mucho más bajos en las hojas (1 012,33 Imp.) que en las raíces (6 763 Imp.), aunque su participación en el VP fue de 4,65%.

En cuanto a las fosfoproteínas su contenido total fue muy similar al de las hojas, pero muy inferior al de las raíces (4 192 Imp.). Forman partes en un 9,69% con respecto al fósforo total.

En cuanto a los PNK el contenido fue superior al de las hojas e inferior al de las raíces. Forman partes en un 13,56% del VP.

Analizando la parte aérea en su conjunto como la sumatoria de todas las fracciones de las diferentes hojas más los tallos, según la figura 19, el VP aumenta con los tratamientos, contrariamente a lo que sucede en el sistema radicular, y su contenido es mucho mayor que el del sistema subterráneo.

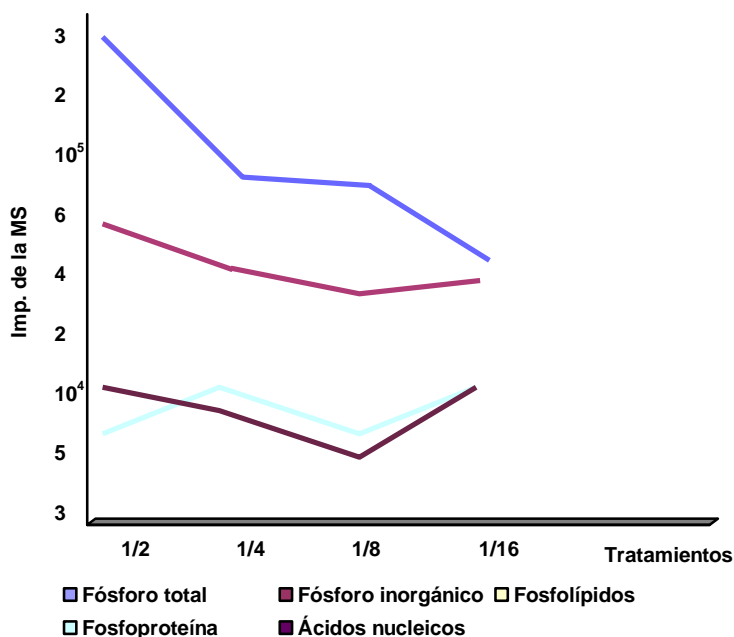


Fig. 19. Fraccionamiento del fósforo en la parte aérea de la planta.

Las demás fracciones se expresan de forma similar a las hojas y tallos analizados anteriormente.

La fracción del AP fue superior en la parte aérea con respecto al sistema radicular, al igual que las fosfoproteínas, mientras que los fosfolípidos fueron mayores en la raíz con respecto a la parte aérea y la fracción PKN fue similar en ambas partes.

## Sección D

### Efecto del fósforo sobre la actividad respiratoria en *Panicum maximum* cv. Likoni

#### Materiales y métodos

La respiración fue estudiada en segmentos de raíces en la posición apical, usando el respirómetro Warburg. El consumo de oxígeno medido en  $(\text{MI} (\text{gMS})^{-1})$  fue determinado por las técnicas manométricas, según Umbreit, Burris y Stanffer (1951).

#### Resultados

Según se puede apreciar en la figura 20, esta manifestó un incremento a medida que se aumentaba la concentración de P en el medio externo.

Se puede observar, además, que a partir de la concentración 0,165 ppm de P en la solución nutritiva hubo un fuerte consumo de  $\text{O}_2$ .

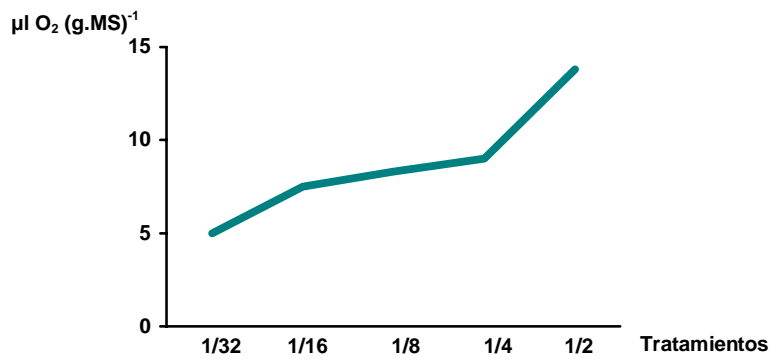


Fig. 20. Efecto del fósforo sobre la actividad respiratoria en la porción apical de la raíz de *Panicum maximum*.

## Sección E

### Influencia de dosis crecientes de fósforo sobre el contenido de N, P, K, Ca y Mg en la materia seca de *Panicum maximum* cv. Likoni

#### Materiales y métodos

Los elementos N, P, K, Ca y Mg fueron determinados en la MS, por los métodos estándar del laboratorio de agroquímica a CAP V Bevesove u Parí, ve votivcice.

La metodología experimental, así como los tratamientos están reseñados en el capítulo 2.

#### Resultados

En cuanto al contenido de N, la segunda, la tercera y la cuarta hoja tuvieron el mismo patrón de respuesta, aunque en esta última fue más pronunciada. Se puede observar, según la figura 21, que a partir de los tratamientos 1/4 hubo una caída considerable de este. Además, la segunda hoja posee un mayor contenido de N, siguiéndole en orden descendente la tercera y cuarta hoja, que alcanzan como promedio 2,14; 2,04 y 1,75% respectivamente.

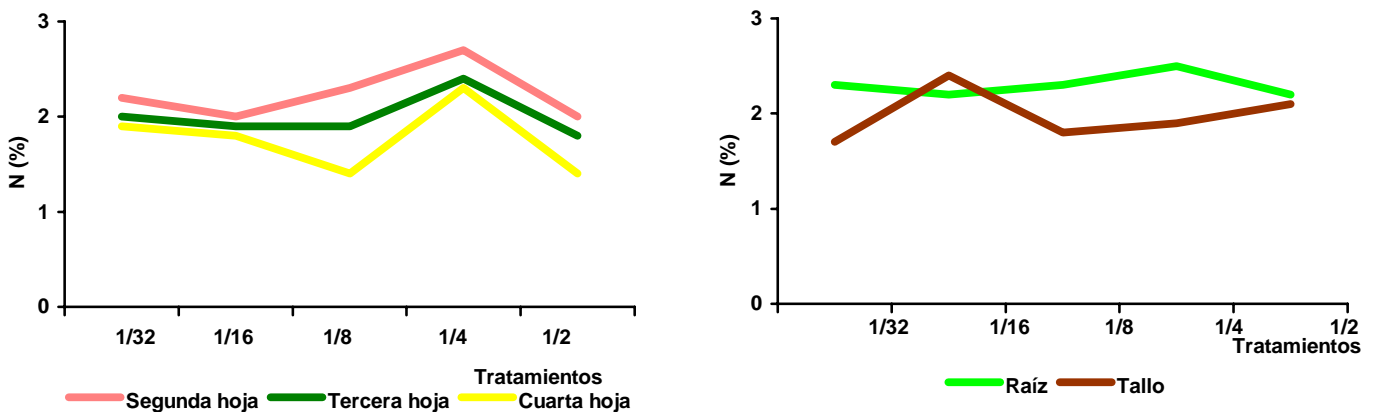


Fig. 21. Efecto del fósforo sobre el contenido de nitrógeno en *Panicum maximum* cv. Likoni.

La raíz alcanzó un mayor contenido de N con respecto a los tallos y tuvo además el mismo patrón de respuesta de las hojas, se observó una caída de este elemento a partir de 1/4 P.

Los tenores de N en este órgano son muy similares los de la segunda hoja y superiores a los de los tallos.

En la figura 22 se puede apreciar los tenores de P en la MS, se nota un aumento de estos a medida que aumenta la concentración de este elemento en la solución nutritiva.

La segunda hoja tuvo valores superiores con respecto a la tercera y cuarta, y como promedio 0,132; 0,106 y 0,106% respectivamente.

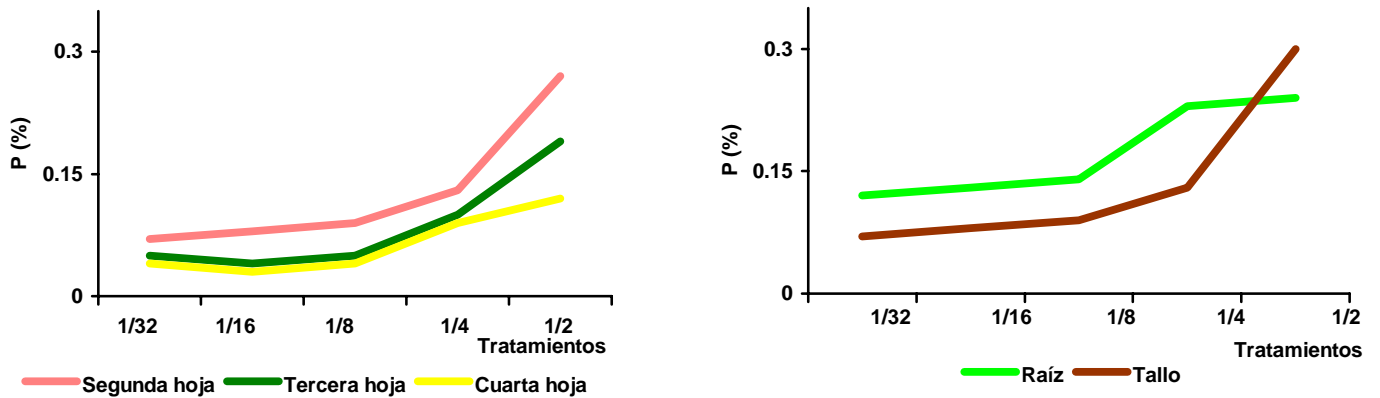


Fig. 22. Efecto del fósforo sobre el contenido de fósforo en *Panicum maximum* cv. Likoni.

La raíz tuvo el mismo comportamiento que las hojas, aunque a partir de la concentración  $\frac{1}{4}$  (0,165 ppm en el medio), se estabilizó al igual que la cuarta hoja.

Se puede observar que la raíz alcanzó los mayores tenores siguiéndole en orden los tallos con 0,176 y 0,15% respectivamente.

Con respecto a la relación N/P, según se puede apreciar en la tabla 13, hubo una disminución gradual a medida que aumenta la concentración de P en la solución nutritiva, se notan pocas diferencias entre hojas; no obstante, la tercera tiene valores ligeramente mayores.

Tabla 13. Efecto del P en la relación N/P en la hierba guinea.

Órgano	Tratamientos					
	1/32	1/16	1/8	1/4	1/2	X
Segunda hoja	30,75	24,75	24,11	16,80	7,11	20,67
Tercera hoja	33,16	31,67	27,14	18,92	9,19	24,01
Cuarta hoja	30,33	30,33	19,43	18,39	9,64	21,62
Raíz	18,75	16,77	13,47	10,75	8,33	13,61
Tallo	22,63	26,00	19,10	13,19	7,76	17,73
X	27,08	25,90	20,65	15,61	8,40	

Los valores de esta relación en los tallos y raíces fueron inferiores a los obtenidos en las hojas, y los tallos mostraron una relación mayor con respecto a las raíces.

En cuanto al contenido de potasio, se puede apreciar en la figura 23 que no hubo variaciones apreciables en las diferentes hojas objeto de estudio; se nota una disminución de estas a medida que aumentan los niveles de fósforo en el medio. Se puede observar, además, que en este elemento en los tallos y la raíz tuvo igual comportamiento que en las hojas, pero con contenidos mayores (4,77 y 4,27% respectivamente).

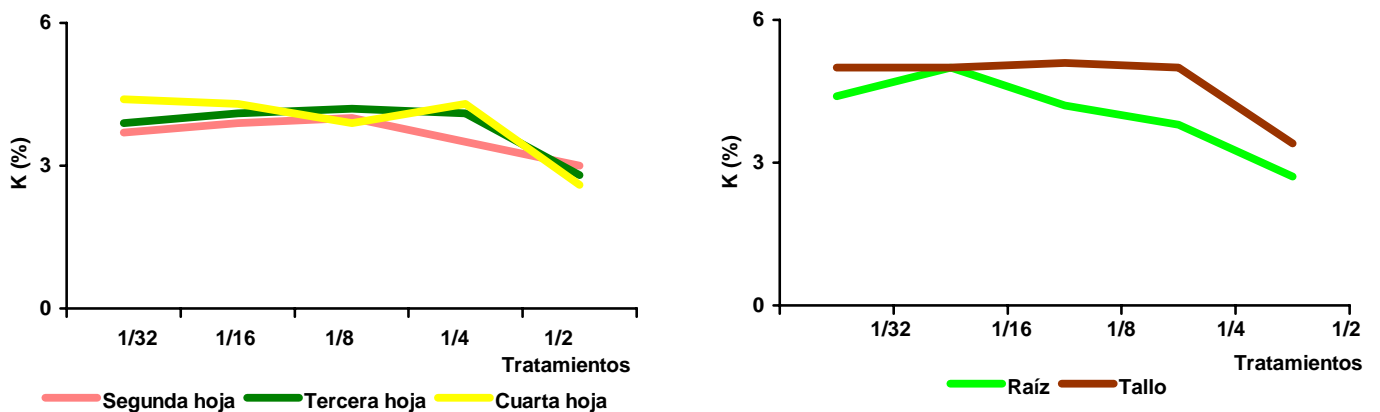


Fig. 23. Efecto del fósforo sobre el contenido de potasio en *Panicum maximum* cv. Likoni.

En cuanto a la relación P/K, se puede observar en la tabla 14 que esta aumenta a medida que se incrementan los niveles de fósforo en la solución nutritiva.

Tabla 14. Efecto del P en la relación P/K en la hierba guinea.

Órgano	Tratamientos					
	1/32	1/16	1/8	1/4	1/2	X
Segunda hoja	0,019	0,020	0,023	0,041	0,090	0,038
Tercera hoja	0,015	0,014	0,017	0,033	0,077	0,031
Cuarta hoja	0,014	0,014	0,018	0,031	0,063	0,028
Raíz	0,026	0,025	0,031	0,055	0,086	0,045
Tallo	0,016	0,018	0,019	0,031	0,080	0,033
X	0,018	0,018	0,021	0,038	0,079	

Se puede notar, asimismo, que la segunda hoja posee un valor mayor de esta relación, siguiéndole en orden descendente la tercera y la cuarta hoja. De todos los órganos analizados, la raíz fue la que manifestó una mayor relación P/K.

Analizando la figura 24, se puede apreciar los tenores de Ca en las diferentes partes de la planta; se nota que la segunda hoja tuvo los menores valores y le siguieron en orden ascendente la tercera y cuarta hoja.

