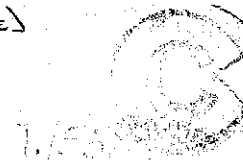


CAUF. 11 (ONCE)



MINISTERIO DE EDUCACION Y CULTURA
UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA
FACULTAD DE AGRONOMIA

FERTILIZACION FOSFATADA PARA LA
INSTALACION DE LEGUMINOSAS
FORRAJERAS PURAS

por

Alvaro GARAYALDE BARBAT
Malcolm MORTON VIGNOLES



TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener
el título de Ingeniero Agró
nomo (Orientación Agrícola-
Ganadera)

Montevideo
URUGUAY
1983

13 MAR 1984

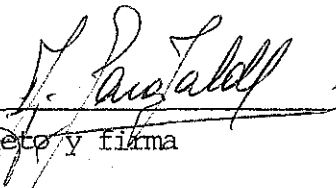
Tesis aprobada por:

Director: ING. DEL. ANTONIO YASUAKINO
Nombre completo y firma

ING. DEL. ORVAL CASAROSA
Nombre completo y firma

ING. DEL. MILTON CALABRUS
Nombre completo y firma

Fecha: _____

Autores: Alvaro Garayalde Barbat 
Nombre completo y firma

Malcolm Morton Vignoles Malcolm Morton
Nombre completo y firma

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer a todos aquellos que posibilitaron la realización de este trabajo.

Prof. Adj. Ing. Agr. Ms.Sc. Antonio Mallarino

Prof. Adj. Ing. Agr. Omar N. Casanova

A ellos, por su incansable ayuda y continuo apoyo en todo lo que fuera trabajo de campo o consultas teóricas, así como también por la calidad humana que nos brindó total comprensión e incentivo para llegar al final.

A los demás integrantes de la cátedra por su colaboración en el proceso de este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

| | <u>Página</u> |
|---|---------------|
| PAGINA DE APROBACION..... | II |
| AGRADECIMIENTOS..... | III |
| LISTA DE CUADROS Y GRAFICAS..... | VII |
| I. <u>INTRODUCCION Y OBJETIVOS</u> | 1 |
| II. <u>REVISION BIBLIOGRAFICA</u> | 4 |
| II.1. FACTORES FISIOLÓGICOS Y MORFOLÓGICOS QUE INTERVIENEN EN LA NUTRICION FOS- FATADA..... | 4 |
| II.1.1. <u>Nociones generales</u> | 4 |
| II.1.2. <u>Mecanismos de absorción de fósforo</u> | 8 |
| II.1.3. <u>Diferencias genéticas</u> | 15 |
| II.1.4. <u>Leguminosas versus gramí- neas</u> | 17 |
| II.1.5. <u>Factores inherentes a la raíz</u> | 20 |
| II.1.5.1. Sistema radicular: distribución, área superficial, volumen. | 21 |
| II.1.5.2. Pelos radiculares y diámetros radícula- res..... | 27 |
| II.1.5.3. Variación entre y a lo largo de las raí- ces..... | 29 |

| | | |
|-----------|--|----|
| II.1.5.4. | Raíces pivotantes versus raíces no dales..... | 30 |
| II.1.5.5. | La capacidad de In tercambio catióni- co de raíces..... | 32 |
| II.1.6. | <u>Factores externos (rizósfera)</u> | 34 |
| II.1.6.1. | Exudados radiculares, fosfatasa, pH..... | 34 |
| II.1.6.2. | Respuesta al stress de nutrientes..... | 37 |
| II.1.6.3. | Micorrizas(hongos).. | 38 |
| II.1.6.4. | Otros microorganismos..... | 40 |
| II.1.7. | <u>Estolones</u> | 41 |
| II.2. | REQUERIMIENTOS DE FOSFORO..... | 43 |
| II.2.1. | <u>Variaciones estacionales en la respuesta al fósforo</u> | 46 |
| II.3. | CONTENIDO DE FOSFORO EN LAS PASTURAS... | 48 |
| II.3.1. | <u>Análisis foliar</u> | 48 |
| II.3.2. | <u>Niveles críticos</u> | 49 |
| II.3.3. | <u>Absorción de fósforo por las plantas</u> | 51 |
| III. | <u>MATERIALES Y METODOS</u> | 55 |
| III.1. | TRATAMIENTO Y DISEÑO EXPERIMENTAL..... | 55 |
| III.2. | TRABAJO DE CAMPO Y LABORATORIO..... | 56 |
| III.3. | ANALISIS ESTADISTICO..... | 58 |

| | <u>Página</u> |
|--|---------------|
| IV. <u>RESULTADOS Y DISCUSION</u> | 59 |
| IV.1. ANALISIS CONJUNTO..... | 59 |
| IV.2. ANALISIS POR ESPECIE..... | 62 |
| IV.2.1. <u>Producción de forraje</u> | 62 |
| IV.2.1.1. <u>Materia Seca Total</u> | 62 |
| IV.2.1.2. <u>Materia Seca por</u> <u>corte</u> | 65 |
| IV.2.2. <u>Composición química de la</u> <u>planta</u> | 69 |
| IV.2.2.1. <u>Fósforo foliar</u> | 69 |
| IV.2.2.2. <u>Fósforo absorbido</u> .. | 75 |
| IV.3. <u>RECUPERACION DEL FOSFORO DEL FERTI-</u> <u>LIZANTE</u> | 79 |
| IV.4. <u>ANALISIS DE SUELO</u> | 82 |
| V. <u>CONCLUSIONES</u> | 84 |
| VI. <u>APENDICE</u> | 86 |
| VII. <u>BIBLIOGRAFIA</u> | 99 |

LISTA DE CUADROS Y GRAFICAS

| <u>Cuadro N°</u> | | <u>Página</u> |
|------------------|---|---------------|
| 1 | Propiedades generales del suelo (0-20 cm)... | 55 |
| 2 | Características de los cortes..... | 57 |
| 3 | Efecto de fósforo en la producción de Mate- ria Seca total..... | 59 |
| 4 | Análisis de varianza resumido para Materia Seca total..... | 60 |
| 5 | Efecto del fósforo en el fósforo absorbido total..... | 61 |
| 6 | Análisis de varianza para kg de fósforo absorbido..... | 61 |
| 7 | Análisis de varianza resumido para Materia Seca total anual para el trébol rojo..... | 62 |
| 8 | Análisis de varianza resumido para Materia Seca total anual para el lotus..... | 63 |
| 9 | Análisis de varianza resumido para Materia Seca total anual para el trébol blanco..... | 63 |
| 10 | Rendimiento de Materia Seca para el trébol blanco, 1er. y 2do. cortes..... | 66 |
| 11 | Kg. de Materia Seca/ha para distintas dosis de fósforo aplicadas en trébol rojo..... | 68 |
| 12 | Kg. de Materia Seca/ha para distintas dosis de fósforo aplicadas en lotus..... | 68 |

Cuadro N°Página

| | | |
|----------|--|----|
| 13 | Análisis de varianza resumido para Materia Seca total para el lotus, 1er. corte..... | 69 |
| 14 | Porcentaje de fósforo en la parte aérea del trébol blanco en su 1er. y 2do. corte..... | 70 |
| 15 | Porcentaje de fósforo en la parte aérea para el trébol rojo en sus tres cortes..... | 70 |
| 16 | Fósforo absorbido por el trébol rojo, 1er. corte..... | 71 |
| 17 | Porcentaje de fósforo, parte aérea, para lotus en sus tres cortes..... | 71 |
| 18 | Fósforo absorbido por trébol blanco en sus 1er. y 2do. cortes..... | 75 |
| 19 | Fósforo absorbido por el trébol rojo en cada corte..... | 76 |
| 20 | Fósforo absorbido por el lotus en cada corte..... | 77 |
| 21 | Fósforo absorbido total por el trébol blanco, lotus y trébol rojo..... | 77 |
| 22 | Efecto de la dosis sobre la eficiencia, para cada una de las especies..... | 80 |
| 23 | Porcentaje de recuperación del fósforo del fertilizante..... | 81 |
| 24 al 50 | APENDICE..... | 87 |

Gráfica N°Página

| | | |
|---|--|----|
| 1 | Rendimiento anual de Materia Seca total del trébol blanco versus unidades de P_2O_5 /ha..... | 64 |
| 2 | Unidades de P_2O_5 /ha versus rendimiento total de Materia Seca (kg/ha)..... | 66 |
| 3 | Fecha de corte versus porcentaje de fósforo, parte aérea para las tres especies. | 73 |
| 4 | Nivel crítico estimado foliar para el trébol blanco..... | 74 |

I. INTRODUCCION Y OBJETIVOS

La intensificación de la producción ganadera y lechera en el Uruguay requiere la utilización de pasturas de buena calidad y de alta productividad.

Nuestras pasturas naturales se caracterizan por una falta de leguminosas, debida a la generalizada deficiencia de fósforo de nuestros suelos. Según Carámbula (1978) para cualquier método de mejora aplicado y para cualquier especie introducida, el éxito final se obtendrá cuando se mantengan dos requisitos fundamentales: población adecuada de leguminosas y disponibilidad apropiada de fósforo. También establece que por más productiva y equilibrada que sea una pastura, sus rendimientos decaerán si no se refertiliza oportunamente.

El fósforo tiene dos efectos en la producción de las pasturas perennes de gramíneas y leguminosas: un efecto directo, en la producción de cada uno de los componentes de la pastura, fundamentalmente el de leguminosa; y un efecto indirecto a través de una mayor disponibilidad de nitrógeno causada por la mayor fijación de este nutriente por las leguminosas a mayores niveles de producción.

En las áreas donde los análisis económicos indican mínimas inversiones de dinero en las pasturas, se cuenta con las leguminosas para suministrar la mayor parte de los requerimientos de nitrógeno del sistema. Bajos niveles de fósforo nativo y muy bajas o inexistentes aplicaciones en el pasado han resultado en que el fósforo sea el factor limitante del

rendimiento en estos sistemas de producción, basados en pasturas.

O sea, para las condiciones especiales de ciertos países, entre los cuales se encuentra Uruguay, el fósforo constituye el elemento nutritivo más limitante de la producción vegetal en pasturas naturales e introducidas y, por lo tanto, los fertilizantes fosfatados constituyen el mayor porcentaje del total de fertilizantes consumidos. ~~Por lo tanto, los fertilizantes fosfatados constituyen el mayor porcentaje del total de fertilizantes consumidos.~~

A pesar de estas consideraciones, el uso de fertilizantes en pasturas artificiales en el Uruguay es bajo, comparado con otros cultivos.

Mays y col. (1980) establecen que entre las razones que explican el uso limitado de fertilizantes en pasturas, se encuentran las siguientes:

i) Los forrajes son considerados como cosechas de bajo valor, y por lo tanto no valdría la pena fertilizarlos.

ii) Los rendimientos menores debidos a la baja fertilidad no son siempre obvios, especialmente bajo pastoreo.

iii) Es difícil que el productor pueda medir la respuesta a la fertilización en términos de ganancias en pesos por unidad de área de tierra.

iv) El nivel de manejo practicado por muchos productores no resulta en la utilización total del forraje extra producido por la fertilización.

En la mayoría de los trabajos experimentales realizados en el Uruguay, se estudió la respuesta que presentan las pasturas (mezclas forrajeras) en producción de materia seca al agregado de fósforo, o a las distintas formas de aplicación del fertilizante.

En mezclas que incluyen muchas especies, difícil es mantener el balance deseable entre sus componentes, creándose así una población artificial en la cual no necesariamente las diferentes especies se benefician mutuamente. Estas mezclas complejas hoy día son sustituidas por mezclas simples, debido a su mayor facilidad de manejo y mayor aprovechamiento. Esto se observa fundamentalmente en el área lechera de nuestro país.

Debido a estas consideraciones la cátedra de Fertilidad de Suelos inició un proyecto de investigación destinado a evaluar los requerimientos de leguminosas forrajeras puras. Un primer experimento se instaló en un suelo de textura media y pH fuertemente ácido de la cuenca lechera sur (Chili broste y col., 1982).

En este trabajo se trató de establecer diferencias relativas en los requerimientos de fósforo en el establecimiento de alfalfa, trébol rojo, trébol blanco y lotus, sembrados puros en un suelo de textura pesada y pH ligeramente ácido de la misma región. También se trató de establecer las posibles relaciones entre el contenido de fósforo de las plantas y las dosis de fósforo agregadas en el suelo, así como determinar los niveles críticos foliares.

II. REVISION BIBLIOGRAFICA

En la revisión bibliográfica del presente trabajo, el problema de la dinámica del fósforo en el suelo no fue tratado, debido a que consideramos que este tema ya ha sido exhaustivamente tratado en tesis anteriores, e incluso como referencia se tiene el libro de "Fósforo" editado por la Cátedra de Fertilidad de Suelos. En cambio, se le dio primordial importancia a lo concerniente a los factores fisiológicos y morfológicos de las leguminosas que intervienen en su nutrición fosfatada. O sea, se trató de ver cuales son los factores más relacionados a las plantas, que hacen que una especie sea más eficiente que otra en la utilización del fósforo del suelo.

Se consideró también la literatura referente a la información sobre el efecto del fósforo en la producción y absorción de fósforo de las distintas especies.

II.1. FACTORES FISIOLÓGICOS Y MORFOLÓGICOS QUE INTERVIENEN EN LA NUTRICIÓN FOSFATADA

II.1.1. Nociones generales

Los requerimientos en nutrientes minerales de todas las plantas no son todos los mismos. Esto es cierto tanto cuantitativamente como cualitativamente.

Gerloff (1963) estableció que las marcadas diferencias en los requerimientos nutricionales de estirpes, variedades, poblaciones, y hasta plantas individuales de una especie enfa

tizan la necesidad de tener cautela en la generalización de resultados de estudios sobre la nutrición de una estirpe o variedad a otras.