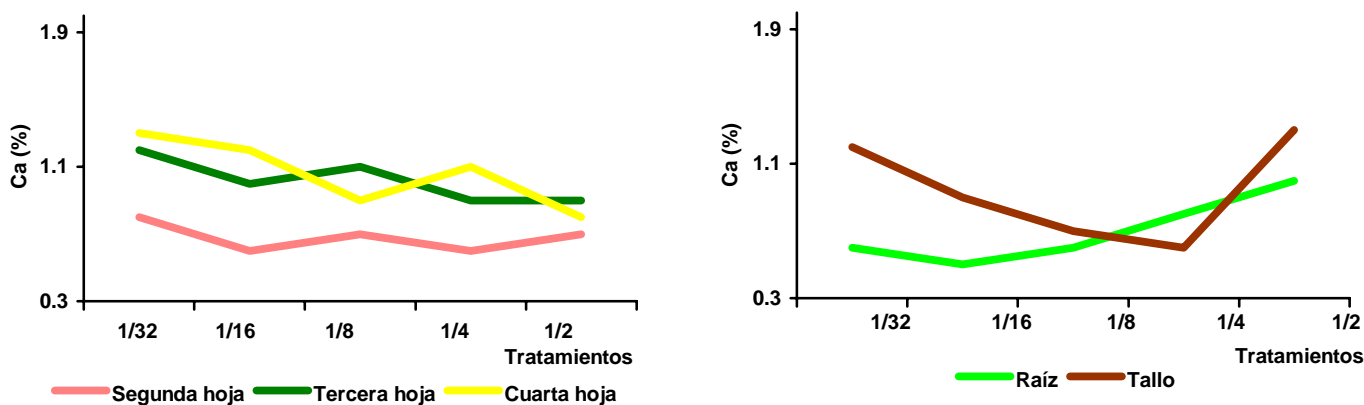


Fig. 24. Efecto del fósforo sobre el contenido de calcio en *Panicum maximum* cv. Likoni.

El patrón de respuesta fue muy variable, exceptuándose la tercera hoja que mostró un descenso de este elemento a medida que aumentaba la concentración de P en el medio; mientras que en las raíces los tenores de dicho elemento se incrementaron conforme aumentó el P en la solución, contrariamente a los tallos, aunque a partir del tratamiento 1/4 hubo un ascenso.

Con respecto a la relación P/Ca (tabla 15), se puede apreciar también un incremento de esta a medida que aumenta la concentración de P en el medio externo.

Dentro del tejido foliar la segunda hoja tuvo mayor valor de esta relación, siguiéndole en orden descendente la tercera y cuarta hoja.

Tabla 15. Efecto del P en la relación P/Ca en la hierba Likoni.

Órgano	Tratamientos					
	1/32	1/16	1/8	1/4	1/2	X
Segunda hoja	0,09	0,14	0,14	0,26	0,34	0,194
Tercera hoja	0,05	0,06	0,07	0,15	0,24	0,114
Cuarta hoja	0,04	0,05	0,07	0,10	0,21	0,094
Raíz	0,23	0,27	0,27	0,34	0,29	0,280
Tallo	0,7	0,11	0,13	0,24	0,30	0,170
X	0,096	0,0126	0,136	0,218	0,276	

De todos los órganos analizados en esta relación, la raíz fue la que tuvo un mayor valor.

Se puede observar además los altos incrementos que se obtuvieron en los tratamientos en que las concentraciones de P fueron mayores.

En cuanto al contenido de Mg (fig. 25) se pudo observar un descenso de este elemento hasta el tratamiento  $\frac{1}{8}$  para incrementar y descender posteriormente; estas variaciones fueron más intensas en la cuarta hoja.

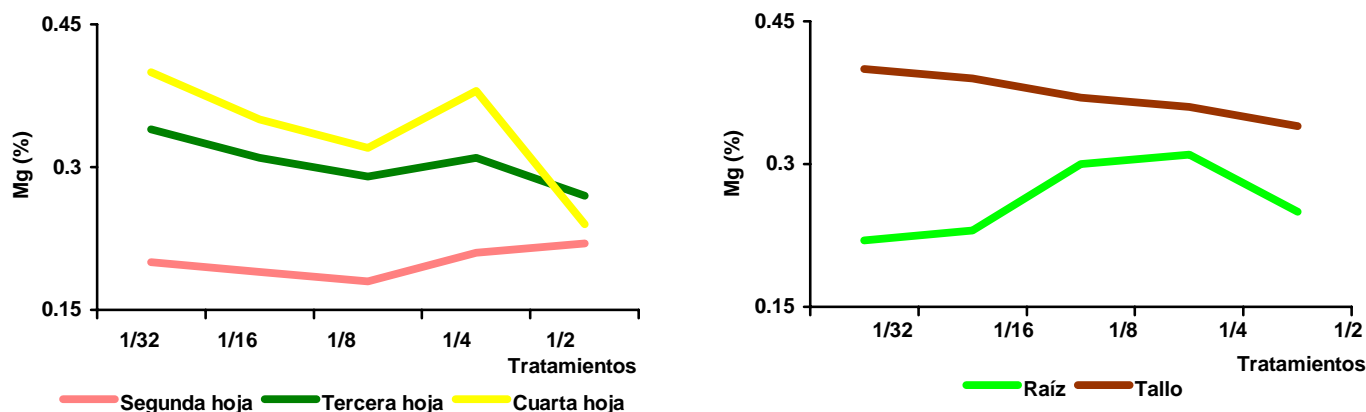


Fig. 25. Efecto del fósforo sobre el contenido de magnesio en *Panicum maximum* cv. Likoni.

Como se puede notar, los mayores contenidos fueron alcanzados en la cuarta hoja, siguiéndole la tercera y segunda hoja con valores promedio de 0,34; 0,304 y 0,204% respectivamente.

Los tallos fueron los órganos que tuvieron un mayor contenido de Mg (0,37%); se nota una disminución con los tratamientos, mientras que las raíces no tuvieron una respuesta definida, aunque a partir del tratamiento  $\frac{1}{4}$  hubo una caída la igual que en las hojas.

Analizando la tabla 16 se puede observar un aumento de la relación P/Mg a medida que aumenta la concentración de P en la solución nutritiva, con fuertes incrementos al igual que en la relación P/Ca con los niveles superiores de P en el medio externo.

Tabla 16. Efecto del P en la relación P/Mg en la hierba likoni.

Órgano	Tratamientos					
	1/32	1/16	1/8	1/4	1/2	X
Segunda hoja	0,35	0,43	0,50	0,68	1,17	0,624
Tercera hoja	0,18	0,19	0,24	0,43	0,81	0,368
Cuarta hoja	0,15	0,17	0,23	0,33	0,61	0,298
Raíz	0,57	0,59	0,48	0,75	0,96	0,670
Tallo	0,20	0,23	0,27	0,44	0,85	0,398
X	0,29	0,32	0,34	0,52	0,88	

La segunda hoja fue la que tuvo en todos los niveles estudiados una mayor relación P/Mg, siguiéndole la tercera y la cuarta hoja.

## Discusión

La marcada respuesta entre los diferentes niveles de suministro de fósforo confirman lo expresado en el capítulo anterior acerca de que la hierba likoni hace un buen uso de este elemento, según se pudo observar en las figuras 10 y 11.

El rendimiento de MS de las diferentes hojas analizadas nos demuestran que los niveles de P aplicados influenciaron en el incremento del área foliar, que aunque no fue cuantificada, se pudo observar notoriamente que las hojas más jóvenes (segunda) eran más largas y anchas en comparación con las más viejas ontogenéticamente (tercera y cuarta).

A iguales conclusiones llegaron Bouma y Dowling (1966) y Biddiscombe, Ozanne, Barrow y Keay (1969), cuando evaluaban un grupo de pastos ante la nutrición fosfórica.

Por otra parte, el desarrollo en altura fue muy evidente a medida que se aumentaba la concentración de P en la solución nutritiva, que conjuntamente con el incremento del área foliar, fueron los dos factores morfológicos de la parte aérea de la planta que motivaron respuesta de este cultivar.

También se pudo observar que el crecimiento de los tallos fue el que tuvo un desarrollo superior; la concentración óptima fue de 0,165 ppm de P, aunque a partir de esta se observó un consumo de lujo de este elemento. Muchas investigaciones han concluido los efectos benéficos del fósforo para el crecimiento y desarrollo de los tallos; así, Drew (1975) observó que la deficiencia de P inhibió el crecimiento de los tallos, también Schenk y Barber (1979) en el cultivo de maíz obtuvieron un incremento significativo en el peso de este órgano cuando aplicaron diferentes dosis de P en el suelo.

Con respecto al desarrollo radicular, se puede apreciar que este se incrementó conforme aumentaba la concentración de P en el medio no se observó consumo de lujo, a diferencia de las hojas y tallos a partir de 0,165 ppm de P en el medio, por lo que se confirma la importancia que tienen este nutrimento para el desarrollo de las plantas.

Existen muchos informes acerca de la influencia de este elemento sobre el desarrollo del sistema radicular. Weaver y Clements (1938) observaron que el fósforo promovió la longitud y la ramificación de las raíces y McLachlan (1976) sugirió que la eficiencia de utilización del P estuvo asociada a la morfología del sistema subterráneo de las plantas y a su velocidad de crecimiento como estas crecían en diferentes situaciones de disponibilidad de P.

Estos resultados nos confirman los obtenidos en el capítulo anterior cuando evaluábamos cuatro cvs. de la especie *Panicum maximum*, en el cual obtuvimos un incremento lineal de las raíces con las dosis de P y donde le concedemos gran importancia a este órgano, ya que consideramos que la habilidad de las especies para crecer en suelos con limitaciones en el régimen fosfórico está asociada con una alta capacidad de absorber el P a bajos niveles de suministro y/o bajos requerimientos internos, lo que pueda estar asociado a un gran desarrollo del sistema radicular.

Es muy significativo que la concentración de 0,165 ppm fue máxima para todos los órganos y se observa un consumo de lujo de P en el nivel superior, ya que no hubo crecimientos significativos de rendimiento de MS; mientras que las raíces no incrementó su tenor en los tejidos de este elemento, y sin embargo continuó incrementando su rendimiento de MS.

Este desarrollo del sistema radicular influyó positivamente en la parte aérea, donde se obtuvo un crecimiento casi lineal hasta la concentración 0,165 ppm en la solución nutritiva que la especie hizo un buen aprovechamiento de este elemento. Esta misma respuesta la obtuvimos con 100 kg P/ha en el capítulo anterior, donde a niveles superiores los incrementos fueron significativos.

Lo planteado anteriormente acerca de la habilidad de la especie a crecer en condiciones de baja disponibilidad de fósforo está asociado a la alta capacidad de absorber P a bajo niveles de suministro y se confirma en la figura 12, ya que cuando en la solución nutritiva había 0,0205 ppm de P fue cuando hubo una mayor absorción por las raíces y su posterior translocación a los diferentes órganos analizados en las 5 horas de exposición en la solución radioactiva.

La acumulación en las hojas está asociada a las diferencias en el desarrollo ontogenético, ya que en las fases tempranas del desarrollo o las más jóvenes requieren mayor concentración en sus tejidos por la alta actividad fisiológica y bioquímica que poseen las mismas. Resultados similares hallaron Christie y Morby (1975) en un grupo de plantas incluyendo al *Cenchrus ciliaris* y Kastori *et al.* (1980) en hojas de maíz, donde obtuvieron además una mayor actividad respiratoria.

Loughman, Roberts y Godwin-Baley (1982) notaron, al igual que nosotros, una mayor absorción y acumulación de este elemento en las raíces que en los tallos, pero en plantas de maíz, donde se puede observar que este constituye un órgano importante de reserva de dicho elemento y que puede ser translocado a otros de mayor demanda, al igual las hojas jóvenes.

A partir de la concentración 0,0285 ppm de P en la solución externa las diferencias en la absorción y distribución no son muy marcadas; sin embargo, en las raíces se observó un incremento casi lineal. Esta respuesta pudiera deberse a que estos están más desarrollados fisiológicamente comparándolos con la figura 10, ya que el flujo de P está determinado por el grado de desarrollo de la raíz, además de estar controlado según Michalik (1982) por un complejo anato-morfológico, así como por mecanismos moleculares que son los responsables para la recepción y acumulación de iones.

Con respecto a las fracciones de P no fue posible establecer tendencias regulares con respecto a los niveles de P aplicado en la solución externa. Ello pudiera deberse a la gran reactividad bioquímica que presentan estos compuestos, lo que corrobora lo planteado por Bieliski (1973) acerca de que el tiempo de vida media de estos es muy breve dentro del vegetal. No obstante, la tendencia observada de disminuir el P total en las raíces y de aumentar en todos los órganos de la parte aérea a medida que aumenta las dosis de P en el medio, nos pudiera decir la gran movilidad de este dentro de la planta para mantener los rendimientos de materia seca obtenidos.

Llama la atención que en la raíz el P-inorgánico es menor que en los tejidos fotosintéticamente activos, ya que en el sistema radicular ocurre el aumento en la concentración con respecto a la solución externa en sus mecanismos de absorción, pero al parecer se pone en evidencia el eficiente sistema xilemático de translocación

que hace que disminuya su concentración rápidamente, aspecto importante entre los factores a considerar en la eficiencia de utilización de este elemento.

Ortega, Musienko y Diez-Cabezas (1982a) informaron en caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) variaciones estadísticas significativas en cuanto a la concentración de esta fracción en dependencia de la parte de la planta y no tuvo efectos marcados la edad ni la dosis de  $P_2O_5$  aplicado al suelo, lo que se asemeja a nuestros resultados.

Estas variaciones obtenidas en cuanto a fósforo inorgánico pudieran estar argumentadas por lo planteado por Rubín (1976), en que este actúa como una fuente activa de reserva para la formación de compuestos fosforados, aumentando su capacidad de reacción en la medida que se incorpore a la formación de sustancias orgánicas.

En cuanto a los fosfolípidos es de notarse que en la porción apical de la raíz fue donde se detectó una gran concentración, debido probablemente a la mayor actividad meristemática producto del alto grado de división celular, lo que implicaría una mayor cantidad de células por volumen de tejido, por lo que debe de haber más membranas que contienen fosfolípidos en su estructura biológica.

Independientemente de no haber un patrón regular y definido del efecto de los niveles de fósforo sobre esta fracción, se puede notar la tendencia de que esta disminuye con el P aplicado al medio en el sistema radicular; mientras que en la parte aérea tiende a aumentar. Iguales tendencias fueron detectadas en las fosfoproteínas, tanto en la parte aérea como en el sistema radicular, poniendo en evidencia la translocación de estos hacia los tejidos fotosintéticos para la formación y síntesis de materiales celulares, lo que se traduce en un aumento de materia seca por efecto de la nutrición fosfórica.

Esta tendencia de aumentar las fosfoproteínas en la parte aérea con los niveles de P la podríamos asociar con el incremento de las relaciones P/K y P/Mg que también aumentan con la dosis de P, debido posiblemente a la gran importancia que tienen estos dos cationes en la síntesis proteica, ya que según Evans y Wildes (1971) el  $K^+$  es un activador enzimático actuando además en la fosforilación oxidativa; mientras que el  $Mg^{++}$ , de acuerdo con lo planteado por Bamji y Jagendorf (1966), es altamente necesario para la consistencia y estabilidad de los ribosomas, por lo que la síntesis de proteínas depende extraordinariamente de estos dos elementos, que conjuntamente con el fósforo que participa activamente en la formación de compuestos intermediarios y coenzimas que son esencialmente para el metabolismo energético, hacen que esta fracción aumente en dependencia de los niveles de P aplicado.

Con respecto a la fracción de los ácidos nucleótidos, también como era de esperarse la mayor cantidad fue localizada en la zona apical de la raíz, dada la actividad fisiológica que realiza la misma. También esta fracción, al igual que las anteriores, nos mostró un patrón de respuesta definida ante los diferentes suministros de fósforo en la solución nutritiva y fue ligeramente superior en el sistema radicular con respecto a la parte aérea.