La habilidad de distintos cultivos (variedades) de absorber grandes cantidades de nutrientes y convertirlos en productos de la planta en suelos altamente enriquecidos donde plantas menos eficientes alcanzan un plateau más bajo de rendimiento, ha sido descripto como la respuesta eficiente a la aplicación de fertilizantes (Clarkson y Hanson, 1980). Estas son las plantas de la "revolución verde", pero acontecimientos económicos recientes y la realización que la contribución más significativa a la producción mundial de alimentos debe provenir de cosechas sembradas en suelos relativamente pobres en nutrientes ha enfatizado un tipo totalmente distinto de eficiencia, que se mide por la producción a partir de cantidades limitadas de nutrientes. En comunidades naturales donde los nutrientes son escasos, las plantas han evolucionado una o más de las siguientes características: 1) ajuste de su velocidad de crecimiento, de manera de hacerla compatible con el suministro de nutrientes; 2) adquisición eficiente de nutrientes; 3) economía interna eficiente que puede resultar de una redistribución eficiente dentro de la planta y/o menores requerimientos en los sitios funcionales. La primera de estas características es la menos interesante para los productores, cuya preocupación es producción; la naturaleza, en cambio, está más interesada en sobrevivir (Clarkson y Hanson, 1980).

Jones (1974) establece que aunque tasas altas de extracción de fósforo son deseables, altas tasas de utilización de fósforo no siempre lo son, ya que pueden indicar

bajas concentraciones de fósforo en el material de la planta - probablemente por debajo de los requerimientos de fósforo de los animales a pastoreo. Por lo tanto en sistemas agríco las que se manejan con cantidades limitantes de nutrientes, puede ser mejor sacrificar algo de la producción potencial de materia seca por un aumento en la concentración de fósforo. La demanda de nutrientes de plantas de crecimiento lento presumiblemente se asemejaría a la velocidad de liberación del nutriente del suelo; la planta seguiría creciendo lentamente sin volverse deficiente.

La velocidad de crecimiento relativo de una planta, y su habilidad de tolerar niveles bajos de fósforo en el suelo, aparecen estar negativamente correlacionados. Se ha concluído que una lenta velocidad de crecimiento puede ser de gran valor adaptativo cuando los niveles de fosfato son bajos. Una baja velocidad de crecimiento, presumiblemente permite más tiempo para la retranslocación del fosfato de tejidos viejos a los meristemas, permitiendo entonces una utilización más eficiente del fosfato para el crecimiento (White, 1972).

En el caso de nutrientes como el fósforo, que son completamente móviles en el floema de las plantas (Biddulph, citado por Loneragan, 1968), el nutriente en exceso puede ser utilizado para crecimiento posterior: el total de crecimento hecho es proporcional al total de fósforo absorbido. En contraste, para los nutrientes como el calcio, que no son móviles en el floema de la mayoría de las plantas, el exceso de nutriente absorbido en etapas tempranas de crecimiento y translocado a las hojas, no es disponible para crecimiento

posterior: tan pronto como el nutriente es agotado de la solución, y el exceso es movido de raíces y tallos, la planta para de crecer. (Loneragan, 1968).

Plantas sembradas en tierras o en soluciones de nutrientes raramente absorben los diversos iones en la proporción en que los iones están presentes en el medio de crecimiento. En cambio, ejercen una acción selectiva, absorbiendo proporciones mayores de algunos iones que de otros. La selectividad varía con el tipo de planta.

La competencia por absorción comprende la abundancia relativa de iones, el poder de combinación de los iones, la capacidad de absorción selectiva de la raíz, los factores de solubilización en el medio de crecimiento, y los procesos de translocación desde la raíz a la parte aérea de la planta. No hay ninguna hipótesis general de absorción iónica que explique todas estas facetas (Brown, 1963).

Todo esto tiende a desarrollar la idea que la extracción de iones comprende el medio ambiente total de la planta. Legget (1968) establece que "mientras nosotros, en un sentido mecanicista, delineamos áreas chicas y definimos estas de una manera simple, este acercamiento es limitado para estudios de extracción iónica. Tratamiento separado de la extracción catiónica y aniónica no es una verdadera evaluación de la extracción. Esto sugiere que el problema es uno de extracción de sales".

II.1.2. Mecanismos de absorción de fósforo

Según la clasificación de A.T. Wilson y J.H. Watkinson (1968), el fósforo entraría dentro de las especies químicas que tienen un potencial químico mayor dentro de las raíces de la planta que en la solución del suelo; que son esenciales para el crecimiento de la planta y son transferidos al interior de la planta con gasto de energía; son nutrientes donde el paso limitante de velocidad es la desorción a partir del suelo; son nutrientes que exhiben el Fenómeno de Fijación.

Fried y Shapiro, citados por C. Bould (1963), consideran que la extracción de fósforo por las plantas del suelo puede ser dividida en cuatro pasos: primero, la liberación del ión fosfato de la fase sólida a la solución del suelo; segundo, el movimiento del ión fosfato de cualquier punto de la solución del suelo a la vecindad de la raíz; tercero, el movimiento del ión desde la vecindad de la raíz al interior de la raíz; y cuarto, el movimiento del ión fosfato a la parte aérea de la planta. Cada uno de estos pasos comprende tasas constantes, y todo el proceso puede ser limitante en cualquiera de los puntos de transferencia. El fósforo de la solución del suelo en suelos agrícolas debe ser renovado varias veces por día por la fase sólida de manera de proporcionar el total de fósforo extraído por las plantas. Esta habilidad de renovar el fósforo en solución es un factor de capacidad. La relación entre el factor intensidad (concentración en la solución del suelo) y el factor capacidad, y el nivel de estos factores, distingue el sistema de fósforo de un suelo del sistema de fósforo de otro.

En la revisión de Barber y col. (1963), se establece que los nutrientes de la planta en el suelo llegan a la raíz por extensión e intercepción radicular, por flujo en masa en solución acuosa y por difusión. El primer proceso permite alcanzar menos de un 3% de los nutrientes disponibles y puede satisfacer los requerimientos de la planta por calcio y magnesio, pero muy poco de sus requerimientos por nitrógeno, fósforo, y potasio. El flujo masal puede satisfacer mucho de los requerimientos por calcio, magnesio y nitrógeno, pero poco de los requerimientos por fósforo y potasio. Estos últimos requerimientos deben ser satisfechos por difusión, un proceso lento en el suelo.

O sea, la mayoría del movimiento del fósforo en el suelo ocurre por difusión (Bielecki, 1973; Clarkson y Hanson, 1980). La existencia de zonas agotadas de fósforo en el suelo muestran que la raíz tiene el potencial de absorber fósforo más rápido que lo que puede ser suministrado por difusión. Se crea así un gradiente de difusión, que traerá cantidades adicionales del nutriente a la superficie de la raíz. Cuando la tasa de difusión de un nutriente en el suelo es baja en relación a la tasa de absorción por la raíz, es claro que este último proceso controla el suministro a la planta (Clarkson y Hanson, 1980). Wilson y Watkinson (1968) también establecen que una vez que la raíz ha bajado la concentración agotando la solución a una tasa mayor al suministro por el suelo, entonces el flujo sería una función de la tasa de suministro del suelo; esto pudiendo ser descrito con modelos simples.

Edward, citado por White (1972), encontró que niveles altos de fosfatos en las plantas de trébol subterráneo podían

deprimir la extracción de fosfato, y concluyó que la demanda de la planta podía ser un factor importante de la tasa de absorción. Tanto el suministro externo como la demanda interna de fosfatos influyen sobre la tasa de extracción de fosfato. O sea, el flujo de nutrientes hacia el interior de las raíces, es la resultante de un número de factores del suelo, planta y ambiente.

Las plantas absorben la mayoría de su fósforo bajo la forma de ión ortofosfato primario, H_2PO_4^- . Cantidades menores del ión ortofosfato secundario, HPO_4^{2-} son absorbidas. En efecto, hay alrededor de diez veces más sitios de absorción en las raíces para H_2PO_4^- que para HPO_4^{2-} . La cantidad relativa de estos dos iones absorbidos por las plantas es afectado por el pH del medio alrededor de las raíces. pHs bajos aumentan la absorción del ión H_2PO_4^- ; en cambio pHs altos aumentan la absorción de la forma HPO_4^{2-} . Las plantas también pueden absorber algunos fosfatos orgánicos solubles (Tisdale y Nelson; Andrew y Johansen, 1976; Hogen y Hopkins, citados por Vosé, 1963). A pH 4.0, 98.6% del fosfato total está presente como H_2PO_4^- , y sólo 0.06% como HPO_4^{2-} (Edwards, 1968).

El movimiento del ión fosfato de las inmediaciones de la raíz al interior de la raíz es un paso extremadamente importante. Edwards (1968) trabajando con trébol subterráneo, demostró la existencia de un doble mecanismo de absorción de fosfatos, siendo ésta una hipótesis más atractiva que las teorías corrientes basadas en involucrar tanto el ión H_2PO_4^- como el ión HPO_4^{2-} en la absorción de fosfatos a pHs bajos. Habría un mecanismo de baja concentración y alta actividad que se satura a $2 - 3 \times 10^{-4}$ M fosfato total, y un mecanismo de

baja afinidad operativo a concentraciones altas de fosfatos. El mecanismo de baja concentración es sin duda el más importante en la absorción de fosfatos por plantas creciendo en suelos; el otro de alta concentración estando involucrado en parte bajo determinadas circunstancias. Por ejemplo, la concentración de fosfatos es muy superior en la zona adyacente a un gramo de fertilizante fosfatado que en el resto de la solución del suelo. Por lo tanto ciertas partes del sistema radicular pueden absorber fosfatos mediante ambos mecanismos cuando la raíz entra en las proximidades de una fuente concentrada de fertilizante fosfatado. Evidencia más reciente (Tom y Laties, y Luttge y Latties, citados por Nielsen, 1972) señala el plasmalema como el sitio del mecanismo de alta afinidad y el tonoplasto como la localidad del mecanismo de baja afinidad.

Andrew (1966) trabajando con raíces de cinco especies (entre ellas alfalfa y cebada) también encontró que dos reacciones simultáneas de primer grado, que designó a y b respondían por el total de fósforo extraído. La reacción a está encargada de la absorción del ión fosfato monovalente H_2PO_4^- , y la reacción b de la absorción del ión fosfato bivalente HPO_4^{2-} .

Está bien establecido que la absorción iónica, cuando la concentración del ión considerado en la solución de nutrientes es menor o igual a 1mM, depende del suministro de carbohidratos a la raíz de los órganos aéreos de la planta, es sensitiva a la inhibición del metabolismo de las células de la raíz, y casi no es influenciada por variaciones en la transpiración de la planta. Esto soportaría la teoría que el paso que determina la tasa de absorción iónica a estas

concentraciones estaría localizada en los tejidos entre la epidermis y el xilema de la raíz (o sea, el plasmalema de las células corticales). Sin consideración de la localización precisa del paso determinante de la tasa de absorción, la tasa (V) sería una función de a) la concentración iónica en la solución en la superficie activa de la raíz, b) el área (a) de la superficie activa de la raíz, y c) de la conductividad (k') de la superficie activa para el ión fosfato (Nielsen, 1963).

La entrada de iones a células vivientes es acompañada de un ligamiento a moléculas "carrier" o transportadoras de algún constituyente protoplasmático. Estos complejos ión-transportador pueden atravesar barreras que son de permeabilidad limitada para los iones libres. Además este sistema puede ser considerado como selectivo con respecto a varios iones, y altamente específico con respecto a competencia por sitios de absorción (Vose, 1963).

El movimiento de iones o sales a través de la membrana de la planta por transportadores (carriers) depende de energía metabólica y se piensa que es transporte activo. Pero la entrada y asociación de iones con las células de plantas también pueden ocurrir por un número de procesos físicos que incluyen difusión, intercambio iónico, equilibrio Donnan, flujo masal, y adsorción (Legget, 1968; Sutcliffe, 1962).

Hay mucha evidencia de que la absorción está muy relacionada con la utilización metabólica (Sutcliffe, 1962; White, 1973). White (1973), establece que la demanda de fósforo asociada con la tasa de crecimiento de la planta, o el nivel de

actividad metabólica dentro de los tejidos, aparecen tener una influencia marcada sobre la tasa de extracción de fósforo tanto a niveles deficientes como óptimos de suministro (1 a 10mM de fósforo) en soluciones nutritivas. Establece una hipótesis según la cual la tasa de influjo de ortofosfato hacia el interior de las células corticales es regulado por la tasa de pasaje del "pool" de fósforo inorgánico en el citoplasma, y por la tasa de transporte de fósforo inorgánico a los brotes. En otras palabras, la partición del fósforo absorbido entre los "pools" orgánicos e inorgánicos en la raíz, y su subsiguiente transporte al brote, puede ser importante determinando la tasa de extracción.

Bowling y Dunlop (1978), analizando la extracción de fosfatos con trébol blanco, encontraron evidencias de la existencia de una bomba electrogénica de fosfatos. Extracción de fosfato de soluciones y diferencias de potencial eléctrico de las membranas celulares (PD), fueron seguidas simultáneamente en raíces de plantas intactas de trébol blanco. La extracción y la diferencia de potencial eléctrico (PD) estaban fuertemente influenciados por los brotes, y eran reducidos por excisión de las raíces, defoliación de la planta, y bajando la intensidad de la luz sobre la superficie foliar. 2-4 Dinitrofenol causó una declinación del PD. Una correlación cercana entre la extracción de fosfatos y la PD fue obtenida bajo condiciones diversas, y remoción de fosfatos de la solución resultó en una declinación de la PD. Concluyeron que existía una bomba electrogénica de fosfatos en las raíces de trébol blanco que era dependiente del suministro de carbohidratos de los brotes.

Finalmente quedaría por ver la importancia de la definición de "eficiencia" de la utilización de fósforo que estamos utilizando. Mendoza (1989), trabajando con trébol blanco, trébol rojo y alfalfa dosificados con 0 a 80 ppm de fósforo como hidrofosfato de potasio, que fueron cosechados 35 ó 58 días después de la siembra, ordenó las especies de acuerdo a su eficiencia en la utilización de fósforo, basado en varios criterios: producción de materia seca relacionada a la tasa de aplicación de fósforo; concentración de fósforo en las partes sobre el suelo (aéreas); total de fósforo absorbido; y extracción de fósforo/unidad de materia seca de raíz. Este ordenamiento o clasificación dependió del criterio usado, no encontrándose diferencias entre especies cuando no se aplicaba fósforo.

Graene Blair y Santos Cordero (1978), evaluando la eficiencia de fósforo de tres leguminosas anuales, consideraron cuatro definiciones de eficiencia: i) habilidad de las partes aéreas de producir materia seca con una cantidad dada de fósforo aplicado, ii) producción de materia seca en la parte aérea por unidad de fósforo extraído, iii) producción de materia seca en la parte aérea a una concentración constante de fósforo en la planta, y iv) extracción de fósforo por unidad de peso de raíz o de área superficial. Nuevamente encontraron diferencias según la definición de eficiencia utilizada.

La primera definición puede ser considerada como agronómica, ya que en la práctica, productores primarios están interesados en la cantidad y calidad de forraje producido con un determinado suministro de fósforo. Este criterio sería satisfactorio mientras el contenido de fósforo y demás constituyen

tes de la planta sean adecuados para la producción animal (Graene Blair y Santos Cordero, 1978).

Plantas consideradas eficientes utilizando el tercer criterio (producción de materia seca a una concentración constante de fósforo en la parte aérea), pueden ser aquellas que retienen cantidades pequeñas de fósforo en el sistema radicular y translocan cantidades máximas a las partes aéreas para la producción de materia seca (G. Blair y Santos Cordero, 1978).

II.1.3. Diferencias genéticas

Los genes son últimamente, en su esencia, responsables por todas las características fisiológicas y morfológicas típicas de las diferentes plantas. Todas estas características y respuestas están bajo alguna forma de control genético (Zobel, 1975).

Según Clarkson y Hanson (1980), todavía no es posible de explicar como algunos genotipos producen una cantidad dada de crecimiento, y por lo tanto satisfacen todos sus requerimientos biosintéticos y de mantenimiento, usando cantidades menores de nutrientes que aquellos requeridos por otros. Genotipos que son eficientes con respecto a su nutrición fosfatada producen más crecimiento de una cantidad dada de nutriente absorbido que genotipos ineficientes, especialmente cuando los suministros son bajos. Por lo tanto tienen una menor concentración de nutrientes en los tejidos. Nutrición fosfatada eficiente puede comprender tasas más altas de extracción por unidad de peso radicular; el peso, sin embargo, puede no ser la medida más apropiada para la comparación de

extracción de fósforo, especialmente si los genotipos o especies varían en su morfología y tasa de área superficial/volumen. Tasas aumentadas de extracción de fosfatos acompañan bajos niveles de fósforo en la planta, y parece posible que el grado de este aumento bajo condiciones de stress puede ser controlado genéticamente.

Vose (1963), establece que hay dos grandes formas de nutrición diferencial de las variedades: i) respuesta diferencial de rendimientos, o sea, la eficiencia de producción de materia seca con los nutrientes disponibles, y ii) extracción diferencial de nutrientes, mostrado por la concentración o contenido total de un elemento en brotes o raíces. Establece que la mayoría de las diferencias varietales en la nutrición de las plantas resultan finalmente de la respuesta diferencial de rendimientos (i).

Vose también cita una comparación de varios clones de trébol blanco, en donde se encontró diferencias clonales en la concentración de fósforo. La comparación de la concentración de fósforo en clones de alto y bajo rendimiento mostró que clones de alto rendimiento tenían el menor porcentaje de fósforo, y clones de menor rendimiento tenían el mayor porcentaje de fósforo. Esto también fue demostrado con trébol rojo.

Spender y col. (1980). en cambio, trabajando con ocho cultivares de trébol blanco a seis niveles diferentes de fósforo en suelos inicialmente deficientes, y con tres épocas de corte (seis, nueve y doce semanas de crecimiento bajo condiciones controladas de temperatura y humedad) no encontraron grandes diferencias entre los cultivares; y los cultiva

res de localidades de baja fertilidad eran los menos eficientes. Luego compararon el trébol blanco con el *Trifolium ambiguum*, encontrando que las diferencias interespecíficas en la cantidad de fósforo aplicado requerido para producir el 90% del máximo rendimiento, eran insignificantes en plantas de la misma edad. Pero los requerimientos del trébol blanco aumentaban cuando las plantas de *Trifolium ambiguum* seguían creciendo para producir cantidades similares de materia seca.

Scott (1977), analizando la nutrición fosfatada del trébol blanco, sugirió que existen diferencias entre algunos cultivares en su habilidad de movilizar fósforo, y que la selección tendría que ser hecha para cultivares con menores requerimientos de fósforo del suelo, reduciendo la necesidad de aplicaciones grandes de fertilizantes fosfatados.

Como conclusión, habría que decir que las diferencias en eficiencia intraespecíficas pueden ser tan o más importantes que las diferencias interespecíficas.

11.1.4. Leguminosas versus gramíneas

Según Caradus (1980), que distinguió la eficiencia de usos de fósforo entre diez especies de gramíneas y once especies de leguminosas, las gramíneas como grupo eran más tolerantes a suelos con niveles bajos de fósforo que las leguminosas. Las gramíneas tenían un sistema radicular más denso, con longitudes totales mayores, raíces más finas, y pelos radiculares más largos. Las gramíneas también mostraron dividir su fósforo entre los brotes y la raíz de la misma manera independientemente del nivel de fósforo en el suelo. Las leguminosas, en cambio, retuvieron más fósforo en las raíces en

suelos pobres en fósforo.

Las diferencias morfológicas entre las raíces de gramíneas y leguminosas afectan su capacidad de extracción de fósforo desde el suelo. Muchas gramíneas producen una densa y fibrosa red de raíces que se ramifican completamente en los horizontes superficiales del suelo, hasta una profundidad de 20 a 50 cm. Esta red de raíces explora en forma extensiva el suelo, y es capaz de extraer suficiente fósforo de suelos que podrían no suministrar una cantidad adecuada de fósforo para leguminosas y otras plantas con sistemas radiculares parecidos (Chilibroste y col., 1982).

Asher y Lonergan (1967), comentando la importancia de un buen desarrollo del sistema radicular, afirman que el volumen de suelo explorado por las raíces puede ser casi tan importante como la habilidad para absorber fósforo en bajas concentraciones.

Las leguminosas forrajeras tienen raíces pivotantes o ramificadas pero con mucha menor extensión y fibrosidad que las gramíneas. Un gran número de leguminosas, incluyendo a la alfalfa y trébol rojo, tienen sistemas radiculares profundos. Sin embargo, un hábito de crecimiento radicular profundo es de poca ayuda para la nutrición fosfatada, ya que la mayor parte del fósforo utilizado se encuentra entre los primeros 20 ó 30 cm del suelo (Mays et al, 1980; citados por Chilibroste y col., 1982).

Lamba et al (1949) encontraron diferencias significativas en la profundidad y distribución de los sistemas radiculares de alfalfa, trébol rojo, bromus y timote. Sin embar

go, aún los sistemas radiculares más profundos de estas especies, tienen la mayoría de las raíces en los primeros 40 cm del suelo, indicando una capacidad mayor de remoción de fósforo de los primeros horizontes del suelo.

Schwendinan et al (1966), citados por Mays et al (1980), compararon la producción de raíces de alfalfa y gramíneas. Las gramíneas producían dos o tres veces más raíces por peso que la alfalfa en los primeros 20 cm del suelo; considerando la producción de la raíz pivotante de la alfalfa en el total del peso de la raíz en los primeros 15 a 20 cm del suelo, las gramíneas tienen una tremenda ventaja en la superficie total de absorción.

Lloyd Jenkins (1963), en cambio, trabajando con raigrás perenne y trébol blanco salvaje sembrados en un suelo deficiente en fósforo, encontró diferencias en el uso de fósforo agregado, especialmente cuando la suplementación de fósforo (potencial) era chica. El trébol hacía mayor uso del fósforo en estas circunstancias (o sea, extraía niveles significativamente mayores que la gramínea solamente a niveles bajos de fósforo). La similitud de los valores Larsen obtenidos con estas dos especies, indicaba que esto se debía mayormente a que las especies absorbían el fósforo a tasas diferentes, y no a diferencias interespecíficas en la habilidad de utilizar el suministro.

El efecto primario sobre la distribución radicular es genético. Plantas dicotiledóneas (leguminosas) tienen raíces pivotantes, mientras monocotiledóneas (gramíneas) tienen un número de ejes mayores emergiendo de la base del brote.

Factores genéticos también controlan, de manera general, la tendencia a enraizamiento profundo o superficial, y altas o bajas densidades de raíces. En muy pocos casos, sin embargo, han sido sembrados diferentes cultivos bajo condiciones idénticas para poder comparar directamente sus sistemas radiculares sin la complicación de los factores ambientales. En la ausencia de tales comparaciones directas, es difícil hacer más que generalizar en una manera cualitativa, debido a los efectos mayores del suelo y condiciones ambientales sobre el largo de las raíces y su distribución (Tinker, 1981).

11.1.5. Factores inherentes a la raíz

El crecimiento sostenido de plantas superiores requiere luz, anhídrido carbónico, agua y iones minerales. Uno de los problemas fundamentales del crecimiento de las plantas es como los iones inorgánicos entran a las células radiculares y luego se mueven a través de la raíz arriba hacia los brotes. Es bien sabido que hojas verdes convierten energía lumínica a energía química (NADPH y ATP) por fotosíntesis y proveen a las raíces con un suministro de energía bajo la forma de compuestos reducidos de carbono. Probablemente la utilización de esta energía en la procuración de iones inorgánicos esencial es la función más vital de las raíces. A pesar de que las raíces tienen otras funciones importantes, como el anclaje, proveer un camino para el agua y transferencia de nutrientes a los brotes, metabolismo para su propio crecimiento, síntesis de reguladores del crecimiento, etc., su habilidad única de extraer y concentrar selectivamente iones inorgánicos es una de sus más importantes funciones (Hodges, 1973).

Debido a la inmovilidad del fósforo en el suelo, el crecimiento y extensión de los sistemas radiculares son factores importantes en el suministro de fósforo para las plantas. Black (citado por Chilibroste y col., 1982) estimó que casi todo el fósforo suministrado a las plantas provenía de un volumen de suelo adyacente a las raíces de aproximadamente 1 mm de espesor. O sea, en el suelo, la difusión del fósforo a la raíz podría ser el factor limitante del suministro. Plantas con atributos favorables para la activa exploración en busca de su fósforo, en lugar de esperar de que éste difunda a sus superficies, podrían mantener una extracción suficiente contínua, e incluso incrementarla. Según Brewster y Tinker (1972), no tendríamos que preguntarnos si hay suficientes nutrientes disponibles en el suelo, sino si el sistema radicular de la cosecha en ese suelo es capaz de extraer los nutrientes a la tasa necesaria para el máximo crecimiento.

II.1.5.1. *Sistema radicular: distribución, área superficial, volumen.* La resistencia ofrecida por el suelo a la transferencia de nutrientes hacia las raíces dependen de la forma y el tamaño de los caminos a través de los cuales los nutrientes deben viajar. Estos caminos están determinados por la configuración del sistema radicular. O sea cuando estudiamos sistemas radiculares, en contraste con raíces aisladas, la resistencia a la transferencia de nutrientes depende no solamente de las propiedades del suelo (coeficientes de transferencia) sino también de la misma configuración del sistema radicular. La densidad radicular tiene una influencia marcada sobre la tasa en que el suelo es agotado (Barley, 1970).

La geometría del sistema radicular, por lo tanto, puede ser muy importante en determinar la habilidad de las plantas en

extraer fósforo. La ventaja más obvia sería tener más raíces. También, raíces más finas con una mayor área superficial y mayor longitud por unidad de peso serían capaces de traer fósforo de un mayor volumen de suelo, aumentando la extracción. Raíces más ramificadas también tendrían mayor área superficial, etc.

O sea el área superficial de la raíz, la tasa de crecimiento de las raíces, la cantidad, fineza, tipo y largo de las raíces, se cree que están todos implicados en la eficiencia de la absorción de fosfatos por las raíces (Mc Lachlan, 1976; Vose, 1963).

La exploración y explotación del suelo son asegurados por la elongación rápida de los principales ejes radiculares y la subsiguiente proliferación de raíces laterales. Estrategias para maximizar el volumen de suelo explorado, la extensión de las superficies radiculares en ese volumen y la tasa de movimiento iónico hacia esas superficies pueden tener tanta o más influencia en la adquisición de nutrientes que la capacidad inherente de las células radiculares de absorber iones (Clarkson y Hanson, 1980). También establecen que el área superficial del sistema radicular en relación a su volumen (peso) es un factor de crucial importancia para la explotación efectiva de los recursos de nutrientes del suelo.

Por ejemplo, Jacques (1979) analizando la extracción de fósforo de fuentes insolubles del suelo por cinco leguminosas forrajeras, entre las que se encontraban alfalfa, trébol rojo, trébol subterráneo y trébol dulce amarillo, encontró que los índices del área superficial de la raíz generalmente se incre

mentaban al hacerse más limitante el fósforo disponible para las leguminosas. Graene Blair y Santos Cordero (1978) también establecieron que una de las explicaciones de las diferencias observadas a campo sobre la capacidad de serradella (Ornithopus compressus) de crecer en suelos arenosos de baja fertilidad podría ser su sistema radicular profundo que le permitiría utilizar fósforo de zonas más profundas del perfil.

Asher y Ozanne (1961), sin embargo, al analizar la C.I.C. de varias leguminosas, pastos y hierbas, llegaron a conclusiones contradictorias. Establecieron que si diferencias del tamaño relativo y extensión del sistema radicular son responsables de parte de la habilidad diferencial relativa de las especies de plantas para obtener fósforo de fosfatos de roca, sería de esperar que la concentración de fósforo en el tope de las plantas aumentaría al aumentar la tasa (peso raíz/peso parte aérea), o sea a medida que el sistema radicular aumenta en relación al crecimiento de la parte aérea. Pero, contrariamente a lo esperado, encontraron una relación que indica que sistemas radiculares relativamente grandes eran de poca ayuda para acumular fósforo en las partes aéreas de las plantas.