No es posible establecer ninguna relación de esta fracción con el crecimiento de la planta, ni con la relación P/K, a pesar de que se le concede a estos dos elementos una gran importancia en la síntesis de los ácidos nucleicos, ya que según Hiatt (1965) una deficiencia de K en el medio la síntesis de estos compuestos puede ser afectada por una inhibición de las purinas; sin embargo, Hsino, Hagemay y Tyber (1968) investigaron el efecto de este elemento sobre los ácidos ribonucleicos en maíz y no encontraron una gran alteración sobre el metabolismo de este compuesto como para que fuera un factor limitante del crecimiento.

En la parte aérea de la planta, los descensos obtenidos en el tratamiento  $\frac{1}{8}$  se podría asociar con la caída del N en el mismo, lo que puede estar relacionado con alguna deficiencia en el manejo experimental.

No obstante, aunque no hubo un efecto marcado en la nutrición fosfórica sobre el metabolismo de este en la hierba guinea likoni, si se pudo detectar tendencias importantes y asociaciones con la eficiencia de utilización de este nutrimento.

En cuanto a la actividad respiratoria es muy evidente el consumo de  $O_2$  que hacen las raíces apicales a medida que se incrementa la concentración de P en el medio externo. Esta respuesta era lógica de esperar, debido a que en esta porción del mismo es donde se localiza una mayor actividad meristemática, fisiológica y bioquímica, lo que pudo estar condicionado por una mayor actividad del  $NADH^+$  y  $NADP^+$ -citocromo C oxidasa, entre otras enzimas, según Zaitseva (1984).

Es interesante que un aumento de peso seco en la raíz por efecto del P en el medio externo va acompañado en la respiración radicular por un aumento, aspecto de gran importancia en la toma de nutrimentos (Starck, 1973), lo que repercutió en la parte aérea.

Con respecto a la acumulación de N inducido por el suministro de P en el medio externo, se vuelve a observar la mayor acumulación en las hojas más jóvenes fisiológicamente, notándose incrementos en sentido general, y a partir de la concentración 0,165 ppm de P que fue la óptima para el crecimiento y desarrollo de esta especie, se observa una disminución, dada por los efectos de una dilución de la fracción nitrogenada, motivada por el aumento de materia seca (Chesney, 1972) del forraje.



Si consideramos lo planteado por Paretas *et al.* (1983) acerca de que el contenido óptimo del follaje en los pastos tropicales es de 1,5% de N con valores extremos de 0,5 a 2,5%, podemos plantear que en estas condiciones de nutrición fosfórica todos los órganos analizados estuvieron por encima de esos valores.

Es de notar que en las raíces existe un alto contenido de este elemento, aspecto que es importante, ya que este se puede translocar en un momento determinado hacia los órganos de una mayor actividad fisiológica, así como los tallos que poseen una concentración de N, dada por la relación inversa entre el N x 6,25 y el contenido de fibra, donde estos son muy fibrosos.

Volvemos apreciar en la figura 22 los altos contenidos de nutrimentos en las hojas más jóvenes. El aumento del contenido de fósforo con el aumento del mismo en la solución externa, nos confirma lo obtenido en el capítulo anterior sobre la capacidad de esta especie de absorber P sobre todo en suelos de baja fertilidad.

No obstante, estos valores son inferiores a los encontrados para dicho cultivar (0,19%), pero está dado por las diferencias metodológicas y experimentales, ya que ese valor lo determinamos en la parte aérea completa de la planta, donde había materiales en diferentes estados fenológicos.

Sin embargo la relación N/P fue importante en la eficiencia de utilización, ya que esta disminuye gradualmente a medida que aumenta el suministro de P. esta relación es altamente importante según Garten (1976), debido a que está muy vinculada al material citoplasmático y nuclear, incluyendo a la membrana celular, ácidos nucleicos, ATP, ADP y NADP, por lo que nos indica además la estrecha asociación en la bioquímica de la planta y particularmente en la síntesis proteica y otros procesos metabólicos.

Con respecto a esta relación, obtuvimos en el capítulo 3 que un alto cociente nos indicó una mayor EUP debido a la poca disponibilidad del elemento en el suelo, por lo que se debe esperar una fuerte reacción de la planta ante la fertilización fosfórica.

En cuanto al influjo de K motivado por las dosis crecientes de P existen numerosos informes, los cuales plantean un incremento de esto a medida que se incrementa P en el medio externo (Gardner, Jackson, Webster y Turley, 1969; Hemingway, 1961; Mesa, Hernández y de la Cruz, 1983, entre otros autores), debido posiblemente a que el P aumenta la síntesis de ATP y puede incrementar el influjo de cationes. Por otra parte, se conoce además que los tenores potásicos disminuyen con el P del suelo en algunas gramíneas tropicales, según Andrew y Robins (1971) y Hernández y Acosta (1979) por lo que las diferencias pudieran estar motivadas por las características genéticas de la especie, condiciones experimentales, así como por la acción de otros factores.

El contenido de K mostró una tendencia a disminuir con altas dosis de P y no existieron grandes variaciones entre los diferentes órganos, sin embargo, fue importante también la relación P/K en la respuesta de la planta ante los diferentes tratamientos, ya que un incremento de MS por unidad de P aplicado va acompañado de un incremento de esta relación.

El alto contenido de Ca en cualquiera de los órganos estudiados de la likoni, nos demuestra el alto grado de exigencia de este nutrimento, aspecto que ha sido planteado por Oyenuga (1969); Caro-Costas, Vicente-Chandler y Figarella (1960); Long, Noyanabo, Marshall y Thornton (1969) entre otros actores, por lo que sus valores se encuentran dentro de un rango normal.

El Ca es un elemento estrechamente relacionado con los materiales fibrosos, ya que forma parte activa de los componentes de la pared celular, y como ha de esperarse, un aumento de madurez fisiológica trae por consiguiente un aumento también del mismo (Silveira, Tosi, Faria y Spers (1973), por lo que la segunda hoja tuvo un menor contenido.

Este elemento dio un patrón de respuesta muy irregular, similares a los obtenidos por Paton y Loneragan (1960) y Mesa (1985), por lo que al parecer el efecto del P sobre el contenido de Ca, al menos en los pastos tropicales no se encuentra bien esclarecido; sin embargo, resulta interesante como un aumento en el rendimiento de MS, y sus valores son insignificantes cuando es baja la disponibilidad en el medio y mayor en las hojas jóvenes.

El contenido de Mg es otro elemento de gran importancia en la fisiología de las plantas, al encontrar incrementos con la madurez de la hoja. Resultados similares obtuvieron Próspero Peixoto (1972) en la variedad Napier del pasto elefante (*Pennisetum purpureum*).

Por otra parte, fue interesante también la eficiencia de utilización del fósforo un incremento en la relación P/Mg, muy baja cuando la disponibilidad de este es baja en el medio. El incremento de esta relación debe ser una consecuencia de la participación activa que tienen estos dos nutrimentos en la fisiología de la planta, ya que el Mg es esencial en el metabolismo de los azúcares, catalizando la formación de Acetil-CoA, los cuales son compuestos claves en el ciclo de Krebs (Conn y Stumpf, 1972); además, activa todas las enzimas de la transferencia de P desde el ATP hacia el ADP y por esta razón ejerce influencia en todos los procesos vitales (Maynard y Loosli, 1969). También este elemento forma parte importante en la molécula de clorofila, esencial para la fotosíntesis, por lo que esta relación tiene gran importancia y fundamentalmente en las hojas de mayor actividad bioquímica.

Se puede concluir en este capítulo que la eficiencia de utilización del fósforo en esta especie está dada por el gran desarrollo radicular de la misma y por poder absorber dicho elemento a bajas concentraciones. Fueron muy importantes las relaciones entre el N/P, P/K, P/Ca y P/Mg, ya que un incremento en el rendimiento de MS con los niveles de P acompañado con una disminución de la primera relación y un aumento de las otras, lo que repercute de forma importante en la bioquímica de la planta.

Se pudo observar además el eficiente sistema de translocación xilemática de la hierba guinea likoni, al comparar las variaciones entre el AP de la raíz y el de los tejidos fotosintéticamente activos.

Aunque no hubo una estrecha asociación entre las fracciones orgánicas de P en la planta y los niveles de P aplicado en la solución nutritiva, sí hubo tendencias claras con respecto a los fosfolípidos y fosfoproteínas, que tienden a aumentar en la parte aérea y a disminuir en el sistema subterráneo.

Con los ácidos fosfonucleótidos no pudo establecerse ningún patrón de respuesta con respecto a la nutrición fosfórica.

Debemos señalar además que la porción apical del sistema radicular mostró un mayor contenido de las fracciones orgánicas comparándola con lo obtenido en la parte aérea.

## Capítulo 6. Efecto de dosis y fuente de fósforo sobre la eficiencia de utilización del P en *Panicum maximum* cv. Likoni en dos tipos de suelos

El elevado costo unitario del fertilizante fosfórico, unido a las grandes deficiencias de este elemento y a la fijación en los suelos, en una mayor o menor cuantía, requiere del desarrollo de un sistema de manejo que determine un uso más eficiente del mismo aplicado a los suelos. Por tal razón, Sánchez y Uehara (1980) sugieren, entre otros aspectos, determinar la dosis de aplicación y el uso de fuentes fosfóricas menos costosas para la producción de pastos y forrajes.

El objetivo del presente capítulo es estudiar la influencia de diferentes niveles de fósforo en forma de superfosfato triple (SPT) y roca fosfórica (RF) sobre la eficiencia de utilización del fósforo en *Panicum maximum* cv. Likoni en suelos Ferralítico Rojo hidratado y Ferralítico Cuarácico amarillo lixiviado.

### Materiales y métodos

**Tratamientos y diseños.** Como fuente fosfórica se utilizaron el superfosfato triple comercial y la roca fosfórica procedente de La Pimienta, Pinar del Río.

Los suelos empleados fueron Ferralítico Rojo hidratado y Ferralítico Cuarácico amarillo lixiviado, los cuales fueron descritos y estudiados en los capítulos 2 y 3 respectivamente.

Los tratamientos consistieron en la aplicación de niveles de P, de acuerdo con la capacidad máxima de retención de los suelos. Para esto, se determinó la isoterma de adsorción por Langmuir y a partir de la gráfica se encontró el valor de saturación (Nuviola *et al.*, inédito).

La dosis se calcularon de acuerdo con lo planteado anteriormente y las sugerencias de Woodruff y Kamprath (1965), utilizadas por Coronel y López-Hernández (1981), entre otros autores. Estas fueron: 0, 25, 50, 100, 125 y 150 mg de P/kg de suelo para el primer tipo de suelo y 0,75, 150, 300, 375 y 400 mg de P/kg para el segundo tipo de suelo respectivamente para el superfosfato triple.

En todos los casos se aplicó el doble de la dosis cuando se utilizó RF, según las recomendaciones de Millar (1967).

Se emplearon cuatro repeticiones en un diseño de bloques al azar.

La composición química de la RF se expresa en la tabla 17.

Tabla 17. Composición química de la roca fosfórica (%).

P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	F
19	28,25	1,23	0,73	46,10	2,12	0,86

**Procedimiento.** El experimento se condujo bajo condiciones controladas de casa de cristal. Los fertilizantes fosfóricos, según los tratamientos, se aplicaron sobre la superficie mezclándose homogéneamente en los primeros 5-7 cm de profundidad. El N y el K fueron aplicados a razón de 120 y 150 kg/ha en forma de urea y KCl respectivamente. El N fue fraccionado en 60 kg/ha después de germinadas las plantas y el resto después de cada corte.

El contenido de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de cada maceta fue medido al final del experimento por el método de Oniani (1974).

El coeficiente de aprovechamiento de los diferentes portadores de P, se estudió mediante la siguiente fórmula:

$$K = \frac{B_1 - B_0}{n}$$

Donde:

K= Coeficiente de aprovechamiento (mg de MS/mg de P, kg<sup>-1</sup> de suelo)

B1= Extracción de P (mg de P/maceta) del tratamiento fertilizado

B0= Extracción de P del tratamiento testigo

N= Dosis de P aplicado (mg de P, kg<sup>-1</sup> de suelo)

El rendimiento de MS se analizó por la prueba de rango múltiple de Duncan (1955) para hacer las comparaciones entre las medias, al igual que las extracciones de P.

En el suelo rojo no se estudió el efecto del SPT, debido a que en nuestro país está generalizado un resultado de la investigación a la práctica productiva en aplicar P cada 5 ó 6 años en dosis de 50 a 60 kg/ha. Por tal razón en este tipo de suelos estudiamos solamente el efecto de la RF nacional.

### Resultados

En el suelo Ferralítico Rojo hidratado, no se obtuvieron diferencias significativas entre las diferentes dosis de P aplicado al suelo, en cuanto al rendimiento de MS cuando se utilizó la RF, según se puede apreciar en la tabla 18.

Tabla 18. Efecto de diferentes niveles de RF sobre le rendimiento de MS (g/maceta) en la hierba likoni en el suelo Ferralítico Rojo hidratado.

Tratamiento	Primer corte	Segundo corte	Tercer corte
0	15,53	20,80	25,33
50	16,93	19,73	25,26
100	15,00	22,93	28,00
200	16,27	21,93	26,06
250	17,00	22,73	28,33
300	17,26	20,60	26,40
ES X	2,5532	2,5083	2,4826
Signif.	NS	NS	NS

Se pueden observar además ligeros incrementos de MS en todos los tratamientos, a medida que aumenta el número de cortes.

La respuesta de la hierba likoni a los diferentes portadores de fósforo en el suelo Ferralítico Cuarácítico amarillo lixiviado se hizo evidente según se puede observar en las figuras 26 y 27, mostrando diferencias significativas ( $P < 0,01$ ) con respecto al control.

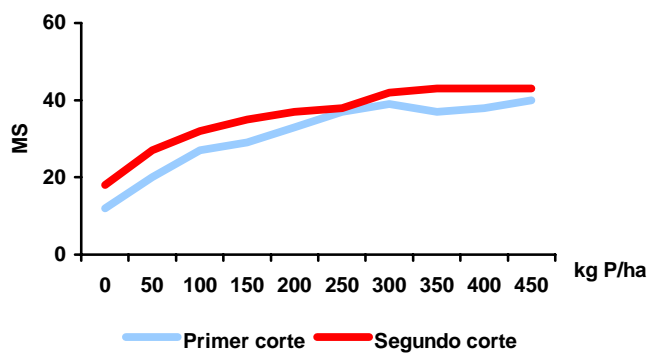


Fig. 26. Efecto del SPT sobre el rendimiento de MS (g/macolla) en *Panicum maximum* cv. Likoni en el suelo Ferralítico Cuarácítico amarillo lixiviado.

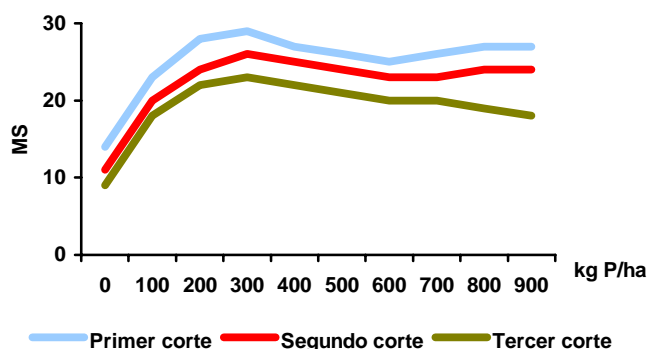


Fig. 27. Efecto de la RF sobre el rendimiento de MS (g/macolla) en *Panicum maximum* cv. Likoni en el suelo Ferralítico Cuarácítico amarillo lixiviado.