De todos modos, Wilson y Watkinson (1968), establecieron que para aquellas áreas deficientes en nutrientes fosfatados, pero cuyos suelos contienen cantidades apreciables del nutriente "fijado", las plantas tendrían que presentar sistemas radiculares más grandes y densos. Noordwijk y Willigen (1979), calculando la densidad radicular requerida para el crecimiento en suelos de diferentes niveles de fósforo, también establecieron que cuanto más pobre es el suelo, mayor debe ser la densidad radicular para poder extraer suficiente fósforo del suelo.

Las tasas de extracción han sido expresadas en términos de peso, área superficial y largo de las raíces. Ninguno de estos parámetros de flujo puede ser considerado como el correcto; la elección depende del objetivo del trabajo (Brewster y Tinker, 1972).

White (1972) establece que aunque algunos autores han sugerido que el área superficial gobierna la extracción total de fosfatos por las raíces, es más fácil medir exactamente el peso radicular. Cita también que Hackett encontró que medidas alternativas de tamaño eran aproximadamente equivalentes como bases para expresar la capacidad de absorción de las raíces; en particular, había poca diferencia para elegir entre área superficial, volumen radicular y peso seco de la raíz como índices de tamaño.

Davis (1981), analizando la respuesta al fosfato de especies de Lotus, Trifolium, Lupinus, Astragalus y Coronilla, encontró que tasas relativas de acumulación de fósforo eran mayores en especies con enraizamiento superficial fuertemente desarrollado que en aquellas con raíces pivotantes o con pocas raíces cerca de la superficie.

Tesu (1969) analizando el crecimiento de los sistemas radiculares de Agropyron cristatum, Festuca pratensis, Trifolium pratense y Lotus corniculatus, encontró que la proporción de raíces de primer orden era mucho mayor en el Lotus que en el trébol rojo. El crecimiento radicular durante la floración y formación de semillas fue también mucho más rápido en el lotus que en las otras tres especies, a pesar de no mostrar ningún aumento durante el otoño. Además, el Lotus

tenía el sistema radicular más grande.

Según Carámbula (1977), la alfalfa posee una raíz pivote que se orienta perpendicularmente pudiendo penetrar en el suelo hasta 8 ó 10 metros de profundidad, lo que le permite llegar al agua de las capas profundas. Entre los 30 y 60 cm tiene una cabellera de raíces que le permite extraer los nutrientes. El Lotus, en cambio, posee un sistema radicular que consiste en una raíz pivotante con numerosas ramificaciones formando ángulos rectos con la raíz principal. Si bien al principio del desarrollo de las plántulas las raíces tienen crecimiento lento, posteriormente superan en profundidad a las del trébol rojo, pero en ningún momento a las de alfalfa. El trébol blanco posee un hábito postrado con gran cantidad de estolones con raíces en sus nudos (o sea, raíces nodales y pivotantes). Finalmente, el trébol rojo posee una raíz pivote fuerte.

Dale Smith (1978) también establece que la alfalfa posee un sistema radicular de gran profundidad; el del trébol rojo es poco profundo (comparado con el de la alfalfa); y el lotus posee una raíz muy ramificada, e intermedia en la profundidad de penetración entre la de la alfalfa y la del trébol rojo.

Seaney y Henson (1970) coinciden que el lotus posee una raíz pivotante larga con numerosas ramificaciones laterales. Las ramificaciones de la raíz primaria son bastante grandes en diámetro, pero las ramificaciones secundarias se hacen más chicas y forman un denso sistema radicular fibroso, especialmente en los primeros 60 cm del suelo. El sistema radicular del lotus no es tan profundo como el de la alfalfa, pero su

distribución es más extensiva en las capas superiores del suelo. Citan comparaciones hechas por Mac Donald (1946), que muestra profundidades de arraigamiento de hasta 1 metro para el lotus, y 1,70 metros para la alfalfa. Diferencias en la profundidad de arraigamiento y distribución han sido usadas para explicar porque el lotus es más persistente que la alfalfa en suelos poco profundos y mal drenados.

Parecería entonces, ya que las mayores cantidades de fósforo se encuentran en los horizontes superficiales del suelo, que este sistema radicular tan fino, fibroso, de gran área superficial y extensivo del lotus en estas capas superficiales ha de ser un factor muy importante para las diferencias observadas comúnmente en el campo, sobre la mayor eficiencia de utilización de fósforo; o sea, que el lotus es el menos exigente en fósforo de todas estas leguminosas.

En ciertos cultivos el método de siembra determina la importancia del tamaño radicular. Con siembras en línea, o cuando las plantas son sembradas individualmente bien separadas, un sistema radicular extensivo es importante para aprovechar el gran volumen de suelo disponible a explotar. Cuando las plantas son sembradas muy poco espaciadas, como en cultivos de cereales o pasturas, el tamaño del sistema radicular es de menor importancia, al menos que el tamaño esté reflejado en primer lugar en la profundidad de arraigamiento. En cultivos cerrados, la competencia prohíbe el total desarrollo de los sistemas radiculares individuales.

Concluyendo, la distribución mutua de nutrientes y raíces en el suelo es de fundamental importancia. Esto debe ser

considerado en relación al tiempo, debido al crecimiento y expresión del sistema radicular, al movimiento de iones en el perfil del suelo, a las demandas variables del cultivo, y al contenido variable de agua en el suelo. En términos prácticos estamos interesados en la eficiencia de extracción del nutriente. Cualquier fertilizante agregado que no esté en la velocidad de las raíces, en el momento apropiado, será desperdiciado para ese cultivo. Corrientemente sólo un 10% del fósforo de nutrientes aplicados es absorbido por cultivos en Gran Bretaña (Tinker, 1981).

II.1.5.2. *Pelos radiculares y diámetros radiculares.* Según Clarkson y Hanson (1980), han habido pocos intentos sistemáticos que tratan de relacionar la tasa área superficial: volumen del sistema radicular con la eficiente explotación del suelo por cultivos, a pesar de que se ha encontrado una buena correlación entre el diámetro radicular promedio y la frecuencia de pelos radiculares con la extracción de fósforo de suelos con niveles bajos de fósforo.

Antes de evaluar el papel de los pelos radiculares en la extracción habría que saber el tiempo en el cual continúan absorbiendo nutrientes. Lamentablemente esta información es escasa. Los pelos pueden persistir por largos periodos en muchas especies, pero no necesariamente continúan absorbiendo iones, ya que las paredes de pelos persistentes pueden engrosarse o hasta volverse lignificadas. Los pelos radiculares generalmente sufren un colapso después de algunos días o semanas, aunque en las gramíneas, y en los cereales en particular, los pelos tienden a persistir, incluso con paredes finas. En dicotiledóneas con raíces que muestran un

extensivo engrosamiento secundario - y esto incluye las leguminosas comunes de las pasturas - los pelos radiculares se pierden con el resto de la epidermis a medida que progresa el engrosamiento; pero en otras dicotiledóneas los pelos pueden persistir semanas o hasta meses (Barley, 1970).

Barley (1970), también establece que considerando los efectos cualitativos, la función más importante de los pelos radiculares puede ser el mantenimiento de la continuidad líquida entre el agua en la pared celular y el agua en los poros del suelo. Las raíces principales y laterales serían demasiado anchas para ocupar los huecos estrechos a los que retroceden los meniscos de agua a medida que el suelo se seca. Las paredes de los pelos también secretan mucílagos, y estos se infiltran en los poros más finos. Barley encontró que se secretan más mucílagos cuando el suelo está seco que cuando está húmedo. Establece que el significado de la alteración local del suelo alrededor de los pelos tiene que ser considerado. Cambios locales en las características de sorción resultando, por ejemplo, de cambios de pH, o complejos con exudados o productos de la rizósfera, pueden establecer gradientes de difusión hacia o desde la raíz.

Otro tipo de efectos de los pelos radiculares serían los geométricos, fundamentalmente la expansión de la superficie efectiva de la raíz.

Caradus (1981), analizando el efecto del largo de los pelos radiculares sobre el crecimiento del trébol blanco cultivar Tamar, sobre un rango de niveles de fósforo del suelo, encontró que incrementando la longitud del pelo tenía un efecto significativo sobre el peso seco de la planta

debido al incremento de la absorción de fósforo si las raíces no tenían micorrizas.

Nye (1973), revisando la relación entre extracción de nutrientes y volumen radicular o área superficial, postuló que la tasa de extracción es controlada por la difusión entre los espacios libres de la corteza y/o por la extracción de las células corticales. Presentó un modelo teórico en el cual el poder de absorción de nutrientes (α) de la raíz está relacionado a su radio y al coeficiente de difusión de su corteza.

Brewster y Tinker (1972), citando a Nye y Tinker, establecieron que el flujo es el resultado de la concentración del ión en la solución, y del poder de absorción de la raíz (α), que depende de las circunstancias. White (1972), opina que el poder de absorción de una raíz puede no ser única para una especie determinada, sino que puede variar con las condiciones experimentales de crecimiento.

II.1.5.3. *Variación entre y a lo largo de las raíces.* Según Bowen y Rovira (1968), existen tres importantes factores de la planta en consideraciones de la extracción de nutrientes del suelo: a) distribución radicular; b) diámetro radicular, incluyendo el efecto de los pelos radiculares, y c) la habilidad de extracción de varias partes de la raíz. Los primeros dos puntos ya fueron tratados. Quedaría ver la variación entre y a lo largo de las raíces.

Barley (1970) aclara que no todas las raíces están encargadas solamente con la absorción de agua y nutrientes, y que las raíces a menudo muestran adaptaciones para otras funciones.

nes que la de absorción. Establece que se sabe que los varios miembros del sistema radicular difieren en su tasa de absorción relativa de los diferentes nutrientes, concluyendo que, si bien la forma puede ser importante, el modelo de extracción de nutrientes también depende de diferencias fisiológicas y de gradientes en el sistema radicular.

Por lo tanto, la mayor parte de un sistema radicular creciendo activamente absorberá, pero está claro que no todas las partes absorberán con la misma fuerza (o sea, no tendrán el mismo α). Los resultados de Bowen y Rovira (1968), con trigo, y otros con cebada, muestran que el fosfato aparece ser absorbido y translocado libremente a los brotes de todas las localidades examinadas de la raíz. O sea, las zonas apicales continuamente exploran nuevas fuentes de suministro de nutrientes; y para aquellos iones que difunden despacio en el suelo (fosfatos), los ápices radiculares pueden ser la principal fuente de suministro para las plantas (Clarkson y Hanson, 1980; Brewster y Tinker, 1972).

II.1.5.4. *Raíces pivotantes versus raíces nodales.* En el sur del Japón, como en muchas otras partes del mundo (nuestro caso), las pasturas sembradas no pueden ser mantenidas por un largo período. Muchas pasturas tienden a degenerarse después de su segunda estación de crecimiento, especialmente aquellas que consisten fundamentalmente de leguminosas como el trébol blanco y trébol rojo. Esta declinación normalmente ocurre durante el verano, en parte debido a la alta temperatura y baja humedad de la tierra, y en parte por el daño de insectos y plagas (Ueno y Dorrington Williams, 1968).

Como se sabe, el trébol blanco tiene dos sistemas radicales diferentes; uno es el de raíces pivotantes, que es el primero en establecerse y forma un sistema radicular que penetra profundamente; el otro consiste de raíces nodales que emergen de todos los nudos de los estolones, y éstos normalmente no penetran tan profundamente pero son más numerosos que la raíz pivotante y sus laterales (Ueno y Dorrington Williams, 1968).

Investigaciones anteriores mostraron que había una relación clara entre la muerte de raíces pivotantes y la disminución de plantas de trébol blanco; también que el fósforo absorbido por la raíz pivotante era distribuido igualmente dentro de toda la planta. Ueno y Dorrington, estudiando la translocación de fósforo de las raíces nodales, encontraron que se obtenía una distribución similar con las raíces nodales más cercanas al centro de la planta. El movimiento hacia atrás del 32 P absorbido por raíces nodales en la base de la planta aumentaba con el aumento del tamaño radicular.

O sea, la habilidad de las raíces nodales de compensar por la ausencia de la raíz pivotante, parece depender de sus posiciones y sus tamaños. Si la posición de la raíz nodal es lejos de la base de la planta, distribuye sus minerales absorbidos en una sola dirección - hacia el punto de crecimiento. (translocación unidireccional).

Estos resultados sugieren que el sistema de raíces nodales cerca a la base de las plantas puede compensar la ausencia de la raíz pivotante. A pesar que la cantidad de minerales absorbidos a través de cada raíz es chica, hay muchas raíz

ces nodales alrededor de la base de la planta.

Williams (1965), analizando la distribución interna de nutrientes y asimilados, estableció que en tréboles, el fósforo absorbido por el sistema de raíces pivotantes era distribuido igualmente a través de todo el tope de la planta, en contraste al absorbido por las raíces nodales. Cuanto más lejos de la base del estolón estaba la raíz nodal, menos fósforo se encontraba en la región basal. La defoliación, y la remoción de la raíz pivotante, afectaron la forma de distribución, pero los resultados obtenidos fueron inconclusos. Parece que existieron diferencias en comportamientos entre variedades de trébol blanco.

II.1.5.5. *La Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C.) de raíces.* Marcadas diferencias entre especies en su capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.) han sido demostradas por varios investigadores. Aplicando la teoría del equilibrio Donnan al sistema raíz - suelo, diferencias en la C.I.C. de raíces han sido usadas para explicar la extracción diferencial de fósforo por varias especies de plantas (Drake y Steckel, citados por Asher y Ozanne, 1961).

Varios trabajos indican que la C.I.C. de las leguminosas es aproximadamente el doble que el de las gramíneas (Vose, 1963; Asher y Ozanne, 1961).

Según Bould (1963), raíces que posean altas energías de enlace para el calcio, altas C.I.C. y alta disociación ácida, serían esperadas de obtener más fósforo de formas insolubles que raíces sin estas propiedades. La C.I.C. de raíces de plantas tendrán mayor efecto en la nutrición de plantas cre

ciendo en suelos pobres en nutrientes solubles.