En cuanto al SPT, se obtuvo un rendimiento máximo de 41,90 y 4386 g de MS/maceta con el nivel de 300 mg de P/kg de suelo. Con respecto al control se observaron incrementos de 30,67 y 26,60 g de MS/maceta para el primer y segundo corte respectivamente.

En el tratamiento control hubo un ligero incremento de 6,03 g de MS/maceta, en comparación con el segundo corte.

Con respecto a la RF en este suelo también hubo diferencias significativas entre tratamientos ( $P < 0,01$ ) con rendimientos máximos de 15,26; 16,27 y 14,80 g de MS/maceta para el primer, segundo y tercer corte respectivamente con el nivel de 300mg de P/kg de suelo.

En el tratamiento control también se observaron ligeros incrementos, de 1,87 y 5,54 g de MS/maceta con respecto a la primera cosecha.

Se pudo observar además que los rendimientos de MS con el empleo de RF fueron inferiores a los obtenidos con el SPT. Así, en la dosis de 300 mg de P/kg de suelo, hubo una reducción promedio de 62,64%.

En cuanto a las extracciones de P (mg de P/maceta), se pudo constatar que esta aumenta a medida que aumenta el nivel de P en el suelo, y fue mayor en el suelo Ferralítico Cuarácítico amarillo lixiviado cuando se le aplicó superfosfato triple.

En la tabla 19 en el suelo Ferralítico Rojo hidratado con el uso de RF no hubo diferencias significativas entre tratamientos; mientras que el suelo Ferralítico Cuarácítico amarillo lixiviado con este mismo portador la diferencia fue con respecto al control  $P < 0,1$  y con el empleo de SPT las diferencias entre tratamientos  $P < 0,01$  fueron más marcadas.

Tabla 19. Efecto de diferentes niveles de SPT y RF sobre la extracción de P (mg/maceta) por la hierba likoni en dos tipos de suelo.

Tratamiento	Ferralítico Rojo hidratado		Ferralítico Cuarácítico amarillo lixiviado	
	RF	RF	RF	SPT
1	0,673	0,546 <sup>b</sup>	0,546 <sup>c</sup>	0,546 <sup>c</sup>
2	0,641	1,350 <sup>a</sup>	2,775 <sup>b</sup>	2,775 <sup>b</sup>
3	0,683	1,580 <sup>a</sup>	4,176 <sup>b</sup>	4,176 <sup>b</sup>
4	0,775	1,257 <sup>a</sup>	6,696 <sup>a</sup>	6,696 <sup>a</sup>
5	0,765	1,301 <sup>a</sup>	6,579 <sup>a</sup>	6,579 <sup>a</sup>
6	0,782	1,119 <sup>a</sup>	7,526 <sup>a</sup>	7,526 <sup>a</sup>
ES X	0,1513	0,2336 <sup>*</sup>	1,0189 <sup>**</sup>	1,0189 <sup>**</sup>

<sup>a,b,c</sup> Letras no comunes difieren significativamente a  $P < 0,05$  (Duncan, 1955)      <sup>\*</sup> $P < 0,1$       <sup>\*\*</sup> $P < 0,01$

Con respecto al coeficiente de aprovechamiento se pudo constatar que este disminuye a medida que aumenta la dosis de P, lo mismo en forma de SPT que de RF (fig. 28).

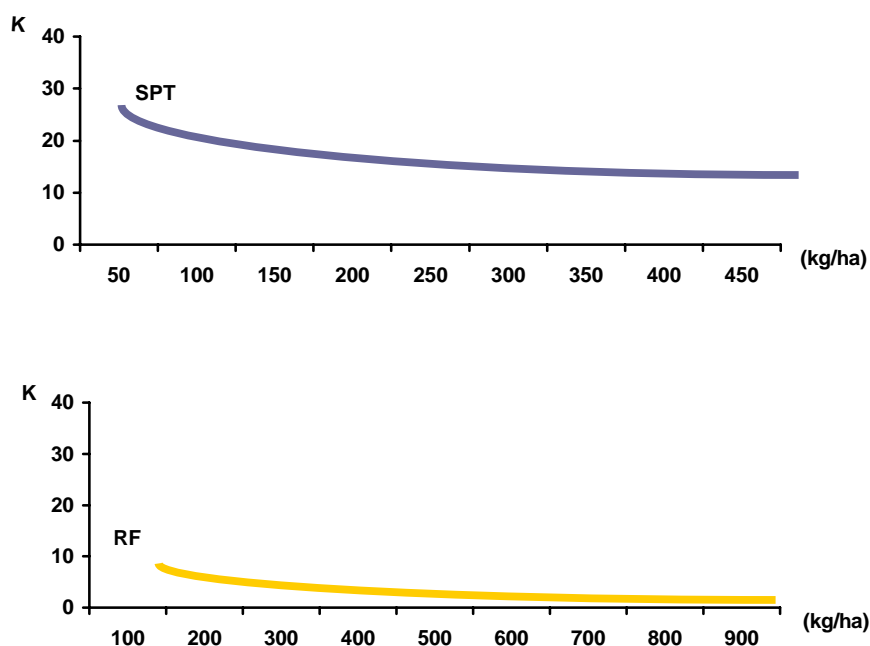


Fig. 28. Coeficiente de aprovechamiento (K) del SPT y RF en un suelo Ferralítico Cuarácítico amarillo lixiviado.

Se puede observar además que el mayor aprovechamiento se obtuvo con el SPT en comparación con la RF.

El abastecimiento de  $P_2O_5$  (%) en ambos tipos de suelo y con el uso de los portadores según los tratamientos y al final del período experimental, se puede observar en la tabla 20.

Se puede notar que este se incrementó a medida que aumentaron las dosis de aplicación con los dos tipos de fuente en ambos suelos. El contenido de  $P_2O_5$  con la aplicación de RF en el suelo arenoso fue mayor que cuando se aplicó SPT.

Tabla 20. Efecto de diferentes niveles de SPT y RF sobre el abastecimiento de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (%) en ambos tipos de suelo.

Tratamiento	Ferralítico Rojo hidratado		Ferralítico Cuarácítico amarillo lixiviado	
	RF	RF	RF	SPT
1	3,69	1,02	1,02	1,02
2	21,87	25,94	10,20	10,20
3	19,63	46,28	24,21	24,21
4	39,97	58,43	6,696 <sup>a</sup>	6,696 <sup>a</sup>
5	41,72	67,50	34,80	34,80
6	52,00	81,10	72,06	72,06

## Discusión

La alta respuesta al fósforo obtenida en este experimento en el suelo Ferralítico Cuarácítico amarillo lixiviado, corrobora lo planteado en el capítulo 3, sobre la necesidad de aplicar fertilizantes fosfóricos para incrementar el rendimiento de los pastos en suelos deficientes de este elemento. Sin embargo, en el suelo Ferralítico Rojo hidratado, la ausencia de respuesta nos asegura también el adecuado suministro de P disponible presente en el mismo para el cultivo de los pastos.

Analizando el primer suelo mencionado anteriormente, los rendimientos de MS con las dos fuentes fosfóricas estudiadas nos resultan los valores superiores obtenidos con el SPT, que casi fueron duplicados con respecto a la RF, lo que nos permite plantear la lenta solubilidad de su P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de esta última, según lo informado por Aguirre (1963) y Duthil (1973), entre otros autores.

Esta lenta solubilidad del P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> de la RF se pone de manifiesto en los ligeros incrementos de MS obtenidos en el segundo y tercer corte, lo que pudo repercutir también en el abastecimiento de este elemento en el suelo.

Haciendo una valoración del método utilizado para seleccionar las dosis de fertilizantes de acuerdo con Woodruff y Kamprath (1965, el cual consistió en tomar como punto central la capacidad máxima de retención de fósforo de acuerdo con las isotermas de Langmuir, dividida entre cuatro para los suelos altamente fijadores, y entre dos para los suelos de textura arenosa y con una retención entre 50-300 mg de P/kg. En nuestro caso los puntos centrales fueron 100 y 300 mg de P/kg de suelo para los suelos Ferralítico Rojo hidratado y Ferralítico Cuarácítico amarillo lixiviado respectivamente. En este método la producción real obtenida y máxima debe aproximarse a un rendimiento óptimo en dichos puntos.

Según se pudo observar, solamente en el suelo de baja sorción obtuvimos que el método de rendimiento se obtiene con la dosis de 300 mg de P/kg de suelo. Esto puede deberse a que este método incluye los factores intensidad y capacidad, según Coronel y López-Hernández (1981), quienes lograron buenos resultados en un estudio de cinco suelos venezolanos. Sin embargo, en el suelo de textura arcillosa, y a la vez, altamente fijador, no obtuvimos respuesta. Resultados similares a los de este último suelo han sido planteados por Fenster y León (1978) y Smith y Sánchez (1980) al aplicarlo en algunos oxisoles y ultisoles de América tropical, teniendo como resultados en algunos casos una exageración de la dosis de fertilizante fosforado recomendada.

Esta variabilidad de los resultados pudiera depender de la especie de pasto, estado de desarrollo de la planta y fundamentalmente de las propiedades del suelo en relación con la difusión del fósforo hacia las raíces.

Millar (1967); Boris, Recio y Berrayarza (1971) y Aspiolea, Ávila y Valdés (1977) plantean que en los suelos ácidos es factible la sustitución de superfosfatos por cantidades duplicadas de RF; sin embargo, cuando se aplica esta última de acuerdo con la capacidad máxima de retención de los fosfatos, no es necesario duplicar las dosis de RF con respecto al SPT, ya que el suelo con una simple dosis es capaz de saturarse y poder abastecer al cultivo.

Los incrementos del rendimiento de MS en los cortes sucesivos en el tratamiento control, pudieran deberse a un mayor desarrollo del sistema radicular, capaz de hacer una mayor absorción de nutrimentos que repercuten en la parte aérea, tal como obtuvimos en los cuatro cultivares de *Panicum maximum* según se pudo apreciar en capítulo 2.

El efecto de la RF parece ser a largo plazo para que los rendimientos de MS puedan aproximarse a los obtenidos con el empleo del SPT. Similares conclusiones obtuvieron Alfonso, Battle y Rodríguez (1979) cuando evaluaban el efecto del superfosfato sencillo y RF (nacional e importada) sobre la hierba guinea en un suelo Pardo tropical, pues a partir del sexto corte, estas comenzaron a mostrar su efectividad. No obstante, los mayores rendimientos de MS obtenidos con el SPT pueden deberse posiblemente, a la presencia de azufre en mayor concentración, que es un elemento que limita la respuesta de los pastos en suelos de textura arenosa y de baja fertilidad, tal como ha sido informado por Aspiolea, Ávila y Valdés (1977) y Aspiolea, Portieles y Valdés (1978), que concuerdan con lo planteado por Millar (1967) acerca de que la diferencia de los rendimientos entre los superfosfatos con los demás portadores fosfóricos, puede estar relacionada con su mayor riqueza de azufre.

En el suelo rojo, independientemente de que no se obtuvieron diferencias significativas entre tratamientos a pesar del adecuado suministro de P asimilable en el suelo, sí se pudo constatar ligeros incrementos de MS a

medida que aumentaba el número de cortes, o sea, mayor tiempo de contacto entre la RF y el suelo, por lo que su utilización a largo plazo, tal como está planteado en nuestro país, pudiera ser de gran ventaja desde el punto de vista económico.

Las dosis elevadas de RF no produjeron efecto fitotóxico alguno, no influyeron negativamente sobre el rendimiento de MS y garantizaron un gran abastecimiento de  $P_2O_5$ .

La extracción de P (g/maceta) se incrementó significativamente con los niveles de aplicación de este nutrimento al suelo, lo que concuerda con Aspiolea, Ávila, Valdés y Portieles (1979) en la hierba pangola (*Digitaria decumbens*), debido al incremento de P en el pasto.

En el suelo Ferralítico Rojo hidratado y con el empleo del SPT se obtuvo la mayor extracción de fósforo por el pasto, debido a la mayor solubilidad de este portador con respecto a la RF y al mayor rendimiento de MS obtenido; las mayores extracciones de este nutrimento coincidieron con las necesidades para un mayor rendimiento de MS aproximadamente. Resultados similares han sido obtenidos por Aspiolea, Portieles y Valdés (1979), entre otros autores.

Con respecto al abastecimiento de  $P_2O_5$  (%) al final del experimento, fue superior con la RF en el suelo Ferralítico Cuarácico amarillo lixiviado, debido posiblemente, y tal como habíamos planteado anteriormente, a que la baja solubilidad de este portador condiciona a su menor reacción con el suelo y se evita la formación de fosfatos de hierro y aluminio, cuestión que puede suceder con los fertilizantes más hidrosolubles. Por otra parte, cabe señalar que estos altos contenidos de  $P_2O_5$  en el suelo con el empleo de la RF ponen de manifiesto que el método de Oniani para la determinación analítica en el suelo extrae cantidades apreciables de P no asimilable.

Si analizamos los niveles de  $P_2O_5$  en el suelo con respecto a la extracción de este elemento por el cultivo, nos permite plantear que con el empleo de estas dosis existe un suficiente abastecimiento y que debe ser duradero al menos varios años.

Con respecto a la utilización de los diferentes portadores en el suelo Ferralítico Rojo hidratado esta fue casi nula, ya que no hubo diferencias significativas entre tratamientos para el rendimiento de MS debido a la alta sorción que presenta dicho suelo y al contenido de P, tal como lo discutimos en el capítulo 3.

El aprovechamiento de P disminuyó con las aplicaciones crecientes de este elemento en el suelo Ferralítico Cuarácico amarillo lixiviado, lo mismo en forma SPT que de RF. Resultados similares obtuvimos en este mismo tipo de suelo cuando evaluábamos un grupo de cultivares de la especie *Panicum maximum*, utilizando el  $KH_2PO_4$  como fuente fosfórica en el capítulo 4.

El aprovechamiento de este elemento cuando se utilizó el SPT fue muy superior con respecto a la RF, debido a que con esta variante el pasto tuvo un mayor rendimiento de MS en todos los tratamientos y un mayor contenido de P.

Podemos concluir que los mayores rendimientos de MS (g/maceta) se obtuvieron con el empleo de la SPT en el suelo Ferralítico Cuarácico amarillo lixiviado con dosis de 300 mg de P/kg de suelo, donde se obtiene además un buen aprovechamiento de este elemento y con igual dosis para la RF, aunque ha de esperarse una mayor efectividad con el tiempo.

Utilizando la capacidad máxima de retención de fosfatos, no es necesario duplicar la dosis de RF.

En el suelo Ferralítico Rojo hidratado, la utilización de la roca fosfórica puede ser adecuada en cualquiera de los niveles estudiados.

En el suelo arenoso se obtuvo una mayor eficiencia de utilización del P que en el suelo arcilloso.

## Conclusiones

1. La alta sorción del suelo Ferralítico Rojo hidratado (1 120 mg de P/kg) así como el contenido de  $P_2O_5$  asimilable (2,96%) hacen que la eficiencia de utilización de P sea insignificante, donde además ningún elemento resultó limitante para la producción de MS.
2. En el suelo Ferralítico Cuarzítico amarillo lixiviado se obtuvo una buena eficiencia de utilización del P, debido a que la baja sorción a los fosfatos (300 mg de P/kg) y al bajo contenido de este elemento en el suelo (1,09%), donde además el P fue el principal factor nutricional que limitó el rendimiento de MS.
3. Independientemente al papel benéfico que ejerce la materia orgánica sobre el estatus de P en el suelo, esta influyó en la alta sorción de P en el suelo Ferralítico Rojo hidratado.
4. La relación N/P del cultivo en el suelo de textura arenosa fue grande cuando se le omitió el P en el medio comparada con el testigo que recibió todos los nutrientes, lo que nos indica la baja disponibilidad del elemento en el medio externo y la fuerte reacción que hará la planta del mismo.
5. Los niveles críticos de P encontrados fueron: 0,197; 0,209; 0,202 y 0, 230% para los cvs. Likoni, Makueni, Común de Australia y Uganda respectivamente de la especie *Panicum maximum*.
6. la eficiencia de utilización del P disminuyó drásticamente en una función exponencial con los niveles de P aplicado al suelo, donde cada cultivar tuvo un patrón de respuesta.
7. El cv. Likoni, a pesar de ocupar un segundo lugar en cuanto a la EUP, requiere menos P internamente y por ende en el suelo, lo que lo hace ventajoso para la explotación de nuestra ganadería.
8. La hierba likoni reacciona fuertemente ante las diferentes dosis de P aplicado al medio mediante el incremento del aérea foliar y la altura de la planta, que conjuntamente con el desarrollo del sistema radicular, son los aspectos morfológicos que incluyen en la EUP.
9. La EUP la encontramos asociada al sistema radicular, ya que este crece linealmente con el suministro de P, además de que la actividad respiratoria también se incrementa de esta forma, lo que repercute en la parte aérea de la planta y constituye un importante órgano de reserva.
10. La habilidad de la especie para crecer en suelos con limitaciones en el régimen fosfórico puede estar asociada con una alta capacidad de absorber este elemento a bajos niveles de suministro.
11. Se puso en evidencia el eficiente sistema xilemático de translocación de esta especie, aspecto que es de gran importancia en la EUP.
12. Las fracciones orgánicas de P se localizaron en mayores cantidades en la porción apical de la raíz, dado por la mayor actividad fisiológica y meristemática.
13. El incremento de MS en la parte aérea está asociado a un incremento en el contenido de fosfoproteína y fosfolípidos, pudiendo estar relacionado esto último al incremento de las relaciones P/K y P/Mg, que también aumentan con la dosis de P.
14. Los mayores rendimientos de MS se obtuvieron con el empleo de SPT en el suelo Ferralítico Cuarzítico amarillo lixiviado con dosis de 300mg de P/kg de suelo, donde se obtuvo además a este nivel un buen aprovechamiento y con igual dosis par ala RF, aunque ha de esperarse una mayor efectividad con el tiempo.
15. En el suelo Ferralítico Rojo hidratado pudiera ser útil 50 mg de P/kg en forma de RF, con los que se logran los resultados a largo plazo.
16. Con el empleo de la capacidad máxima de retención de los fosfatos, no hay necesidad de duplicar las dosis de RF con respecto al SPT para la obtención de buenas cosechas.



## **Recomendaciones**

1. Es conveniente ensayar los resultados de este trabajo a nivel de campo, donde están todos los factores del ecosistema en interacción.
2. Otros factores que influyen en la EUP, tales como la forma y el método de aplicación del fertilizante fosfórico, otras fuentes de fertilizantes menos costosas, así como el sistema de distribución del mismo, deben ser ensayadas para cada zona ganadera, debido a que las limitaciones que tienen nuestros suelos referentes al régimen fosfórico.
3. Por las características de la hierba likoni, tanto fisiológicas como agrónomicamente, es de gran utilidad su extensión en nuestra ganadería.
4. Con la aplicación de 50 mg de P/kg en forma de RF en el suelo Ferralítico Rojo hidratado, para obtener resultados a largo plazo, sería conveniente para nuestra ganadería; mientras que para el suelo Ferralítico Cuarcítico amarillo lixiviado es suficiente la aplicación de 300 mg de P/kg en forma de RF o de SPT.
5. Dado el costo de los fertilizantes y el bajo contenido de P que presentan nuestros suelos de la ganadería, específicamente los del tipo Ferralítico Cuarcítico amarillo lixiviado, se hace necesario seleccionar especies y/o cultivares con bajos requerimientos de este nutrimento.

**Referencias bibliográficas**

- Adepetu, J.A.; Adepoju, A. & Adegbola, A. 1982. Response of guinea grass (*Panicum maximum*) to phosphorus and zinc fertilization in grassland soils of south western Nigeria. **Beiträge zur Tropischen Landwirtschaft und Veterinär Medizin.** 20:371
- Aguirre, A. 1963. Suelos, abonos y enmiendas. Madrid. Ed. Dossat, Cap. XXI. p. 213
- Ahmed, B. & Islam, A. 1975. Extractable phosphate in relation to the form of phosphate fractions in some humid tropical soils. **Trop. Agric.** 46:179
- Ahmed, N. & Jones, R.L. 1967. Forms and occurrence of inorganic phosphorus and its chemical availability in the limestone soils of Barbados. **Soil Sci. Amer. Proc.** 31:184
- Aitkens, R.L. & Huges, J.D. 1980. The effect of method of application and presence of sulphate on phosphate fixation from three phosphate fertilizer applied to a Krasnozen soil. **Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.** 20:486
- Al-Abbar, A.N. & Barber, S.A. 1964. A soil test for phosphorus based upon fractionation of soil phosphorus. I. Correlation of soil phosphorus fractions with plant available phosphorus. **Proc. Sci. Soc. Amer.** 28:218
- Alfonso, C.A.; Battle, J. & Rodríguez, R. 1979. Estudio comparativo de rocas fosfóricas con e superfosfato sencillo en hierba guinea. **Cienc. Téc. Agric. Suelos y Agroquímicos.** 2(1)
- Alov, A.S. 1971. Factores de la eficacia de los fertilizantes. ACC Inst. Documentación e Información. **Serie Información Científica.** 30:61
- Amaral, A. 1972. Técnicas analíticas para evaluar macronutrientes en cenizas de caña de azúcar. Laboratorio de nutrición de la caña de azúcar. Escuela de Química. Universidad de La Habana. p. 28
- Anderson, G. 1967. Soil Biochemistry. Ed. A.D. McLaren y G.H. Peterson, Marcel Dekker, N.Y. p. 67
- Andrew, C.S. & Jones, R.K. 1978. The phosphorus nutrition of tropical forage legumes. In: Mineral nutrition of legumes in tropical and subtropical soils. Ed. by Andrew, C.S. and Kamprath, E.J. CSIRO. Australia
- Andrew, C.S. & Robins, M.F. 1971. The effect of phosphorus on the growth, chemical composition and critical phosphorus percentage of some tropical pastures grasses. **Aust. J. Agric. Res.** 22:693
- ANON. 1971. Memoria anual de la EEPF "Indio Hatuey". Matanzas, Cuba
- ANON. 1979. Clasificación genética de los suelos de Cuba. Academia de Ciencias de Cuba. La Habana. p. 28
- ANON. 1980. Reseñas descriptivas. IV Seminario Científico-Técnico de Pastos y Forrajes. EEPF "Indio Hatuey". Matanzas, Cuba
- ANON. 1981. Annual Report for 1980. Tropical Pastures Program. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT). Cali, Colombia
- ANON. 1983. Eficiencia relativa de Fuentes de fósforo para pastura. CIAT. Programa de Pastos Tropicales. Inf. Anual p. 72
- AOAC. 1965. Official methods of analysis of AOAC. 10<sup>th</sup> Ed. Assoc. of Official Agric. Chemist. Washington, D.C.
- Arrambari, P. 1963. Types of isotopically exchange inorganic phosphorus in calcareous soils. 1. Relationship between total phosphorus and total isotopically exchangeable phosphorus in some calcareous soils. **An. Edafol. Agrobiol.** 22:627
- Aspiolea, J.L.; Arteaga, O. & Mojena, A. 1978. Fertilización con nitrógeno en tres especies de pastos. I. Influencia sobre los rendimientos y contenido mineral. **Cienc. y Téc. de la Agric. Pastos y Forrajes.** 1:73
- Aspiolea, J.L.; Ávila, Valdés, N. & Portieles, M. 1979. Comparación de portadores fosfóricos en pangola establecida bajo condiciones de regadío. **Cienc. Téc. Agric. Suelos y Agroquímicos.** 2(2)
- Aspiolea, J.L.; Portieles, M. & Valdés, N. 1977. Comparación de dosis y portadores de fósforo en pasto pangola de fomento bajo condiciones de secano. Primer Foro Cient. Téc. ACC. La Habana
- Aspiolea, J.L.; Portieles, M. & Valdés, N. 1979. Estudio de niveles y fuentes de P en el pasto pangola bajo condiciones de regadío. **Cienc. Téc. Agric. Suelos y Agroquímicos.** 2(17)
- Ávila, A. 1982. Utilización del P para la explotación de pastos en suelos pardos. **Boletín de reseñas. Suelos y Agroquímica.** 5

- Ávila, A.; Aspiolea, J.L. & Portieles, M. 1978. Respuesta del pasto pangola (*Digitaria decumbens*) a diferentes niveles de fertilización NPK, bajo condiciones de regadío. **Cienc. Téc. Agric. Suelos y Agroquímicos**. 1:35
- Ávila, A. 1978. Efecto de la interacción NP sobre los rendimientos de la pangola. Estación Experimental de Fertilizantes de Pastos "Escambray". Informe Técnico Interno
- Awan, A.B. & Richer, A.C. 1964. Fractionation of soil phosphorus in four Jordan plot soils. **Soil Sci**. 98:204
- Baisre, J. 1972. Caracterización química de tres tipos de suelos de Cuba. ACC. Serie Suelos 15
- Baker, D.E. 1960. Phosphorus equilibria and availability in soils. **Diss. Abstr.** 21:317
- Ballard, E.G. & Buttler, G.W. 1966. Mineral nutrition of plants. **Ann. Rev. of Plant Physiol.** 17:77
- Bamji, M.S. & Jagendorf, A.T. 1966. **Plant Physiol.** 41:764
- Barber, S.A. 1960. The influence of moisture and temperature on phosphorus and potassium availability. Trans. 7<sup>th</sup> Internat. Com. Soil Sci. 3:435
- Bari, A.; Recio, H. & Berrayarsa, R. 1971. Estudio comparativo de rocas fosfatadas y superfosfato triple como fuente de fósforo para los cultivos. **Rev. de Agric.** 1:55
- Barrow, N.J. & Shaw, T.C. 1975. The slow reactions between soil and anions. 2. Effect of time and temperature on the decrease in phosphate concentration in the soil solution. **Soil Sci**. 119:167
- Barrow, N.J. 1967. Relationships between uptake of phosphorus by plants and the phosphorus potential and buffering capacity of the soil and attempt to test the Schofield's hypothesis. **Soil Sci**. 104:99
- Barrow, N.J. 1984. Modelling the effects of pH on phosphate sorption by soils. **J. Soil Sci.** 35:283
- Bates, J.A.R. & Baker, T.N.C. 1960. Studies on Nigerian forest soils. II. Distribution of P in soil profiles and in various soil fractions of a Nigerian soils. **J. Soils Sci.** 2:257
- Biddiscombe, E.F.; Ozanne, P.G.; Barrow, N.J. & Keay, J. 1969. A comparison of growth rates and phosphorus distribution in a range of pastures species. **Aust. J. Agric. Res.** 20:123
- Bieliski, R.L. 1973. Phosphate pools, phosphate transport and phosphate availability. **Ann. Rev. Plant Physiol.** 24:225
- Bingham, F.T. 1963. Relation between phosphorus and microelements in plants. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.** 27:389
- Black, C.A. & Göring, C. 1953. Organic phosphorus soils. **Agron. J.** 4:123
- Black, C.A. 1942. Phosphate fixation by kaolinite and other clays as affected by pH, phosphate concentration and time of contact. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.** 7:123
- Black, C.A. 1957. Soil plant relationships. Ed. John Wiley and Sons Inc. N.Y. p. 269
- Blasco, L.M. 1969. Propiedades químicas de los suelos derivados de cenizas volcánicas de Nariño, Colombia. En: Panel sobre suelos derivados de cenizas volcánicas de América Latina. Turrialba. p. B8.10
- Boken, E. 1970. **Plant and Soil.** 33:645
- Bornemissza, E. & Fassbender, H.W. 1970. Uptake of fertilizer phosphate from mine soils from the humid tropics. **Agrochimica.** 14:259
- Bornemissza, E. 1965. Conceptos modernos de la acidez del suelo. **Turrialba.** 15:20
- Bornemissza, E. 1966. El P orgánico en suelos tropicales. **Turrialba.** 16:33
- Bouma, D. & Dowling, E.F. 1966. **Aust. J. Agric. Res.** 17:633
- Brown, H.G. & Leowenstein, H. 1978. Relationship of soil properties to P-fixing capacity of soils in Northern Idaho. **Comm. Soil Sci. and Plant Analysis.** 9: 571
- Brown, J.C.; Clark, R.B. & Jones, W.E. 1977. Efficiency and inefficient use of phosphorus by Sorghum. **Soil Sci. Soc. of Am. J.** 41:747
- Brown, J.C. & Jones, W.E. 1975. Phosphorus efficiency as related to iron inefficiency in Sorghum. **Agron. J.** 67:468