Es de esperar que la extracción del ión calcio de un medio de baja actividad iónica aumentaría con mayores valores de C.I.C. radiculares. La remoción del calcio del fosfato de roca liberaría el fósforo, incrementando la extracción de este elemento por parte de la planta. Asher y Ozanne (1961), midiendo las concentraciones de fósforo y calcio en los topes de 20 especies de plantas (usando fosfato de roca), encontraron que estos valores estaban positivamente correlacionados con la C.I.C. radicular, afirmando esta hipótesis. También encontraron que la concentración de fósforo no era mayor en los topes de las plantas con sistemas radiculares relativamente más grandes.

Mc Lachlan (1976), en cambio, trabajando con diversas gramíneas y tréboles, estableció que a pesar que la C.I.C. radicular ha sido asociada con la extracción de aniones (Elgebely, 1962) y con la extracción de fósforo y calcio de fuentes de baja disponibilidad, él no encontró relación alguna entre la C.I.C. y la extracción de fósforo y calcio.

Robson y col. (1970) encontraron que a los niveles de calcio y fosfato encontrados comúnmente en las soluciones del suelo, aumentando la concentración del calcio aumentó marcadamente la absorción de fosfato por varias leguminosas anuales. El calcio incrementó la extracción de fosfatos relativamente más a bajas que a altas concentraciones de fosfato. El efecto del calcio fue mayor para dos especies de Medicago que para dos cultivares de Trébol subterráneo y fue sugerida como parte de la explicación de la mayor sensibilidad del Medicago a

la acidez del suelo y mayor tolerancia a la alcalinidad del suelo que el *Trifolium*. Sugieren que el calcio aumenta la absorción de fosfatos tapando las cargas electronegativas cerca de los sitios de absorción, así aumentando el número de sitios accesibles para el anión. Si esta sugerencia es correcta, entonces la diferencia entre las especies de *Medicago* con los cultivares del trébol subterráneo en cuanto a la estimulación de su absorción de fosfatos por el calcio podría deberse a una diferencia entre estas especies en el número, naturaleza o localización de los sitios negativos en la pared celular o en el plasmolema.

II.1.6. Factores externos (rizósfera)

La química de la rizósfera difiere de la del resto del suelo debido al movimiento de iones a las raíces por flujo masal, a la extracción de iones nutrientes por las raíces, y a la liberación desde las raíces de iones equilibrantes y materiales orgánicos (Rovira, 1978).

La disponibilidad de fósforo del suelo para la planta puede ser influenciada por el ambiente radicular, ejemplo pH del suelo, efectos catiónicos sobre el pH de la rizósfera, micorrizas, y la presencia de microorganismos (Mc Lachlen, 1980).

II.1.6.1. Exudados radiculares, fosfatasa, pH. Asher y Ozanne (1961) encontraron que el lupino tiene una concentración de fósforo en las partes aéreas muy superior al esperado de su C.I.C. radicular. Esto sugiere que estas plantas pueden tener otro método además del intercambio catiónico por el cual pueden remover fósforo de fosfato de roca. Citan que Schender (1941) sostuvo que el trébol blanco es capaz de traer parte de esos fosfatos menos disponibles a la solución excretando un ácido orgánico desde sus raíces.

La acidificación de fosfatos de calcio aumenta su solubilidad, y esto podría resultar en un aumento de la disponibilidad de estas formas en el suelo. Además, ácidos orgánicos exudados pueden liberar fosfatos de esas formas en el suelo a través de la formación de quelatos (Mc Lachlan, 1976).

Newman y Miller (1977), estudiando efectos de alelopatía de algunas especies forrajeras, encontraron evidencias importantes de que los exudados radiculares de una especie pueden influenciar la extracción de fósforo de otra.

Sin embargo, Johnston y Olsen (1972), citados por Mc Lachlan (1976), mostraron que la excreción de ácidos orgánicos era de escasa importancia en el suministro de fósforo a la planta en crecimiento, e infirió que plantas efectivas eran aquellas que removían el ión calcio.

Jacques (1979), también estableció que cambios en el pH de la rizósfera en respuesta al stress de fósforo y a acumulación de calcio por las plantas a partir de compuestos insolubles de fosfato de calcio parecen ser el indicador más prome-tedor del poder de alimentación fosfatada de una planta a partir de fosfatos de roca.

La acidificación del medio ambiente radicular puede haber surgido por el intercambio de iones hidrógeno por cationes absorbidos por las plantas (Jackson y Adams, citados por Mc Lachlan, 1976). Correlaciones razonables entre extracciones de fósforo y cationes totales han sido obtenidas.

Aguilar y Diest (1981), trabajando con soja y alfalfa bajo tratamientos de fosfatos de roca finamente molidos, encontraron que se absorbían más cationes que aniones, lo que llevaba a una acidificación del medio de crecimiento y a una movilización del fósforo. Al suministrar nitratos, el pH aumentó y la disponibilidad de fósforo disminuyó.

Israel y Jackson (1979) propusieron un modelo que explicaba los cambios del pH de la rizósfera en respuesta a las tasas diferenciales de extracción de cationes y aniones. Establecen que el contenido total de cationes inorgánicos de una planta resulta de una mayor extracción de cationes que de aniones, o del metabolismo del NO_3 a N orgánico. La generación de OH^- a partir del NO_3 reducido en las raíces de las plantas puede facilitar la extracción de cationes. En las leguminosas fijando nitrógeno existe una deficiencia de NO_3 en el suelo, produciéndose menos OH^- para compensar la expulsión de iones H^+ , el suelo tornándose más ácido. Sugirieron que esta acidez influencia la extracción de fósforo y la toxicidad del aluminio, y que las leguminosas de zonas templadas, producen más ácido en la rizósfera que leguminosas tropicales.

Según Clarkson y Hanson (1980), las especies que tienden a acidificar el suelo en su medio ambiente inmediato están bien adaptadas para obtener elementos como el hierro y el fósforo a partir de suelos con pH neutro a alcalino.

La actividad de la fosfatasa exocelular ha sido determinada como una estimación de la habilidad de la planta de usar formas orgánicas de fósforo en los suelos. Cuando más abundante es el suministro de fósforo, ya sea aumentando externamen

te con mayores aplicaciones o como resultado de la habilidad forrajera de plantas particulares, menor es la actividad de la fosfatasa (Mc Lachlan, 1976; Clarkson y Hanson, 1980). Es to hace creer que las fosfatasas son enzimas adaptativas, la intensidad de excreción por plantas siendo determinada por su necesidad de fósforo. Mc Lachlan (1976) observó que la actividad de la fosfatasa incrementaba para todas las espe cies a medida que éstas se volvían más deficientes en fósfo ro. Además era mayor en tipos de plantas "deficientes", como los tréboles, comparado con tipos de plantas "suficientes" co mo el centeno. Como las raíces de las plantas de trébol res piran más que las de las otras especies, Mc Lachlan especuló que la mayor actividad de la fosfatasa está asociada con el mayor gasto de energía por parte de la planta. Finalmente con cluye que la medición de la actividad de la fosfatasa puede ser útil en la predicción de especies potencialmente útiles en situaciones de bajos niveles de fósforo - ya sea para me dios ambientes naturalmente menos fértiles, o para hacer uso de la baja disponibilidad del fósforo res idual.

II.1.6.2. *Respuesta al stress de nutrientes.* La deficiencia de nutrientes puede causar la redistribución de crecimiento dentro de la planta, el crecimiento radicular siendo relati vamente mayor al de la parte aérea. Además, la forma o con figuración del sistema radicular es marcadamente influen cia do.

Según White (1972), la retención de fosfatos en las raí ces es influenciado por el status de nitrógeno de la planta. El fosfato sería transportado más eficientemente de plantas con fósforo alto y nitrógeno bajo, en donde una escasez rela tiva de nitrógeno resulta en un colapso del protoplasma de

tejidos viejos y a una subsiguiente movilización del fosfato, que de raíces de plantas con fósforo bajo y nitrógeno alto. Estas últimas tienen que obtener la mayoría de su suministro de fosfatos del medio externo.

Deficiencias en fósforo resultaron en un sistema radicular más finamente ramificado en cebada y manzanos jóvenes. Este desarrollo, aumentando el área superficial, puede amortiguar la eficiencia mejorando la intercepción de nutrientes por el sistema radicular (Clarkson y Hanson, 1980).

II.1.6.3. *Micorrizas (hongos)*. A pesar de las diferencias físicas claras entre las micorrizas ectotróficas y endotróficas (VAM), es aparente que cumplen funciones fisiológicas similares. Según Bielecki (1973), las posibles explicaciones de la mejor nutrición fosfatada por plantas con micorrizas son: a) que las micorrizas ^{de} tienen un mecanismo de acumulación de mayor afinidad que el encontrado en raíces normales, y pueden reducir la concentración de fósforo del medio a un nivel más bajo; b) que las micorrizas obtienen su fósforo de sales insolubles del suelo; c) que las hifas de las micorrizas presentan un área superficial mayor para la absorción o exploración de un mayor volumen de suelo que las raíces solas.

Las micorrizas vesícula-arbusculares (VAM) ocurren en más especies de plantas y están más ampliamente distribuidas geográficamente que cualquier otro tipo de micorriza. Geográficamente se encuentran desde los trópicos al ártico, en un amplio rango de huéspedes. Las infecciones de las VAM producen pocos cambios en la morfología externa de las raíces; poseen una extensiva red de hifas que se extienden a una distancia considerable en el suelo. Este micelio no se puede

ver (Gerdeman, , 1975).

La mayoría de los investigadores han encontrado que plantas con VAM contienen mayores concentraciones de fósforo que plantas sin micorrizas; por ejemplo Powell y col, (1980) trabajando con trébol blanco; Powell y Sithampavaratham (1977) con trébol blanco y trébol rojo; Lambert y Cole (1980) con lotus, etc.

Las VAM incrementan la extracción de fósforo y el crecimiento de la planta porque parte del fosfato absorbido por las hifas de su micelio extensivo es translocado a las raíces de las plantas. Así el volumen de suelo del cual el nutriente es absorbido se agranda. El manejo apropiado de micorrizas a través de la inoculación ó favoreciendo las especies indígenas puede reducir la demanda de fertilizantes fosfatados (López y Siqueira, 1981).

Ha sido notado que existe mucha promiscuidad en la invasión de diferentes especies huéspedes por VAM. Existen pocos estudios de especificidad, pero evidencias recientes indican que existe considerable especificidad con respecto a la efectividad (López y Siqueira; Abbot y Robson, 1981). Las mismas especies de VAM han sido mostradas ser efectivas en ciertas plantas huéspedes, y parásitas en otras.

Crush (1976), trabajando con plantas de *Trifolium repens* y *Trifolium pratense* infectadas con VAM encontró que estas crecían mejor que plantas sin infectar, en un rango de suelos fertilizados y sin fertilizar. El beneficio relativo de las VAM aumentó al disminuir la disponibilidad de fósforo y la

producción de materia seca. Esta misma especie de VAM fue parásita para plantas de *Trifolium hybridum* y *Medicago sativa*, reduciendo el crecimiento en un 3 - 16%. Los resultados también indicaron que las relaciones huésped - VAM en simbiosis cambian de mutualismo a parasitismo al aumentar la disponibilidad de fósforo.

También ha sido demostrado que raíces con VAM pueden mantener su habilidad de absorber fosfatos por períodos más largos que raíces sin infectar, y que la importancia de micorrizas en la nutrición de cultivos y pasturas merece una mayor atención (Bower, 1968, citado por Barley, 1970).

Concluyendo, todas las posibilidades de incrementar la eficiencia con que los fosfatos de los fertilizantes y suelos son utilizados por las raíces de las plantas, tienen que ser explorados, y las VAM proporcionan una importante.

11.1.6.4. *Otros microorganismos.* Bowen y Rovira (1968) establecen que el efecto de los microorganismos sobre la nutrición fosfatada de la planta en el suelo puede ser de tres maneras: a) influenciando sobre el crecimiento radicular y sobre la producción de pelos radiculares, b) efecto sobre el metabolismo de las raíces y sobre la demanda de fosfatos por las raíces, y c) competencia con las raíces por fosfatos. Trabajando con plantas de trébol subterráneo encontraron que la extracción y translocación de fosfatos era incrementada por la acción de los microorganismos del suelo, en comparación con la extracción de plantas estériles.

Las diversas sustancias orgánicas eliminadas por las raíces en la rizósfera sirven de sustrato a muchos microorganismos

mos. Estos a su vez pueden producir más ácidos orgánicos, como el cítrico, oxálico, tartárico, málico, malónico y galacturónico, que son altamente eficientes para solubilizar los fosfatos del suelo. También se ha demostrado que ciertos organismos de la rizósfera son capaces de producir el ácido 2-cetoglucónico, que es muy eficiente para la formación de quelatos de calcio, por lo tanto liberando fósforo de los fosfatos de calcio insolubles (Clarkson y Hanson, 1980, Bould, 1963).

Swaby y Sherber (1958), citan como Gerretsen encontró como plantas sembradas asépticamente eran incapaces de usar apatita, pero cuando la microflora normal de la rizósfera está presente, entonces el fosfato se volvió disponible, posiblemente debido a la producción de ácidos orgánicos. Establecen que los microorganismos de la rizósfera pueden aumentar apreciablemente la absorción de fosfatos bajo determinadas condiciones: 1) en suelos arenosos, natural o artificialmente ácidos, donde la producción extra de ácidos orgánicos por los microorganismos permite a las plantas ácido-tolerantes, como el lupino, prosperar; 2) en pasturas viejas donde los microorganismos y ácidos húmicos son abundantes, para favorecer a la alfalfa y al trébol blanco; 3) en suelos livianos, bajos en sesquióxidos, altos en materia orgánica y sulfatos, y sujetos a inundaciones, donde los ácidos orgánicos pueden liberar fosfatos.