- Brown, J.C. 1972. Competition between phosphate and the plant for Fe from Fe ferrozene. **Agron. J.** 62:240
- Burton, G.W.; Wilkinson, W.S. & Carter, R.L. 1969. Effect of nitrogen, phosphorus and potassium levels and clipping frequency on the forage yield, and protein, carotene and xanthophyll content of coastal bermuda grass. **J. Agron.** 61:60
- Buttler, G.W.; Barclay, P.C. & Glenday, G. 1962. Genetic and environmental differences in the mineral composition of ryegrass herbage. **Plant and Soil.** 16:214
- Camacho, E.; Martínez, Rosaida & Vantour, A. 1983. El fósforo en los suelos Ferralíticos Rojos poco profundos de Ceiba del Agua, provincia Habana, Cuba. **Cienc. de la Agric.** 19:67
- Caro-Costas, R.; Vicente-Chandler, J. & Figarella, J. 1960. **J. Agric. Univ. Puerto Rico.** 44:107
- Case, V.S.; Brady, N.C. & Lathwell, D.J. 1964. The influence of soil temperature and phosphorus fertilizer of different water solubilities on the yields and phosphorus uptake by roots. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.** 28:409
- Castle, M.E. & Holmes, H. 1960. The intensive production of herbage for crop drying. 7. Effect of further continued massive application of nitrogen with and without phosphate and potassium on the yield of grassland herbage. **J. Agric. Sci.** 51:2
- Cate, R.B. & Nelson, L.A.N. 1965. A rapid method for correlation of soil test analysis with plant response data. Int. Soil Testing Ser. Tech. Bull 1. North Caroline State, Univ. Raleigh
- Chai, M.C. & Caldwell, A.C. 1959. Form of phosphorus and fixation in soils. **Soil Sci.** 86:145
- Chaminade, R. 1970. Trabajos realizados por el IRAT en material de Agronomía. **Agronomie Tropicale.** 21:5
- Chang, S.C. & Jackson, M.L. 1957. Fractionation of soil phosphorus. **Soil Sci.** 84:133
- Chaudhry, T.M. 1976. Increasing phosphorus efficiency in calcareous soils for maximizing wheat production in Pakistan. Proc. First Review Meeting. INPUTS Project
- Chaverdi, J. 1958. Fraccionamiento del fósforo en 16 suelos de Costa Rica. Lab. Investigaciones Agron. Costa Rica. Informe anual
- Chesney, H.A.D. 1972. Response of *Digitaria setivalva* to nitrogen, phosphorus and potassium, magnesium and calcium of obini sandy loam, guyana. I. Effects of yield, tissue composition and nutrient uptake. **Trop. Agric.** 49:2
- Chiang, C. 1963. Changes of the forms of fixed phosphate and its availability in Paddy soils. **J. Sci. Soil.** 34:18
- Christie, E.K. & Morby, J. 1975. Physiological response of semiarid grasses. I. The influence of pattern of phosphorus supply on growth and phosphorus absorption. **Aust. J. Agric. Res.** 26:423
- Christie, E.K. 1975. A study of phosphorus nutrition and water supply on the early growth and survival of buffel grass grown on a sandy red earth from southwest Queensland. **Aust. J. Exp. Agric. and Anim. Husb.** 15:239
- Christie, E.K. 1975. Physiological response of semiarid grasses. The pattern of root growth in relation to external phosphorus concentration. **Aust. J. Agric. Res.** 26:3
- Chu, W.K. & Chang, S.C. 1960. Forms phosphorus in the soils of Taiwan. **J. Agric. Asc. China.** 30:1
- CIAT. 1977. Annual Report for 1976. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia. P:A 47-50
- CIAT. 1978. Annual Report for 1977. Trop. Pastures Programme. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia
- CIAT. 1981. Annual Report for 1980. Trop. Pastures Programme. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia
- Coic. 1965. L'Orge. In: Handbuch der pflanzenernahrung und Dungung. 269
- Conn, E.E. & Stumpf, F. 1972. Manual de Bioquímica. Edgar Blucher. Sao Paulo. p. 213
- Cooke, G.W. 1949. Placement of fertilizer for row crops. **J. of Agric. Sci.** 39:359
- Corgan, J:N. 1960. The relationship between moisture stress and the uptake and translocation of phosphorus by plants. **Diss. Abstr.** 21:2428

- Coronel, I. & López-Hernández, D. 1981. Uso de la isoterma de adsorción para evaluar los requerimientos de fósforo. III. Comparación con otros métodos. **Turrialba**. 31:313
- Cottier, E. & Kewitt, S.R. 1975. Responses and sulphur responses in pastures of three soils of eastern bay of plants. **New Zealand J. Exp. Agric.** 3:4
- Crack, B.J. 1971. Studies on some neutral red duplex soils (Dr. 2:12) in north-eastern Queensland. 2 Glasshouse assessment of plant nutrition status. **Aust. J. Anim. Husb.** 11
- Crespo, G. 1977. Boll. Tec. Inst. Cienc. Animal. ICA. La Habana, Cuba
- Crespo, G. 1981. Variación de la respuesta de pangola (*Digitaria decumbens*, Stent.) y guinea *Panicum maximum* Jacq. al fertilizante nitrogenado a través del año. Tesis Candidato a Doctor en Ciencias. ISCAH. La Habana, Cuba
- Crespo, G.; Paretas, P.P. & Pupo, D. 1976. Respuesta de la bermuda de costa (*Cynodon dactylon* L. Pers.) a la fertilización PK. **Rev. cubana de Cienc. agric.** 19:99
- CSIRO. 1972. Annual Report. Division of Tropical Agronomy. Australia
- Dalal, R.C. 1976. The supply of phosphorus from organic sources in soil and possible manipulations. Reviews in Rural Sci. III. p. 47
- Danilova, S.N. 1965. **Agrojimia**. 6:53
- Demolon, A. 1975. Crecimiento de los vegetales cultivados. Ed. Rev. Inst. Cubano del Libro. Tomo II. La Habana, Cuba
- Devlin, R.M. 1975. Fisiología vegetal. Ed. Omega S.A. España. p. 281
- Dinchev, D. 1972. Agroquímica. Instituto Cubano del Libro. Ed. Revolucionaria. La Habana, Cuba
- Drew, M.C. 1975. Comparison of the effects of localized supply of phosphate, nitrate, ammonium and potassium of the growth of seminal root system and the shoot in barley. **New Phytol.** 75:479
- Dudar, Y.; Yepes, S. & Machado, R. 1973. Ecotipos de guinea. Serie Técnico-Científica A-3 de la EEPF "Indio Hatuey"
- Duncan, D.D. 1955. Multiple range and multiple F test. **Biometrics**. 11:1
- Duthil, J. 1973. Element d'ecologie et d'agronomie. Ed. J.B. Bailliers. p. 327
- Eaton, S.V. 1950. Effects of phosphorus deficiency on growth and metabolism of soybean. **Bot. Gaz.** 111:426
- Eden, T. 1984. Elements of tropical soils science. 2<sup>nd</sup> Ed. Published by MacMillan. Press Ltd. London and Basingstake
- Enwezor, W.O. & More, A.V. 1966. Phosphorus status in some Nigerian soils. **Soil Sci.** 102:322
- Esptein, E. 1972. Mineral nutrition of plants: Principles and perspectives. Ed. John Willey and Soons. New York
- Evans, H.J. & Wildes, R.A. 1971. Potassium in Biochemistry and Physiology. Inst. Potash Inst.
- Falade, J.A. 1975. The effect of phosphorus on growth and mineral composition of five tropical grass. **East Afric. Agric. and Forest J.** 140:342
- Fassbender, F.W. 1969. A study of phosphorus fixation in soils of Central America. IV. Phosphorus fixation capacity and its relationship with soil characteristics. **Turrialba**. 19:497
- Fassbender, F.W. 1972. Cheniches verhalten der hauptnährstoffe in böden der tropen, inshesondere in Latin Amerika. Göttinger Bodenkundl. **Berichte**. 23:1
- Fassbender, F.W.; Beinroth, F.W. & Sarmiento, L.S. 1978. Amounts and forms of phosphorus in ten highly weathered soils of Puerto Rico. **Turrialba**. 28:9
- Fassbender, H.W. 1975. Química del suelo con énfasis en suelos de América Latina. Ed. Inst. Interamericano de Cienc. Agric. de la OEA. Turrialba, Costa Rica
- Fassbender, H.W. 1978. Química del suelo. Ed. IICA. San José. p. 398

- Fassbender, H.W.; Müller, L. & Balerdi, F. 1968. Estudio del P en suelos de América Central. II. Formas y su relación con las plantas. **Turrialba**. 18:333
- Fenster, W.L. & León, L.A. 1978. Manejo de la fertilización con fósforo para el establecimiento y mantenimiento de pastos mejorados en suelos ácidos mejorados e infértiles de América tropical. En: Producción de pastos en suelos ácidos de los trópicos. CIAT. Colombia. p. 119
- Fergusson, W.S. 1964. Effect of rainfall on plant response to phosphorus. **Canad. J. Soil Sci.** 44:180
- Ferrer, F.M. 1964. Fertilización del zacate pangola. **Agric. Techn. México**. 2:116
- Figarella, J.; Vicente-Chandler, J. Silva, S. & Caro-Costas, R. 1964. Effects of phosphorus fertilization on productivity of intensively manager under tropical humid conditions in Puerto Rico. **J. Agric. of the Univ. of Puerto Rico**. 28:236
- Flügge, U.; Freisl, M. & Heldt, H.W. 1980. Balance between metabolite accumulation and transport in relation to photosynthesis by isolated spinach chloroplast. **Plant Physiol**. 65:574
- Fox, R.L. & Benavides, S.T. 1974. El fósforo de los oxisoles. En: El fósforo en zonas tropicales. III. Coloquio sobre Suelos. Soc. Colombiana de la Ciencia del Suelo. Vol. IV. p. 137
- Fox, R.L.; De Data, S.K. & Sherman, D. 1962. Phosphorus solubility and availability to plants and the aluminium status of Hawaiian soils as influenced by living. Internat. Soil Conference New Zealand. p. 3
- Fox, R.L.; De Data, S.K. & Wang, J.M. 1964. Phosphorus and aluminium uptake by plants from latosol in relation living. 8<sup>th</sup> International Congress of Soil Science. Vol. IV
- Fox, R.L.; Nishimoto, R.K.; Thompson, J.R. & de la Pena, S.R. 1974. Comparative external phosphorus requirements of plants growing in tropical soils. Trans. 10<sup>th</sup> Internat. Cong. of Soil Sci. Moscú. Vol. IV. p. 232
- Franklin, R.E. 1970. Effect of adsorbed cations on phosphorus absorption by various plant species. **Agron. J.** 62:214
- Franklin, W.T. & Reisenauer, R. 1960. Chemical characteristics of soils related to phosphorus fixation and availability. **Soil Sci.** 90:192
- Friend, M.T. & Birch, H.F. 1960. Phosphate responses in relation to soil test and organic phosphorus. **J. Agric. Sci.** 54:341
- Fujiwara, A. & Suzuki, M. 1960. The photosynthesis and translocation of photosyntatos in crop plants. I. The photosynthesis of nutrient deficient barley plants. **Soil and Plant Food**. 6:142
- Funes, F & Gómez, L. 1971. Determinaciones estacionales de calcio y fósforo en gramíneas y leguminosas tropicales. Memoria anual de la EEPF "Indio Hatuey". Matanzas, Cuba. p. 89
- Gamboa, J.J. & Blasco, L.M. 1976. Dinámica del fósforo en el suelo después de cinco fertilizaciones consecutivas. **Turrialba**. 26:150
- Gamzikova, O.L.; Gansikov, G.P. & Samraj, L.A. 1974. Sortovaja reakcija jarovoj psénicy na udobrenija. **Si. Vest. S-Ch. Nauki**. 1:19
- García, R. 1963. Phosphorus fractionation and phosphorus fixation capacity of calcerous sugar cane in Mexico. In: Congress Internat. Soc. Sugar Cane Technology 11<sup>th</sup> Proc. p. 111
- Gardner, E.H.; Jackson, T.L.; Webster, G.R. & Turley, R.H. 1969. **Can. J. Plant Sci.** 40:542
- Garten, C.J. 1976. Correlations between concentration of elements in plants. **Nature**. 261:686
- Geisler, T. 1961. The causes of phosphorus fixation by typical soils. **Albrecht-Thaer-Arch.** 5:669
- Gerardo, J. & Oliva, O. 1979. Evaluación zonal de pastos introducidos en Cuba. **Pastos y Forrajes**. 2:47
- Gerardo, J. & Ortiz, G. 1981. Evaluación zonal de pastos tropicales bajo condiciones de pastoreo. VII. Ciego de Ávila. **Pastos y Forrajes**. 4:291
- Godwin, D.C. & Wilson, E.J. 1976. Prosperts for selecting plants with increased P efficiency. The efficiency of phosphorus utilization. **Rural Reviews Sci.** 3:131

- Gomide, J.A. & Zometa, Ana. 1976. Composición mineral de los forrajes cultivados bajo condiciones tropicales. En: Simposio Latinoamericano sobre Investigaciones en nutrición mineral de los rumiantes en pastoreo. Memorias. Brasil. p. 39
- Gomide, J.A.; Christmas, E.P.; García, R. & Paul, R.R. 1974. Competicao de gramíneas forrageiras para corte en um látossolo vérmelo distrófico sob. vegetacao de colorado de triangulo mineiro. **Rev. Soc. Bras. Zoot.** 3:191
- González, Yolanda & Torriente, Oilda. 1981. Niveles críticos de P en guinea común cv. SIH-127, buffel biloela y bermuda cruzada-1. **Pastos y Forrajes.** 4:63
- González-Abreu, Ana & Savich, V.L. 1967. Acerca de la fortaleza de sorción de los fosfatos en un suelo húmico carbonatado. **Cienc. Biol.** 7:147
- Hallmark, W.K. & Barber, S.A. 1984. Rot growth and morphology, nutrient uptake, and nutrient status of early of soybeans as affected by soil P and K. **Agron. J.** 76:209
- Halse, N.J.; Greenwood, E.A.N.; Lapins, P. & Boundy, C.A.P. 1969. An analysis of the effects on nitrogen deficiency on the growth and yield of a western Australian wheat crop. **Aust. J. Agric. Res.** 20:6
- Harlam, J.R. 1956. Theory and dynamics of grassland agriculture. Ed. Van Nostrand. N.Y.
- Harter, R.O. 1969. Phosphorus absorption sites in soils. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.** 33:630
- Hasawaneh, F.E. & Doll, H.C. 1978. The use of phosphate rock for direct application to soil. **Adv. Agron.** 30:159
- Hayness, R.J. 1982. Effects of living of phosphate availability in acid soils. **Plant and Soil.** 68:289
- Heldt, H.W. & Repley, L. 1970. Specific transport of inorganic phosphate, 3-phosphoglycerate and dihydroxyacetone phosphate and of dicarboxylase across the inner membrane of spinach chloroplast. **FEBS Letters.** 10:143
- Hemingway, R.G. 1961. **J. Br. Grassld. Soc.** 16:116
- Hemwall, J.B. 1957. The fixation of phosphorus by soils. **Adv. in Agron.** 9:95
- Hermano León, 1946. Flora de Cuba. Vol. 1. La Salle. La Habana, Cuba
- Hernández, A.; Cárdenas, A; Obregón, A.; Moreno, A. & Bosch, D. 1973. Estudio de los suelos en la región de Campo Florido. Inst. Suelos ACC. Serie Suelos. No. 18
- Hernández, Marta & Cáceres, O. 1983. Guinea likoni. **Pastos y Forrajes.** 6:1
- Hernández, Marta & Cárdenas, M. 1973. Influencia del nivel y frecuencia de aplicación en el comportamiento de la hierba cv. Likoni. **Pastos y Forrajes.** 4:73
- Hernández, Marta & Cárdenas, M. 1974. Respuesta del buffel (*Cenchrus ciliaris* cv. Biloela) a las aplicaciones de P. **Pastos y Forrajes.** 5:201
- Hernández, Marta & Cárdenas, M. 1983. Respuesta de la bermuda cruzada cv. Coastcross-1 a niveles crecientes de NPK. **Pastos y Forrajes.** 6:241
- Hernández, Marta & Cárdenas, M. 1984. Respuesta de la hierba guinea (*Panicum maximum* Jacq.) a la fertilización fosfórica. **Pastos y Forrajes.** 7:83
- Hiatt, A.J. 1965. **Plant Physiology.** 40:189
- Hsiao, T.C.; Quick, W.A. & Jain, J.C. 1984. Phosphorus containing compounds at comparable germination stages of caryopses of avena species. **J. Exp. Bot.** 35:617
- Hsino, T.C.; Hagemay, R.H. & Tyber, E.H. 1968. **Plant Physiology.** 43:1941
- Italiano, E.C.; Gomide, J.A. & Monnerat, P.H. 1981. Quantity and method of application of superphosphate on the sowing of jaragua grass. **Rev. da Sociedade Bras. de Zoot.** 10:10
- Jackson, W. A. 1958. Soil chemical analysis. Prentice Hall. Inc. Englewood Choffs. New York
- Jackson, W.A. 1967. Physiological effects of soil acidity. In: Agronomy No. 12. Soil acidity and liming. Eds. R.W. Pearson and F. Adams. p. 43

- Jones, R.K. 1974. A study of the phosphorus responses of a wide range of accessions from the genus *Stylosanthes*. **Aust. J. Agric. Res.** 25:847
- Jones, W. 1936. **Plant Physiology**. 11:565
- Juo, A.S.R. & Ellis, B.G. 1968. Chemical and physical properties of Al and Fe phosphates and their relation to P availability. **Soil Sci. Amer. Proc.** 32:216
- Kadar, I. & Lásztity, B. 1979. A study on the nutrient uptake of winter wheat in a field experiment. **Agrokemia es Talajtan.** 28:451
- Kalek, J.; Holobradá, M. & Mistrík, I. 1984. Quantitative differences between morphologically different types of maize roots and their relations to the uptake phosphate and sulphate. Proc. of 2<sup>nd</sup> Internat. Symp. of Plant Nutrition. Varna, Bulgaria. Vol. III p. 55
- Kalva, Y.P. & Saper, R.J. 1968. Efficiency of rape, oats, soybeans and flax in absorbing soil and fertilizer phosphorus at seven stages of growth. **Agron. J.** 60:209
- Kanwar, J.S. & Greewal, J.S. 1960. Phosphate fixation in Punjab soils. **J. Indian Soc. Soil Sci.** 8:211
- Kar, A.K. 1974. Relative influence of Ca<sup>2+</sup>, pH and lime on the release of native P from acid soils. **J. of the Indian Soc. Soils Sci.** 22:26
- Kastori, K. 1980. P uptake and physiological activity in maize leaves of various ages. **Soil and Fert.** 85:13
- Kates, I. 1980. **Adv. Lipid Res.** 8:225
- Kerridge, P.C. & Ratcliff, D. 1982. Comparative growth of four tropical legumes and guinea grass with different phosphorus source. **Trop. Grassld.** 16:33
- Klimashevsky, E.L. 1984. Physiological genetics of mineral plant nutrition: The state of art and perspective. Proc. of 2<sup>nd</sup> Internat. Symp. of Plant Nutrition. Varna, Bulgaria. Vol. III. p. 293
- Klimashevsky, E.L. 1974. The problem of genotypic specificity of plant root nutrition. Variety and nutrition. Irkutsk. p. 11
- Krupski, N.K. & Alexandrova, A.M. 1978. Paso del aluminio en extractos salinos en dependencia del pH del suelo. **Pochvovedenia.** 10:31
- Kudrna, K. 1979. Zemédelske soustavy. SZN. Praha
- Küiper, P.J.C. 1970. **Plant Physiology**. 45:684
- Kuo, S. & Lotse, E.G. 1974. Kinetics of phosphate adsorption and desorption by hematite and gibbsite. **Soil Sci.** 116:400
- Kupka, J. 1970. Prijem a metabolismus fosforu ve uztahu k fotosyntéze. Habilitační Práce
- Larsen, S. & Widdowson, A.E. 1970. Evidence of dicalcium phosphate precipitation in a calcareous soils. **J. Soil Sci.** 21:364
- Larsen, S. 1967. Soil phosphorus. **Adv. in Agron.** 19:151
- Lavery, J.C. & MacLean, E.O. 1961. Factors affecting yields and uptake of phosphorus by different crops. 3. Kind of phosphate native, applied and formed. **Soil Sci.** 91:116
- León, J. & Sgaravati, E. 1971. Pastos tropicales. Gramíneas y leguminosas. FAO. Roma
- León, L.A. & Toledo, J.M. 1982. El fósforo, elemento clave para las pasturas en la Amazonia. **Suelos Ecuatoriales.** 12:246
- León, L.A.; Riaño, A.; Owen, E.; Rodríguez, M. & Sánchez, L.F. 1978. Investigaciones realizadas en Colombia sobre le uso de diversas fuentes de fósforo como fertilizantes. Cali, Colombia. Inst. Colombiano Agropecuario. p. 25
- Lobato, E. & Sanzonowicz, C. 1980. Effects of P sources on pastures. Annual reports 1978-1979. Soil Sci. Dept. North Caroline State Univ. Raleigh, N.C. p. 51
- Loneragan, J.F. & Asher, C.J. 1967. Response of plants to phosphate concentration in solution culture. II. Rate of phosphate absorption and its relations to growth. **Soil Sci.** 103:311



- Loneragan, J.F. 1973. Chemistry and Biochemistry of herbage. Eds. G.W. Buttler and R.W. Bailey. Acad. Press. London. p. 103
- Long, M.L.E.; Noyanabo, W.K.; Marshall, B. & Thornton, D.D. 1969. Nutritive value of grasses in Ankole and the Queen Elizabeth National Park. Uganda. IV. Mineral content. **Trop. Agric.** 46:201
- López-Hernández, D. 1977. La química del fósforo en suelos ácidos. Maracay. Universidad Central de Venezuela. p. 123
- López-Hernández, D.; Coronel, I. & Álvarez, L. 1981. Uso de las isotermas de adsorción para evaluar requerimientos de fósforo. I. Determinaciones con base a los datos de adsorción del requerimiento externo de P para *Vigna unguiculata* L. var. Tuy. **Turrialba.** 31:181
- López-Hernández, D.; Coronel, I. & Álvarez, L. 1981. Uso de las isotermas de adsorción para evaluar requerimientos de fósforo. I. Isotermas de adsorción de los suelos. **Turrialba.** 31:169
- Lotero, J.C. 1966. Formas de P en el suelo, fijación y aprovechabilidad. **Agric. Trop.** 22:275
- Lotero, J.C. 1974. Adsorciones de fósforo y sus funciones en las plantas. El fósforo en zonas tropicales. III. Coloquio sobre suelos. S.C.S.S. Vol. VI, No. 1. p. 67
- Loughman, B.C.; Roberts, S.C. & Godwin-Baley, C.L. 1982. Varietal differences in physiological and biochemical responses to changes in the ionic environment. In: Genetic specificity of mineral nutrition
- Machado, R.; Rodríguez, G. & Leyva, R. 1980. Comparación de siete variedades de pastos en suelos arcillosos limosos. **Pastos y Forrajes.** 3:353
- Mächler, F. & Nösberger, J. 1984. Influence of inorganic phosphate on photosynthesis of wheat chloroplasts. II. Ribulose, byphosphate carboxylase activity. **J. Exp. Bot.** 35:488
- Mächler, F.; Schneider, H. & Nösberger, J. 1984. Influence of inorganic phosphate on photosynthesis of wheat chloroplasts. I. Photosynthesis and assimilate export at 50°C y 25°C. **J. Exp. Bot.** 35:481
- Macías, J.G. 1977. El fósforo del suelo. M. Temas didácticos. Bogotá, Colombia. Vol. V, No. 3-4. p. 124
- Macy, P. 1936. The quantitative mineral nutrition requirement of plants. **Plant Physiol.** 11:749
- Martin, H. & Laudelout, H. 1959. Effect of the acidity of clay suspensions on the fixation of phosphorus. **Pedologie.** 9:46
- Martin, J.K. 1964. Soil organic phosphorus. I. Methods for the extraction and partial fractionation of soil organic phosphorus. **J. Agric. Res.** 7:723
- Mattingly, E.G.G. 1970. Residual value of basic slag, gafsa rock phosphate and superphosphate in sandy podsol. **J. Agric. Sci. Camb.** 75:414
- Maynard, L.A. & Loosli, J.K. 1969. Animal Nutrition. 6 ed. McGraw-Hill Co. New York
- McLachlan, A. 1976. Comparative phosphorus responses in plants to a range of available phosphorus situations. **Aust. J. Agric. Res.** 27:323
- McLean, E.O. & Wheeler, R.N. 1964. Partially acidulated rock phosphate as a source of phosphorus to plant. I. Growth Chamber studies. **Soil Sci. Soc. of Amer. Proc.** 29:545
- Mego, V. 1982. Differences in phosphate-sorption in various barley genotypes. Proc. 1<sup>st</sup> Internat. Symp. on Genetic Specificity of Mineral Nutrition of Plants. Yugoslavia. p. 109
- Mengel, K. 1976. Ernährung und stoffwechsel der Pflanze Mezogasdassagi Kiado. Budapest
- Mesa, A.R. & Figueroa, M. 1979. Status nutritivo de suelos en áreas ganaderas. I. Suelo Mocarrero. **Pastos y Forrajes.** 2:11
- Mesa, A.R. & Lamela, L. 1981. Rhodes (*Chloris gayana* Kunt.). **Pastos y Forrajes.** 4:1
- Mesa, A.R. & Martínez, J.F. 1975. Curva de crecimiento de dos cultivares de *Cynodon dactylon* Pers. (Coastcross-2 y var. Alicia). Memoria 10 Aniversario del CENIC. V Seminario Científico. La Habana, Cuba. p. 215
- Mesa, A.R. & Mendoza, F. 1986. Efecto del P sobre la composición mineral y niveles críticos de P en *Chloris gayana*. **Pastos y Forrajes.** 9:65

- Mesa, A.R. 1985. Efecto del P sobre la composición química y niveles críticos de P en *Cenchrus ciliaris*. **Pastos y Forrajes**. 8:239
- Mesa, A.R.; Hernández, I. & de la Cruz, R. 1983. Niveles crítico de P en cvs. de *Cynodon dactylon* (L.). **Pastos y Forrajes**. 6:89
- Michalik, I. 1968. Stidúm metabolismu fosforu prijimaného korenmi kukurice (Kand. Dizertafna práca) 227 str. VSP-Nitra
- Michalik, I. 1982. The influence of phosphate concentration at the kinetics of uptake by maize roots. **Biol. Plantarum**
- Michalik, I. 1984. The accumulation of phosphates in the different genotypes of maize roots. Proc. 1<sup>st</sup> Internat. Symp. on Genetics Specificity on Plant Nutrition. p. 119
- Millán, A. 1978. Pruebas regionales sobre producción y manejo de forrajes en suelos ácidos e infértiles de Colombia. En: Producción de pastos en suelos ácidos de los trópicos. p. 463
- Millar, G.E. 1967. Fertilidad del suelo. Ed. Revol. La Habana, Cuba
- Mitsui, S. & Kuwaza, K. 1962. The dynamics of nutrient uptake by crop plant. II. The effect of deficiency of N, P and K on the metabolism of rice roots. **Soil Sci. and Plant Nutrition**. 7:166
- Moody, P.B. & Edwards, D.G. 1978. The effect of age on critical phosphorus concentrations in Towsville stylo (*Stylosanthes humilis* HBK). **Trop. Grassld.** 12:80
- Morrillo, M.R. & Fassbender, H.W. 1968. Formas y disponibilidad de fosfatos de los suelos de la cuenca del río Chaluteca, Honduras. **Turrialba**. 18:26
- Nagarajah, S.; Posner, A.M. & Quirk, J.P. 1968. Desorption of phosphate from kaolinite by citrate and bicarbonate. **Soil Sci. Soc. of Amer. Proc.** 32:507
- Neptune, A.M.L.; Muraoka, T. & Lourenzo, S. 1978. Efeito de diferentes doses de nitrogeno e modos de aplicao des fertilizantes fosfatados e nitrogenado na eficiencia de utilizacao do fosforo pelo feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*, L.). **Turrialba**. 28:197
- Neptune, A.M.L.; Muraoka, T. & Stewart, J.W: 1979. Efficiency of fertilizer phosphorus utilization by common bean (*Phaseolus vulgaris* cv. Carioca) under different methods of applying phosphate fertilizer. **Turrialba**. 29:29
- Nunozawa, F. & Tanaka, A. 1984. Comparison of nutrition management among acid soils differing in phosphorus fixation capacity and cation exchange capacity. **Soil Sci. Plant Nutrition**. 30:39
- Nuviola, A.; Labrada, Aleida; Gómez, Urbicia & Palacio, Zoila. 1984. Estudio de las curvas de sorción de fosfatos en algunos suelos cubanos mediante el uso del isótopo radiactivo. II Seminario Científico Técnico de la Estación Experimental de Nutrición Vegetal "La Renee". IIAMS. La Habana, Cuba. p. 29
- Ohki, K. 1975. Mn and B effects on micronutrients and P in cotton. **Agron. J.** 67:204
- Oliva, O.; Machado, R.; Lorenzo, L. & Ortiz, G. 1976. Evaluación de pastos tropicales introducidos en Cuba en condiciones de secano. Ciego de Ávila. **Pastos y Forrajes**. 3:193
- Oniani, O.G. 1974. El régimen fosfático de los suelos ácidos y el empleo de los fertilizantes fosfóricos en las plantaciones del té en Georgia. Tbilisi. Ed. Mitsniereba. p. 305
- Ortega, E.; Musienko, N. & Diez-Cabezas, Milagros. 1982. El papel del fósforo inorgánico, del fósforo de macroenergía y de fitina en los procesos fisiológicos de la caña de azúcar. **Cienc. Agric.** 13:41
- Oyenuga, V.A. 1969. Effect of stage of growth and frequency of cutting on the yield and chemical composition of some Nigerian fodder grasses *Panicum maximum*. **J. Agric. Sci.** 55:339
- Ozanne, P.G.; Keay, J. & Biddiscombe, E.F. 1969. The comparative applied phosphate requirements of eight annual pasture. **Aust. J. Agric. Res.** 20:809
- Pacheco, O.; Rodríguez, Irma; Sánchez, L. & Barroso, R. 1982. Efecto de diferentes niveles de P y K sobre la respuesta de la guinea común (*Panicum maximum*) a dosis crecientes de fertilización nitrogenada. **Cienc. Téc. Agric. Suelos y Agroquímica**. 5:17