II.1.7. Estolones

La extracción de fósforo por pasturas desarrolladas es mayormente del suelo superficial, donde virtualmente todo el fósforo disponible para las plantas está concentrado. El fós

foro se acumula en los 2 - 3 cm superficiales del suelo como resultado de los procesos cíclicos, aplicación de fertilizantes, y de la baja tasa de difusión del fósforo en el suelo. Como las pasturas desarrolladas tienen grandes cantidades de estolones en esta zona, Hay y Dunlop (1982) hicieron un estudio para ver si los estolones de trébol blanco pueden absorber fósforo. Los resultados obtenidos muestran que los estolones de trébol blanco, creciendo en el campo, pueden absorber fosfatos.

La posición de los estolones en la pastura les permite absorber fósforo sin la competencia de las raíces de los pastos. Al sembrarse con gramíneas, el trébol se ha caracterizado por ser un pobre competidor por fósforo, aunque estos estudios se enfatizaron sobre la competición radicular por fósforo en el suelo. El fenómeno de absorción de fósforo por los estolones abre la posibilidad de usar una nueva estrategia para mejorar la eficiencia de utilización de fósforo del trébol blanco. Debido a que los estolones ocupan una zona donde la competencia de raíces de gramíneas es mínima, puede ser posible mejorar la performance del trébol incrementando su habilidad de absorber fósforo vía sus estolones (Hay y Dunlop, 1982).

Sin embargo, los datos obtenidos por Chilibroste y col. (1982) y Mallarino (comunicación personal), parecen indicar que este mecanismo de absorción de fósforo por parte de los estolones no sería tan importante. Es decir, tanto en la fertilización inicial (Chilibroste y col., 1982) como en la refertilización (Mallarino, comunicación personal), el trébol blanco fue el menos eficiente en utilizar fósforo, a pesar de sus estolones.

II.2. REQUERIMIENTOS DE FOSFORO

Las características diferenciales que poseen las distintas leguminosas, tales como hábito de crecimiento, sistema radicular, potencial de crecimiento y otras, hacen que la eficiencia de las fertilizaciones iniciales con fósforo así como las refertilizaciones varíe según la leguminosa sobre la cual se aplica.

Holford y Gleeson (1976) estudiando la respuesta del trébol blanco a la fertilización fosfatada inicial en suelos que oscilaban su contenido de fósforo entre 3,3 y 6 ppm, (Ol sen) encontraron que con una dosis de 49 kg/ha de fósforo se obtenía el 85% del máximo rendimiento. También observaron que tal valor no variaba al variar los niveles de lluvia considerados, aunque sí variaba el rendimiento.

Brock (1973) encontró que en el primer año agregando 250 kg/ha de superfosfato a la siembra, el trébol blanco y el lotus tuvieron rendimientos similares pero en el 2° y 3er. año el lotus fue superior en un 24% y 43% respectivamente sin agregado adicional de superfosfato. También reporta que con el nivel alto de fósforo el trébol blanco rendía más que el lotus en el 2° y 3er. año en un 10% y 13% respectivamente. (Este trabajo se refiere al rendimiento en términos absolutos y no a la respuesta).

Baethgen y Bozzano (1981) citan que la alfalfa y el trébol blanco presentan una respuesta significativa a dosis iniciales de fósforo sobre un suelo con 8.9 ppm de fósforo (Bray 1). Los rendimientos totales, así como la respuesta fueron

distintos en ambas especies: mientras que el trébol blanco mostraba un mejor ajuste a una función cuadrática con un máximo en los 252 kg/ha de P_2O_5 , la alfalfa mostró una respuesta lineal al agregado de fósforo hasta los 240 kg/ha de P_2O_5 .

Casanova y Mallarino (1980) sobre un suelo con 7 ppm de fósforo (Bray 1) estudiando el efecto residual en el segundo año del agregado de fósforo y refertilización en trébol blanco, encontraron un efecto residual significativo, obteniendo los siguientes valores: 2538, 3068, 3676 y 4150 kg/ha de Materia Seca para las dosis de 0, 60, 120 y 180 kg/ha de P_2O_5 , respectivamente. La refertilización mostró una respuesta significativa a los 60 kg/ha de P_2O_5 , y ésta fue más importante a menores dosis de fertilización inicial, obteniéndose valores de 3706, 4073, 4357 y 4853 kg/ha de Materia Seca para las dosis iniciales de 0, 60, 120 y 180 kg/ha de P_2O_5 respectivamente.

Lawton et al (1954) estudiaron la respuesta del trébol rojo a la fertilización inicial con fósforo en dos suelos con 20 kg/ha de fósforo disponible para uno y 29 kg/ha de fósforo disponible para otro. Obtuvieron respuestas lineales significativas hasta las dosis máximas aplicadas de 134 kg/ha de P_2O_5 .

Wakefield et al (1957) estudiaron la respuesta presentada por el trébol blanco en la siembra al agregado de fósforo y potasio sobre un suelo arenoso de baja fertilidad. Cuando el potasio no era limitante, al agregar 34 kg/ha de P_2O_5 se obtuvo una respuesta significativa. Por otro lado, una dosis de 269 kg/ha no resultó en incrementos significativos.

Toxopeus (1972) estudió el efecto de la localización del fertilizante. En todas las parcelas se colocó en la línea 650 kg/ha de superfosfato o se lo aplicó al voleo junto con la semilla. Se vio que duplicando la cantidad de fosfato aplicado se obtuvo un incremento del 50% en el rendimiento y que de la interacción de tal duplicación y la localización del fertilizante resultó un incremento del 100% en el rendimiento.

Mallarino y col. (1978) realizaron ensayos de encalado y fertilización fosfatada en alfalfa. Encontraron respuesta significativa al agregado de fósforo en el año de instalación hasta una dosis de 100 kg/ha de P_2O_5 obteniendo un incremento de 2753 kg/ha de Materia Seca sobre el testigo, en un suelo de Canelones con 11 ppm de fósforo (Bray 1). Sobre otro suelo con 7.5 ppm de fósforo (Bray 1) y también en alfalfa, los mismos autores obtuvieron respuesta hasta una dosis de 180 kg/ha de P_2O_5 siendo el incremento de 3000 kg/ha de Materia Seca sobre el testigo.

Chilibroste y col. (1982) en su trabajo de tesis obtuvieron respuestas físicas al agregado de fósforo para el trébol rojo y trébol blanco, siendo necesarios 63 y 65 kg/ha de P_2O_5 respectivamente para obtener el 95% del máximo rendimiento. Los autores entienden que la respuesta presentada por el trébol rojo no es agrónomicamente importante, puesto que sin agregado de fósforo se obtuvo el 82% del máximo rendimiento. Para el lotus no encontraron respuesta, y trabajaron sobre un suelo con 13 ppm.

Existen también, trabajos referentes a los niveles críticos de fósforo en el suelo que resultan de gran ayuda para la

comparación entre especies, así como también para la toma de datos concretos sobre una especie en particular.

Así por ejemplo, Mallarino (1981) cita un trabajo de Peasler (1978) donde para obtener el 94% del máximo rendimiento en alfalfa y en mezcla de tréboles y gramíneas, eran necesarios valores de 15 a 20 ppm de fósforo (Bray 1) respectivamente.

Castro y col. (1981) sugieren valores de fósforo mínimo y máximo compatible con el buen crecimiento de pasturas para distintos tipos de suelos del Uruguay. Así para suelos pesados de pH superior a 5.7 (resinas) de 10 y 20 ppm; suelos de textura media y pH 5.5 - 6, 15 y 30 ppm, mientras para suelos de textura liviana y pH menor a 5.6, 12 y 25 ppm. Estos autores sin embargo, no diferencian requerimientos entre las distintas especies.

II.2.1. Variaciones estacionales en la respuesta al fósforo

Las variaciones en contenido de humedad y las diferencias de temperatura explican en alto grado las variaciones en cuanto a la respuesta al fósforo, lo cual toma significancia al hablar en términos de incremento de Materia Seca.

Laundus y Metson (1971), en un único trabajo, reportan que el incremento en porcentaje de producción de Materia Seca en primavera es generalmente pequeño (10 a 20%), aunque en valor absoluto tal cantidad sea considerable dado el gran crecimiento de las pasturas en tal estación (100 kg/ha de Ma

teria Seca/día o más). También encontraron que en otoño e invierno con tasas de crecimiento muy inferiores (5 a 40 kg/ha de Materia Seca/día), el incremento en porcentaje obtenido fue de 50 a 200% luego de la fertilización fosfatada. Estos valores también son reportados por Hudson et al (1933); Elliott y Karlovsky (1957) y Saunders et al (1963). La baja respuesta al fósforo en primavera y las elevadas tasas de crecimiento que se registran hacen suponer que la disponibilidad de fósforo en el suelo es alta.

Saunders et al (1963) citados por Saunders y Metson (1971) explican que distintos factores del suelo así como también de la planta está influyendo en la disponibilidad y uso de fósforo del suelo. Así es que la habilidad de las especies de las pasturas en utilizar el fósforo del suelo puede variar según la estación, esto a su vez interaccionando con la composición botánica estacional, hacen que los requerimientos totales fluctúen y por ende también la respuesta.

Smith (1959) y Paauw (1962), citados por Saunders y Metson (1971), observaron que un incremento estacional en los valores medidos de la concentración de fosfatos en la solución del suelo, se producen en los años con veranos más cálidos. Si bien en primavera la extracción de fósforo es elevada, la actividad biológica del suelo en tal estación acompaña tal ritmo de extracción, lo cual también sería cierto para el período invernal con menores tasas de extracción, pero también menor actividad biológica.

Walker y Adams, (1958); Saunders (1959), Jackman (1964), citados por Saunders y Metson (1971) encontraron que la rela

ción Nitrógeno/Fósforo orgánico de la parte superior del suelo bajo condiciones de pasturas en Nueva Zelanda, era del orden de 10:1 a 10:1,4; por tanto si la liberación del Nitrógeno en la primavera es acompañada por una liberación equivalente de fósforo, habrá suficiente fósforo como para sostener una tasa de crecimiento elevada tal como se ha observado. En invierno cuando las tasas de extracción de fósforo y de crecimiento son bajas, la liberación de nitrógeno y fósforo desde la Materia Orgánica son aparentemente bajas también.

Es evidente (según Saunders y Metson, 1971) que la mineralización de la materia orgánica de los suelos y la consiguiente liberación de Nitrógeno y Fósforo es lo suficientemente rápida como para mantener un alto ritmo de crecimiento sin la necesidad de grandes agregados de fertilizantes.

11.3. CONTENIDO DE FOSFORO EN LAS PASTURAS

11.3.1. Análisis foliar

La composición química de las plantas refleja su nivel nutritivo en relación al crecimiento, pudiendo ser utilizado como índice de suficiencia para los nutrientes minerales. Sin embargo, tal composición química es el resultado de la interacción entre el suministro de nutrientes y el crecimiento de las plantas, y tal interacción hace que la relación entre la concentración de nutrientes en la planta y su crecimiento no sea entera y necesariamente una relación "causa-efecto" si se considera aisladamente ya que el propio crecimiento puede llevar a determinada concentración nutritiva en la planta.

Hay que tener en cuenta que ciertos factores tales como estado de crecimiento o parte del vegetal muestreada pueden determinar la no validez de la relación entre disponibilidad y los niveles de nutrientes en la planta; por tanto hay que estandarizar tales factores para que las comparaciones sean válidas.

Así, Ried et al (1970) encontraron una correlación negativa entre concentración de fósforo en la planta y el estado de madurez en cultivos de alfalfa y trébol rojo. Durante la etapa vegetativa la concentración de fósforo en trébol rojo fue algo mayor, no habiendo diferencias de importancia en la etapa de formación de semillas. Esto lleva a la conclusión de que cuando se necesita cosechas de forrajes con niveles elevados de fósforo, por ejemplo para nutrición animal, habría que cosechar en estados relativamente tempranos del mismo.

Mc Naught (1970) anota que debido a que las muestras standard (con altura de pastoreo) pueden ser tomadas en diferentes situaciones, los efectos de la temperatura y la humedad deben ser considerados en los niveles críticos. Por ejemplo, las altas temperaturas favorecen la absorción de calcio y magnesio, pero en sí mismo no significan necesidades internas más altas.

II.3.2. Niveles críticos

"Nivel crítico" hace referencia a la composición química de la planta por debajo de la cual pueden ser esperadas reducciones en los rendimientos por un bajo nivel de nutriente. Macy (1936) citado por Andrew (1960) dice que sería un porcentaje crítico de cada nutriente y en cada planta, por encima del

cual se constituirá en un consumo de lujo, y por debajo, defi
ciencia.

Usar un rango de nivel crítico más que un único valor pa
rece más acertado ya que las relaciones entre nutrientes ab
sorbidos y producción de materia seca muestran una zona no
exactamente identificable entre el rango deficiente y adecuado.

Martin y Matocha (1973) señalan para heno de trébol blan
co y trébol rojo los siguientes niveles críticos obtenidos
por distintos autores: Rendig et al (1950) determinaron 0.15%
y 0.29% como rango; Weeks (1971), para el tercio superior de
la parte aérea de trébol rojo es 0.20%; Powell (1971) encon
tró un rango entre 0.15% y 0.25%.

Gervais et al (1963) encontraron que el nivel de fósforo
sin fertilizar era 0.173% y con 269 kg/ha de P_2O_5 el porcenta
je era 0.262%.

Mc Naught (1970) encontró que el rango crítico de fósfo
ro para trébol blanco a altura de pastoreo era de 0.3% a 0.4%.
Con respecto a este trabajo, no hay que olvidar que la concen
tración de fósforo en el forraje, y por consiguiente los nive
les críticos son mucho mayores si el muestreo se hace a la al
tura de pastoreo.

Chilibroste y col (1982) en el trabajo de tesis ya cita
do encontraron valores de los niveles críticos de 0.28% y 0.35%
para trébol rojo y trébol blanco respectivamente. Los auto
res señalan que tales valores no pudieron ser determinados
con precisión, dada la linealidad de la relación rendimiento
versus porcentaje de fósforo. Estas determinaciones fueron

hechas con cortes a altura de pastoreo.

Wilkinson y Gross (1967) encontraron los niveles más elevados como porcentaje de la Materia Seca en folíolos, pecíolos y estolones, y los más bajos en raíces, flores, pedúnculos y corona. Por esta razón, Mc Naught (1970) sugiere se utilice a toda la planta, nueva o vieja, pero verde.

Jones et al (1972) señalan que si bien el nivel de fósforo es buen indicador en cuanto a los requerimientos del mismo por el vegetal, hay ciertos factores tales como sequía, sombreado, e incluso otros nutrientes limitantes, que pueden hacer variar tal nivel.

Wedin (1974), citado por Chilibroste y col (1982) reportó que la concentración de fósforo en gramíneas invernales, oscilaba entre 0.14% y 0.50%. En general, concentraciones por debajo de 0.20% significaban una deficiencia para plantas en crecimiento, mientras que una concentración entre 0.30% y 0.35% es necesaria para óptimos rendimientos.

II.3.3. Absorción de fósforo por las plantas

En las primeras secciones de la revisión bibliográfica ya fueron comentados los principales factores fisiológicos y morfológicos relacionados a la nutrición fosfatada de las plantas. Ahora se enfatizará sobre algunos de los factores relacionados al suelo que intervienen en el suministro y nutrición fosfatada.

Así Ozanne y Shaw (1967) anotan que existirían tres factores que regularían el suministro de fósforo para mantener

su nivel en la solución del suelo entorno a la raíz: 1) el "poder buffer" del suelo para sobreponerse a variaciones en el equilibrio inicial de fósforo al ser absorbido por las plantas; la absorción de fosfato sería una buena estimación de tal medida; 2) la concentración de fósforo en la solución la cual puede ser determinada por el "potencial fosfato", 3) la tasa de difusión de fosfato desde el suelo a las raíces.

Gachón (1977) concluye que la difusión es el principal proceso por el cual los iones fosfato del conjunto de iones lábiles entran en contacto con las raíces, dada su escasa movilidad en el suelo. Avalando ésto, Baber, citado por Gachón (1977), explica que más del 90% del fósforo que llega a las raíces de maíz lo hace por difusión.

Por otro lado, White (1973) analizando la interacción entre la actividad metabólica y la tasa de extracción de fósforo por las plantas, sugirió que la tasa de absorción de fósforo estaba correlacionada con las tasas relativas de crecimiento. Para bajas intensidades de suministro externo (0 a 10 micromoles de fósforo); la demanda de fósforo creada por el crecimiento de la planta tiene gran influencia en la tasa de absorción radicular; a altas intensidades (40 micromoles de fósforo), cuando la demanda para el crecimiento es satisfecha, la tasa de absorción es principalmente dependiente de la concentración externa de fósforo. Nuevamente vemos que tanto factores inherentes al suelo como factores inherentes a las plantas son importantes en el proceso de absorción de fósforo por las plantas.

De lo antedicho se desprende la importancia de un buen sistema radicular para lograr la máxima absorción de fósforo. Esto ya fue visto en otra sección anterior donde incluso se discutieron las diferencias morfológicas y de distribución de las raíces de las distintas leguminosas. De todas maneras, cabrá enfatizar la importancia de un sistema radicular muy desarrollado en los horizontes superficiales, ya que la mayor parte del fósforo absorbido por las plantas proviene de los primeros 20 - 30 cm del suelo (Mays et al, 1976).

Confirmando las consideraciones antedichas, Lamba et al (1949) encontraron que las raíces de alfalfa, trébol rojo, bromus y timote decrecían con la profundidad. Más de la mitad del total del crecimiento de raíces de estas especies forrajeras, se encontraba en los primeros 20 cm. del suelo.

Así también, Stanford et al (1950) determinaron que del 20% al 50% del fósforo en pasturas establecidas de alfalfa, trébol blanco ladino y dactilis, provienen del fósforo aplicado superficialmente, dependiendo de la tasa de P_2O_5 aplicada. Surge la conclusión de que el fósforo absorbido por las plantas proviene de las partes superficiales del suelo.

Upchurch y Lavvorn (1951) citados por Chilibroste y col. (1982) encontraron que aproximadamente un 50% de las raíces laterales de las plantas de alfalfa creciendo en dos suelos de amplia variedad de texturas, estaban en los primeros 7.5 cm del suelo.

En aquellos suelos donde la fracción arcilla es importante, las bajas recuperaciones del fósforo aplicado son usualmente atribuidas a la inmovilización del fosfato por adsorción y reacciones de precipitación (Holford, 1974, citado por Holford y Gleeson, 1976).

Lawton et al (1954) realizaron trabajos de fertilización inicial sobre alfalfa, bromus y trébol rojo, y encontraron que la recuperación promedio del fósforo aplicado fue de aproximadamente un 15% en el 1er. año, encontrándose diferencias entre especies en cuanto a la profundidad en que el fósforo era extraído. Bromus extrajo la mayor proporción del fósforo absorbido de los primeros 7.5 cm del suelo, mientras que la absorción de fósforo de alfalfa fue importante hasta los 15 cm de profundidad.

Chilibroste y col. (1982), trabajando en un suelo ácido de alto poder de fijación en el departamento de Canelones encontraron diferentes valores de recuperación aparente del fósforo agregado según la especie y la dosis. Así, ellos comunicaron utilizaciones máximas para trébol rojo, trébol blanco y lotus (en el año del establecimiento) de 22,1%, 11% y 4.8% respectivamente para una dosis de 40 kg P_2O_5 /ha. Este trabajo estaría de acuerdo con lo reportado por Spedding y Dickmahus (1972) citados por Hunt et al., quienes notificaron que la eficiencia de extracción puede ser tan baja como de un 5% a un 20%.

III. MATERIALES Y METODOS

III.1. TRATAMIENTO Y DISEÑO EXPERIMENTAL

El presente trabajo fue llevado a cabo en un establecimiento ubicado en Paso Pache, departamento de Canelones, sobre un Vertisol rúptico típico de la unidad Tala-Rodríguez del mapa 1:1000.000 de la División de Suelos y Fertilizantes.

Algunas propiedades químicas del suelo al momento de la siembra se presentan en el Cuadro N° 1.

Cuadro N° 1. Propiedades químicas del suelo (0 - 20 cm)

| pH | M.O. % | K meq/100 gr | P (Bray 1) ppm. |
|-----|-----------|-----------------|--------------------|
| 5.7 | 3.7 | 0.65 | 8 ppm |

Se sembraron cultivos puros de alfalfa (*Medicago sativa* cultivar Chaná), trébol rojo (*Trifolium pratense* cultivar Es tanzuela 116), trébol blanco (*Trifolium repens* cultivar Bayu cuá) y lotus (*Lotus corniculatus* cultivar San Gabriel).

Las densidades de siembra fueron un 50% más altas que lo recomendado para semilleros de estas especies ya que interesaba asegurarse una buena instalación.

El ensayo se sembró al voleo el 4 de mayo de 1982.

Los tratamientos de fósforo fueron 0, 40, 80, 120 y 160 kg/ha de P_2O_5 como superfosfato granulado. El fertilizante se aplicó inmediatamente antes de la siembra sobre el suelo cin celado y se incorporó con rastra de dientes.

Se usó un diseño en factorial de las 4 especies por las 5 dosis de fósforo en parcela dividida en bloques al azar con 3 repeticiones. Las parcelas grandes, correspondientes a ca da especie, medían 20 mt x 6 mt y cada subparcela, correspon diente a cada nivel de fósforo, 4 mt x 6 mt.

La alfalfa no se instaló bien, siendo resemebrada a fines de invierno. Nuevamente fracasó la instalación debido a ma las condiciones climáticas. Por esta razón no se presentarán datos relativos a esta especie.

III.2. TRABAJOS DE CAMPO Y LABORATORIO

Se tomaron muestras de suelo en cada subparcela a una profundidad de 20 cm. Los datos no se presentan ya que no ha bía diferencias importantes en las distintas zonas del ensayo.

En el primer corte el área cortada fue de 8 m^2 evitando los bordes; en el segundo corte fue de 6.8 m^2 y en el tercer corte de 8 m^2 a excepción de algunas subparcelas con 6.8 m^2 . Este material era cortado, rastrillado y pesado en el campo; tal material no era devuelto a la pastura. De cada subparcela se tomó una muestra vegetal para posteriores análisis en el laboratorio. Se pesaba esta muestra verde, luego se seca ba a estufa durante un mínimo de 48 horas para calcular el porcentaje de Materia Seca y realizar análisis foliares. Con

III.3. ANALISIS ESTADISTICO

Para los análisis de varianza generales se usó un diseño de parcela grande (especie) con parcela chica (niveles de fósforo), tanto para kg de Materia Seca como para kg. de fósforo absorbido.

Para llevar a cabo un análisis más particular de cada especie, se realizó además un análisis "por especie" utilizando un diseño de bloques al azar, con dosis de fósforo como tratamiento (Little y Hill, 1976).

Además, para profundizar en el estudio de los datos, se realizó la partición de la suma de cuadrados mediante el uso de contrastes ortogonales y se ajustaron distintos modelos de regresión, según el caso.

Se usaron tres niveles de significación:

- *** probabilidad menor al 1%
- ** probabilidad menor al 5%
- * probabilidad menor al 10%.

IV. RESULTADOS Y DISCUSION

IV.1. ANALISIS CONJUNTO

Este análisis conjunto entre las tres especies se hizo utilizando un diseño de parcelas divididas de la siguiente manera: 1°) especie en parcela grande y niveles de fósforo en parcela chica, para kg de Materia Seca anual producida; 2°) el mismo diseño pero para kg de fósforo absorbido total.

Para el caso de la Materia Seca total se obtuvo una alta significación ($P < 0,1$) del factor "especie", lo cual indica diferencias entre las mismas (Cuadro N° 4, 24 y 48 del apéndice) Esto era dable de esperar dadas las diferencias de rendimiento observadas, lo cual se muestra en el Cuadro N° 3.

Cuadro N° 3. Efecto de fósforo en la producción de Materia Seca total

| Dosis P ₂ O ₅ | kg/ha | | |
|--|---------------|-------------|-------|
| | Trébol blanco | Trébol rojo | Lotus |
| 0 | 2579 | 4831 | 3796 |
| 40 | 3187 | 4979 | 3844 |
| 80 | 3616 | 5160 | 4775 |
| 120 | 4148 | 5237 | 4370 |
| 160 | 4065 | 4928 | 4523 |

Cuadro N° 4. Análisis de varianza, resumido para
Materia Seca total

| <u>F. de V.</u> | <u>G.L.</u> | <u>F.</u> | <u>Sig.</u> |
|-------------------------------|-------------|-----------|-------------|
| Bloques | 2 | 8.5 | ** |
| Especies | 2 | 19.9 | *** |
| Error (a) | 4 | | |
| Niveles de fósforo | 4 | 0.57 | N.S. |
| Especies x niveles de fósforo | 8 | 0.14 | N.S. |
| Error (b) | 24 | | |

La fertilización fosfatada no mostró significación, así como tampoco la interacción especies por fertilización (Cuadros Nos. 4 y 48 del apéndice). Esto indicaría en primer lugar que no existe una respuesta promedio de todas las especies a fósforo; y en segundo lugar que no habría una respuesta diferencial de las especies.

Al estudiar la variable fósforo absorbido se encontró significación entre especies al 10%, lo que indicaría diferencias en absorción de fósforo, y el factor fertilización fosfatada fue altamente significativo, lo que indicaría que la absorción de fósforo es afectada sensiblemente por las dosis de fósforo empleadas.

Lo antedicho se visualiza en los Cuadros Nos. 5 y 6 a continuación, y Cuadros Nos. 28 y 41 del apéndice).

Cuadro N° 5. Efecto del fósforo en el fósforo absorbido total

| Dosis P ₂ O ₅ | kg/ha | | |
|--|---------------|-------------|-------|
| | Trébol blanco | Trébol rojo | Lotus |
| 0 | 7 | 13 | 10 |
| 40 | 10 | 16 | 11 |
| 80 | 12 | 16 | 15 |
| 120 | 14 | 16 | 15 |
| 160 | 16 | 15 | 15 |

Cuadro N° 6. Análisis de varianza para kg de fósforo absorbido

| F. de V. | G.L. | F. | Sig. |
|------------------------------|------|-------|------|
| Bloques | 2 | 6.2 | * |
| Especies | 2 | 5.79 | * |
| Error (a) | 4 | | |
| Niveles de fósforo | 4 | 13.65 | *** |
| Especie x niveles de fósforo | 8 | 2.3 | * |
| Error (b) | 24 | | |

Existiría pues una aparente contradicción entre ambos estudios. El problema radica en que el método no es lo suficientemente sensible para discriminar entre las distintas respuestas al fósforo entre especies que son evidentes al observar los datos del Cuadro N° 3. Por otro lado, las variables ambientales afectan en mayor grado a la producción de Materia

Seca que a la absorción de nutrientes, de ahí que las diferencias se magnifiquen al analizar la variable fósforo absorbido. Para aclarar esta contradicción se realizarán a continuación análisis de varianza para cada especie.

IV.2. ANALISIS POR ESPECIE

IV.2.1. Producción de forraje

IV.2.1.1. *Materia Seca Total*. Los análisis de varianza realizados dieron significación para el trébol blanco, no así para el trébol rojo y lotus, lo cual confirma lo discutido anteriormente sobre la falta de sensibilidad del método para discriminar entre las distintas respuestas al fósforo entre especies. Como se observa en el Cuadro N° 3, el trébol blanco muestra una marcada respuesta, mientras que el lotus y el trébol rojo tan sólo muestran una tendencia. Esto queda de manifiesto al observar los Cuadros Nos. 7, 8 y 9, y 35, 36 y 37 del apéndice).

Cuadro N° 7. Análisis de varianza resumido para Materia Seca total anual para el trébol rojo

| F. de V. | G.L. | F. | Sig. |
|----------|------|-----|------|
| Bloque | 2 | 5.4 | ** |
| Fósforo | 4 | 0.5 | N.S. |
| Error | 8 | | |

Cuadro N° 8. Análisis de varianza resumido para Materia
Seca total anual para el lotus

| F. de V. | G.L. | F. | Sig. |
|----------|------|------|------|
| Bloque | 2 | 9.6 | ** |
| Fósforo | 4 | 1.75 | N.S. |
| Error | 8 | | |

En el Cuadro N° 9 se muestra que fósforo fue significativo en trébol blanco y por tanto, se hizo la partición de la suma de cuadrados en efectos lineal y cuadráticos.