- Panda, N. & Misra, V.K. 1970. Use of partially acidulated rock phosphate as a possible means of minimising phosphate fixation in acid soils. **Plant and Soil**. 33:225
- Paretas, J.J.; Aspiolea, J.L.; Ávila, A.; Crespo, G.; González, S.; López, Mirta & Hernández, Marta. 1983. Fertilización de pastos y forrajes. I. Reunión Nacional de Agroquímica
- Paretas, J.J.; González, A. & Juan, R. 1985. Aplicación de P para aumentar la EUN en suelos loam arenoso. Generalización de resultados. MINAGRI. La Habana, Cuba
- Passer, Y. 1964. Some factors affecting losses of ammonia from urea ammonium sulphate applied. **Soil Sci.** 6:15
- Paton, D.R. & Loneragan, J.F. 1960. **Aust. J. Agric. Res.** 11:524
- Payne, H. & Hanna, W.J. 1965. Correlations among soil phosphorus fractions, extractable phosphorus and plant content of phosphorus. **J. Agric. Fd. Chem.** 13:322
- Perkins, A.T.; Dean, D. & Bhango, M.S. 1957. Reactions between phosphates and caolinite decomposition products. **Soil Sci. Amer. Proc.** 21:154
- Pernés, J.; Combes, D.; René-Chaume, R. & Savidan, Y. 1975. Biologie des populations naturelles du *Panicum maximum* Jacq. Cah. ORSTOM. **Sér. Biol.** 10:77
- Pierre, W.H. & Parker, F.W. 1927. Soil phosphorus studies. II. The concentration of organic and inorganic phosphorus in the soil solution and soil extracts and the availability of organic phosphorus to plants. **Soil Sci.** 24:119
- Pino, I.N.; Urbina, M.C.; Luziol, W. & Casas, L.G. 1983. Retención de fósforo en dos suelos derivados de cenizas volcánicas. **Nucleotécnica.** 3:44
- Pinto, R. 1974. Forms of soil phosphate and their availability to plants. **Trop. Agric.** 51:179
- Pinzon, B.R. 1977. Fertilización de pastos. Carta Informativa Pecuaria. Inst. Inv. Agrop. de Panamá (IDIAP). Vol. 1, No. 2
- Portieles, J.M. & Mojena, A. 1979. Estudio de las aplicaciones de fósforo y cal en el rendimiento del pasto pangola y las propiedades químicas del suelo. **Cienc. Téc. Agric. Suelos y Agroquímica.** 2:17
- Portieles, J.M.; Arteaga, O. & Mojena, A. 1977. Influencia del encalado en la dinámica del fósforo. **Agrotecnia de Cuba.** 9:29
- Preston, J.J. & Fox, R.L. 1977. Phosphorus nutrition of plants influenced by manganese and aluminium uptake from oxisol. **Soil Sci.** 126:230
- Prine, G.M. & Burton, G.W. 1966. The effect of nitrogen rate and clipping frequency upon yield, protein content and certain morphological characteristics of coastal Bermuda grass. **Agron. J.** 48:13
- Probert, M.E. 1980. Growth responses to various calcium sources in a yellow Herat soil with low calcium status. **Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.** 19:583
- Probert, M.E.; Winter, W.H. & Jones, R.K. 1979. Plant nutrition studies on some yellow and red earth soils in northern Cape York Peninsula. **Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.** 20:240
- Próspero, A.D. & Peixoto, A.M. 1972. Composicao mineral do capim elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum), variedade Napier, em diferentes estadios de desenvolvimiento. **O Solo.** 64:45
- Rachinskii, V.V. 1974. Curso básico de Física Atómica aplicada a la agricultura. Acad. Agric. K.A. Timiriazev. Moscú. p. 39
- Raján, S.S. & Fox, R.L. 1975. Phosphate adsorption by soil. II. Reactions in tropical acid soils. **Soil Sci. Soc. Amer. Proc.** 39:849
- Raján, S.S. 1976. Phosphate reactions with the soil constituents and prospects for manipulations. Review in Rural Sci. p. 35
- Ramos, G.M. 1977. Determinación de la capacidad de intercambio catiónico de las raíces de plantas forrajeras y su relación con los contenidos de potasio, calcio y magnesio de la parte aérea. **Rev. Ceres.** 24:515

- Ramos, N.; Herrera, R.S. & Curbelo, F. 1982. Edad del rebrote y niveles de N en pastos estrella (*Cynodon nlemfuensis*). 1. Componentes del rendimiento y eficiencia de utilización del N. **Rev. cubana de Cienc. agríc.** 16:305
- Reith, J.W. & Inkson, R.H.E. 1961. The effects of fertilizers on herbage production. 1. The effect of nitrogen, phosphorus and potassium on yield. **J. Agric. Sci.** 56:17
- Ressel, E.O. 1955. Pochvennye uslova i rost rastenii. Moskva. II. L 3:1
- Retray, J.M. 1972. Pasture improvement in Panama. **FAO. Informe técnico.** 3:1
- Rixon, A.J. 1966. **Aust. J. Agric. Res.** 17:317
- Roche, P; Griera, L.; Baber, D.; Calba, H. & Fallavier, P. 1980. El fósforo en los suelos tropicales: Evaluación de los grados de deficiencia y de las necesidades de fósforo. Publicación científica No. 2. Inst. Mondial du Phosphate. París. p. 13
- Rubín, B.A. 1976. Curso de Fisiología Vegetal. Vishaya Shkola, Moscú. p. 55
- Ruiz, T. & Ayala, J.R. 1978. Efecto de niveles de fósforo en tres tipos de suelo en la *Glycine wightii* en Cuba. **Rev. cubana de Cienc. agríc.** 12:85
- Russell, E.J. 1950. Soils conditions and plant growth. 8<sup>th</sup> ed. p. 452
- Russell, R.S. & Sanderson, J. 1967. **J. Exp. Bot.** 18:491
- Ryden, J.C. & Syers, J.E. 1975. Rationalization of ionic strength and cation effects on phosphate sorption. **J. of Soil Sci.** 26:395
- Ryden, J.C.; McHaughlin, J.R. & Syers, J.E. 1977. Time dependent sorption of phosphate by soil and hydrous ferric oxide. **J. of Soil Sci.** 28:565
- Salinas, J.G. 1984. Necesidad de mejorar los procedimientos de evaluación del P en suelos ácidos e infértiles de América tropical. La roca fosfórica, fertilizante directo de bajo costo. I Conferencia Latinoamericana de Roca Fosfórica. Octubre 1983. Tomo II. p. 395
- Salinas, J.G.; Sáenz, J.F. & García, R. 1980. Manual de sintomatología de deficiencias y toxicidades minerales de gramíneas y leguminosas forrajeras tropicales. Centro Internacional de Agricultura Tropical. Programa de Pastos Tropicales. Cali, Colombia
- Sallete, J.R. 1970. Nitrogen use and intensive management of grass to the west tropics. Proc. XI Internat. Grassld. Cong. Australia
- Sánchez, F.L. & Owen, E.J. 1978. Estudio comparativo de fuentes fosfóricas en un oxisol del pie de monte. **Rev. ICA.** 13:641
- Sánchez, P.A. & Salinas, J.G. 1981. Low-input technology for managing oxisols and ultisols in tropical America. **Adv. in Agron.** 34:279
- Sánchez, P.A. & Uehara, G. 1980. Management considerations for acid with high phosphorus fixation capacity. In the role of phosphorus in agriculture. Madison, Wiscosin. Amer. Soc. of Agron.
- Sazonov, V.I. 1915. **Zhurnal opytusi agronomii.** 16:2
- Scheffer, F. & Klobe, A. 1960. The form of phosphorus in soil and their distribution between the particle size fractions. **Z. Pflernähr. Düng.** 91:240
- Schenk, M.K. & Barber, S.A. 1979. Root characteristics of corn genotypes as related to P uptake. **Agron. J.** 71:921
- Schenkell, G. 1970. Evaluación de la fertilidad de un suelo mediante la producción de materia seca en ensayo de macetas. Representaciones gráficas usadas. **Turrialba.** 21:3
- Sedenko, D.M. & Zaitseva, M.G. 1984. Glicolato oxidase under conditions of phosphorus deficiency. Proc. 2<sup>nd</sup> Internat. Symp. of Plant Nutrition. Varna, Bulgaria. Vol III. p. 167
- Sedeño, L.; Sosa, T.M.S. & Oquendo, T.M.G. 1978. Estudio comparativo de tres fuentes de fósforo en el rendimiento de la pangola (Informe preliminar). **Cienc. Técn. Agric. Suelos y Agroquímica.** 1:23

- Sidak, V.; Seguí, Esperanza & Pérez, C. 1977. Variability in *Panicum maximum* Jacq. and some results of the selections. Sectional papers 1-2. XII Internat. Grassld Cong. Leipzig, RDA
- Silveira, S.C.; Tosi, H.; Faria, V.P. & Spers, A. 1973. Efeito de diferentes tratamentos na digestibilidade *in vitro* de silagens de capim-napier (*Pennisetum purpureum*). **Rev. Soc. Bras. Zoot.** 2:216
- Simo, P. & de la Paz, G. 1978. Ensayo comparativo entre 25 clones de hierba guinea (*Panicum maximum* Jacq.). **Pastos y Forrajes.** 1:231
- Smith, F.W. 1974. Foliar symptoms of nutrient disorders in *Panicum maximum* var. Trichoglume cv. Petrie. Div. Trop. Pastures Technical Paper No. 14
- Smith, D.A. & Chevalier, P. 1984. Increases in phosphates and B glucosidase activities in wheat seedlings in response to phosphorus-deficient growth. **J. Plant Nutrition.** 7:1221
- Smith, F.W. & Verschoyle, M.J.S. 1973. Foliar symptoms of nutrient disorders in *Paspalum notatum*. Div. Trop. Pastures Technical Paper No. 9
- Smith, F.W. 1972. Foliar symptoms of nutrient disorders in *Cenchrus ciliaris*. Div. Trop. Pastures Technical Paper No. 16
- Smith, F.W. 1975. Tissue testing for assessing the phosphorus status of green panic, buffel grass and setaria. **Aust. J. Exp. Agric. and Anim. Husb.** 15:383
- Smyth, T.J. & Sánchez, P.A. 1980. Niveis crítico de fosforo para arroz de Sequeiro em um Latosol Dos Cerrados. **Rev. Bras. Cienc. do Solo.** 4:88
- Smyth, T.J.; Sánchez, P.A. & Lobuto, E. 1980. Sources, rates and placement of P fertilizer on a clayed red yellow latosol. In: Agronomic Economies Res. on Soils of the Tropics. Tech. Rep. Soil Sci. Dpto. North Caroline, Univ. Raleigh. USA
- Somani, L.L. & Sepena, S.N. 1971. Studies on the mineralization of organic phosphorus under the influence of crop growth in some soils of Rajasthan. **J. Indian Soc. Sci.** 19:26
- Stanev, V. & Kozarova, M. 1984. Changes in the intensity of photosynthesis and the content of chlorophyll in lucerne under macroelement deficiency in nutrient solution. Proc. 2<sup>nd</sup> Internat. Symp. of Plant Nutrition. Varna, Bulgaria. Vol. III. p. 107
- Starck, Z. 1973. **Acta Soc. Bot. Pol.** 42:143
- Steele, K.W. 1976. Effect of added phosphorus on the availability and forms of phosphorus present in two soils of the Manawath. Rangitiki sand country. **NZ. J. of Agric. Res.** 19:443
- Tafur, N. 1969. Fraccionamiento del fósforo en algunos suelos del Valle del Simú, Córdova. Rev. ICA. Vol. IV. 59
- Tanaka, A.; Hitsuda, K. & Tsuchihashi, Y. 1984. Tolerance to low pH and low available phosphorus of various yield and forage crop. **Soil Sci. Plant Nutrition.** 30:39
- Tate, K.R. 1984a. Soil phosphorus. In: Soil organic matter and biological activities. Ed. Vaughn. Martinus Nijhoff. The Hague
- Tate, K.R. 1984b. The biological transformations of P in soil. **Plant and Soil.** 76:245
- Thoughton, A. 1960. Nature London. 188:593
- Till, A.R. & Blair, G.J. 1974. Trans. 10<sup>th</sup> Internat. Cong. Soil Sci. Moscow. II:153
- Tisdale, S.L. & Nelson, W.L. 1965. Soil fertility and fertilizers. New York. Macmillan. p. 694
- Tomov, T. & Gorbanov, St. 1984. Upon de phosphorus nutrition of the winter soft wheat cultivar Charodeika. I. The effect of the phosphorus nutrient level on the development, productivity and quality of grains. Proc. 2<sup>nd</sup> Internat. Symp. of Plant Nutrition. Vol. IV. p. 182
- Umbreit, W.W.; Burris, R.H. & Stanffer, J.F. 1951. Manometric techniques and tissue metabolism. Burgess Publishing Co. Minneapolis
- Uzo, F.O.; Juo, A.S.E. & Fayemi, A.A.A. 1975. Forms phosphorus in some important agriculture soils of Nigeria. **Soil Sci.** 120:212

- Vanderdeelen, J. & Baert, T.L. 1971. Adsorption and exchangeability of phosphate in gibbsite. ***Pedologia***. 21:360
- Vantour, A. & Carriera, Zaida. 1984. Formas y contenido de fósforo en suelos Ferralíticos Rojos en relación con el pH y la materia orgánica. ***Cienc. de la Agric.*** 18:103
- Viera, L.S. & Bornemissza, E. 1968. Categorías del fósforo en los principales grandes grupos de suelos de Amazonia del Brasil. ***Turrialba***. 18:242
- Villegas, R. 1981. El fósforo en los suelos y efectividad de la aplicación de fertilizantes fosfóricos en el cultivo de la caña de azúcar en la República de Cuba. Tesis en opción al grado de Candidato a Doctor en Ciencias. VIUA. Moscú
- Volleidt, N.R. & Andreeva, N.G. 1975. Metabolismo del fósforo en hojas del trigo de invierno en relación con la provisión de la planta con fósforo y nitrógeno. Flodorodie Pochv. Nauka. Moscú. p. 54
- Watanabe, F.S.; Olsen, S.R. & Danielson, R.E. 1960. Phosphorus availability as related to soil moisture. Trans. 7<sup>th</sup> Internat. Cong. Soil Sci. 3:450
- Weaver, J.E. & Clements, F.E. 1938. Plant ecology. 2<sup>nd</sup>. Ed. McGraw-Hill. New York. p. 302
- Weaver, R.M.; Fox, R.H. & Grossdoff, M. 1975. Inorganic and organic phosphorus occurrence in some highly weathered soils of Puerto Rico. ***Trop. Agric.*** 52:119
- Webster, C.C. & Wilson, P.N. 1980. Agriculture in the tropics. 2<sup>nd</sup>. Ed. Longman
- Weigl, J. 1963. Die bedeutung der energiereichn phosphate blider ioneaufnahme durch wurzein. ***Planta***. 60:307
- Westen, F.C. & Brito, Julia. 1969. Phosphorus fractions. II. of some Venezuelan soils as related to their stage of weathering. ***Soil Sci.*** 107:194
- Whitelead, O.C. 1966. Data of the mineral composition of grassland herbage from the Grassland Research Institute Hurley and the Welsh Plant Breeding Station. Aberystwyth. Tech. Rep. Grassld. Res. Inst. 4
- William, R.D. 1966. Nutrient uptake by grass roots. Proc. 8<sup>th</sup> Internat. Grassld. Congress
- Wilson, J.R. & Haydock, K.P. 1970. The comparative response to tropical and temperate grasses to varying levels of nitrogen and phosphorus nutrition. ***Aust. J. Agric. Res.*** 22:573
- Winter, W.H. & Jones, R.K. 1977. Nutrient responses on a yellow Herat soil in Northern Caps York Peninsula. 11:247
- Wollner, H. & Castillo, J.L. 1968. La influencia de distintos niveles de nitrógeno en el rendimiento de la pangola (*Digitaria decumbens*). ***Rev. cubana Cienc. agríc.*** 2:227
- Woodruff, J.R. & Kamprath, E.J. 1965. Phosphorus adsorption maximum as measured by the Langmuir isotherm and its relationship to phosphorus availability. ***Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*** 29:148
- Yepes, S. 1972. Observaciones sobre el sistema subterráneo del pasto y su relación con tallo-hoja. Memoria de la EEPF "Indio Hatuey". Matanzas, Cuba. p. 21
- Yuan, T.L. 1960. Forms of newly fixed phosphorus in three acid sandy soils. ***Sci. Soc. Amer. Proc.*** 24:447
- Zaitseva, M.G. & Sedenko, D.M. 1962. ***Fisiol. Rastenii***. 9:98
- Zaitseva, M.G. 1984. Phosphorus deficiency and the oxidative systems of plants. Proc. 2<sup>nd</sup> Internat. Symp. of Plant Nutrition. Varna, Bulgaria. Vol. III. p. 143