Se ajustó una ecuación cuadrática que presentó un muy buen ajuste: $y = 2550 + 18.95 x - 0.057 x^2$

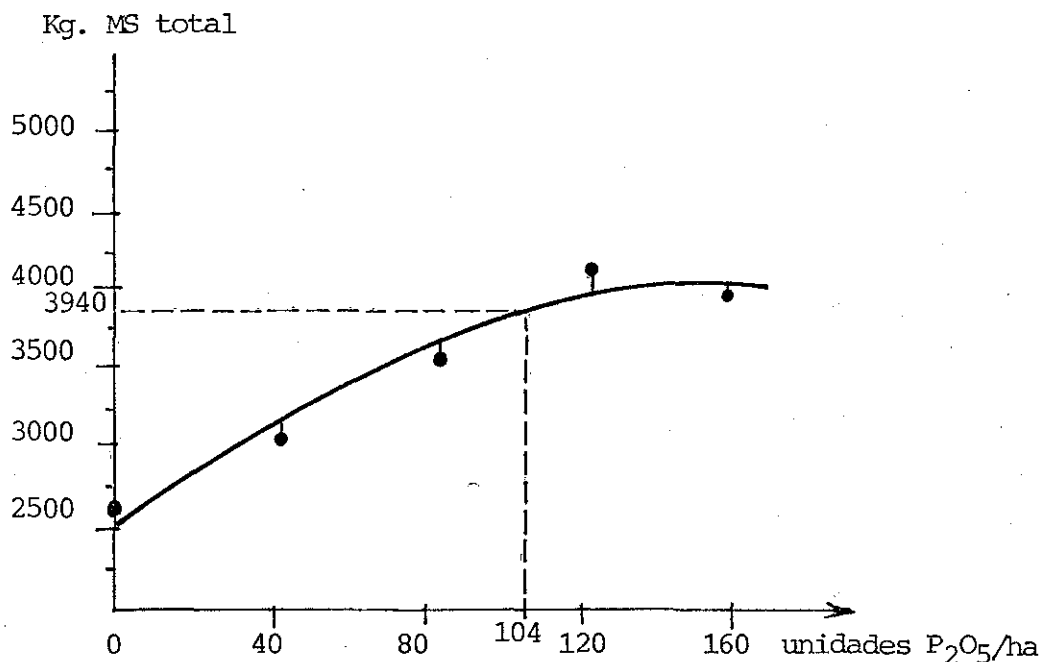
$$R^2 = 0.73***$$

$$\text{Ajuste} = 0.98$$

Cuadro N° 9. Análisis de varianza resumido para Materia
Seca total anual para el trébol blanco

| F. de V. | G.L. | F. | Sig. |
|------------|------|------|------|
| Bloque | 2 | 7.7 | ** |
| Fósforo | 4 | 17.2 | *** |
| Lineal | (1) | 62.7 | *** |
| Cuadrática | (1) | 4.74 | * |
| Error | 8 | | |

A continuación se muestra la Gráfica N° 1 que representa tal ecuación cuadrática ajustada.



Gráfica N° 1. Rendimiento anual de Materia Seca total del trébol blanco versus unidades de P_2O_5/ha

En la Gráfica N° 1 se observa que se necesitaron 104 unidades de P_2O_5 para lograr el 95% del máximo rendimiento que fue estimado en 3940 kg de Materia Seca.

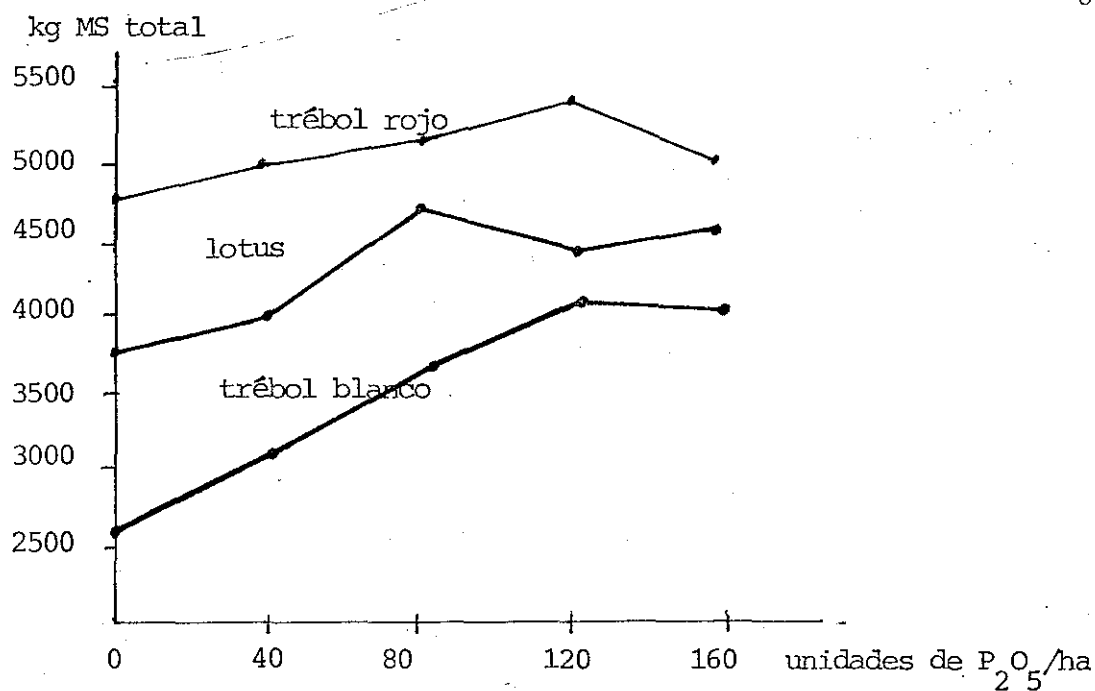
Si bien, como ya se dijo, en el caso del trébol rojo y lotus no hay respuesta, pero sí una cierta tendencia, se creyó conveniente realizar los contrastes ortogonales entre medias que nos permitieran aproximarnos más a una conclusión final. De esta manera se obtuvo que ninguno de los contrastes realizados fueron significativos, por lo cual se puede con

cluir con más propiedad que ni el trébol rojo ni el lotus mostraron respuesta alguna en su producción total al agregado de fósforo, a pesar de la tendencia ya mencionada.

Teniendo en cuenta que el trabajo fue realizado sobre un suelo con 8 ppm de fósforo (Bray 1), se concluiría que este valor se encuentra por encima o muy cercano al nivel crítico. De todas maneras no hay que olvidar que las deficiencias hídricas imperantes durante la primavera posiblemente hayan atenuado la posible respuesta que podrían haber mostrado estas especies (Cuadro N° 50 en el apéndice). Al respecto, el trabajo de Chilibroste y col. (1982) realizado sobre un suelo con 13 ppm de fósforo (Bray 1) encontraron respuesta al fósforo por parte del trébol rojo, aunque la consideran agrónomicamente de poca importancia, pues se obtenía un 82% del máximo rendimiento con el testigo. En nuestro caso se obtiene un valor de 92%, lo cual avalaría tal falta de respuesta. Para el lotus el rendimiento relativo del testigo fue de 80%, aunque este valor, como ya se anotó anteriormente (Cuadro N° 11), no resultó significativo.

A continuación, en la Gráfica N° 2, se muestra el rendimiento total anual de Materia Seca de manera de visualizar mejor los resultados obtenidos. (ver página N° 66).

IV.2.1.2. *Materia Seca por corte.* El trébol blanco mostró respuestas significativas tanto en el primer como en el segundo corte, lo cual queda de manifiesto al observar el Cuadro N° 10 (y Cuadros Nos. 25 y 26 del apéndice).



Gráfica N° 2. Unidades de P_2O_5 /ha versus rendimiento total de Materia Seca (kg/ha)

Cuadro N° 10. Rendimiento de Materia Seca para el trébol blanco, 1er. corte y 2do. corte.

| Dosis | Rendimiento | |
|-------|-------------|------------|
| | 30/9/83 | 18/11/82 |
| 0 | 1040 | 1538 |
| 40 | 1389 | 1799 |
| 80 | 1467 | 2149 |
| 120 | 1537 | 2611 |
| 160 | 1683 | 2382 |
| Sig. | Lineal ** | Lineal *** |

A continuación se muestran las ecuaciones lineales ajustadas para ambos cortes.

$$y = 1135 + 3.6 x \quad R^2 = 0.44 **$$

Ajuste = 0.97

Corte 1

$$y = 1596 + 6.25 x \quad R^2 = 0.59 **$$

Ajuste = 0.83

Corte 2

Observando y comparando ambas ecuaciones, se nota un "efecto corte" marcado donde queda de manifiesto que la respuesta al agregado de fósforo prácticamente es el doble en el segundo corte, lo cual surge de comparar los coeficientes "b" de ambas ecuaciones. Si bien lo antedicho es estadísticamente correcto, observando el Cuadro N° 10 se observa en el primer corte que la respuesta es lineal hasta la máxima dosis utilizada (160 kg de P_2O_5), mientras que en el segundo corte, aunque no hubo ajuste a una ecuación cuadrática, claramente se nota un decrecimiento a partir de la dosis de 120 kg de P_2O_5 . Esto sugeriría una respuesta más sostenida en el primer corte.

El trébol rojo, en cambio, no mostró respuesta en ninguno de los cortes (Cuadro N° 11 y Cuadros Nos. 25, 26, y 27 del apéndice). De todas maneras, por lo ya visto, se creyó conveniente realizar los contrastes ortogonales, los cuales no hicieron más que confirmar la falta de respuesta ya mencionada.

Resulta evidente de cualquier forma, que existe una escasa respuesta hasta la dosis 40 de P_2O_5 en el 1er. corte, tal como se aprecia en el Cuadro N° 11.

Cuadro N° 11. Kg. Materia Seca/ha para distintas dosis de fósforo aplicadas en trébol rojo

| <i>Dosis</i> P_2O_5 (ha) | 30/9/82 | 18/11/82 | 6/4/83 |
|-------------------------------|---------|----------|--------|
| 0 | 1468 | 2147 | 1216 |
| 40 | 1599 | 2340 | 1039 |
| 80 | 1642 | 2137 | 1381 |
| 120 | 1580 | 2124 | 1533 |
| 160 | 1650 | 2225 | 1053 |

En el caso del lotus, hubo respuesta al agregado de fósforo en su primer corte, lo cual queda de manifiesto en los Cuadros Nos. 12 y 13 y 25, 2627 y 40 del apéndice.

Cuadro N° 12. Kg. Materia Seca/ha para distintas dosis de fósforo aplicadas en lotus

| <i>Dosis</i> P_2O_5 (ha) | 30/9/82 | 18/11/82 | 6/4/83 |
|-------------------------------|---------|----------|--------|
| 0 | 764 | 2703 | 492 |
| 40 | 938 | 2233 | 673 |
| 80 | 1090 | 2713 | 972 |
| 120 | 1171 | 2548 | 650 |
| 160 | 1215 | 2485 | 1044 |

Cuadro N° 13. Análisis de varianza resumido para Materia
Seca total para el lotus, 1er. corte

| <u>F. de V.</u> | <u>G.L.</u> | <u>F.</u> | <u>Sig.</u> |
|-----------------|-------------|-----------|-------------|
| Bloque | 2 | 7 | ** |
| Fósforo | 4 | 3.16 | * |
| Lineal | (1) | 11.8 | *** |
| Error | 8 | | |

Para el segundo y tercer corte, que no hubo respuesta significativa, también se realizaron los contrastes ortogonales, aunque tampoco dieron significación.

De esta sección se desprende que existe respuesta en los primeros cortes de trébol rojo y lotus, mientras que esto no se da en los restantes cortes. Esta mayor respuesta en el primer período del crecimiento, que coincide en gran parte con el invierno, ya fue observada en trabajos anteriores (Chilibroste y col., 1982). Las mayores necesidades de fósforo al principio del crecimiento y una menor disponibilidad y utilización del fósforo en el invierno, podría explicar lo observado. En trébol blanco, sin embargo, se da respuesta en ambos cortes.

IV.2.2. Composición química de la planta

IV.2.2.1. Fósforo foliar. El trébol blanco mostró respuestas significativas en la concentración de fósforo en la parte aérea tanto en el primer como en el segundo corte (Cuadro N° 14).

Cuadro N° 14. Porcentaje de fósforo en la parte aérea del trébol blanco en su primer y segundo corte.

| Dosis P_2O_5 /ha | Concentración de fósforo | |
|-----------------------|--------------------------|------------|
| | 30/9/82 | 18/11/82 |
| 0 | 0.32 | 0.22 |
| 40 | 0.40 | 0.24 |
| 80 | 0.46 | 0.25 |
| 120 | 0.47 | 0.25 |
| 160 | 0.53 | 0.31 |
| Sig. | lineal *** | lineal *** |

Se aprecia que en ambos cortes la respuesta fue lineal hasta la máxima dosis utilizada. También se desprende que la concentración de fósforo en ambos cortes es por demás aceptable, desde el punto de vista de nutrición animal, teniendo en cuenta que animales con altos requerimientos nutritivos requieren un 0.3% de fósforo. Esto nos permite concluir que la suplementación mineral de animales alimentados con pasturas donde predominan estas leguminosas es innecesaria.

Cuadro N° 15. Porcentaje de fósforo, parte aérea, para trébol rojo en sus tres cortes

| Dosis (kg P_2O_5 /ha) | 30/9/82 | 18/11/82 | 6/4/82 |
|-------------------------|---------|----------|--------|
| 0 | 0.37 | 0.23 | 0.19 |
| 40 | 0.39 | 0.32 | 0.20 |
| 80 | 0.40 | 0.27 | 0.22 |
| 120 | 0.44 | 0.26 | 0.20 |
| 160 | 0.44 | 0.26 | 0.22 |

En el caso del trébol rojo, en el primer corte el porcentaje de fósforo foliar mostró significación según se muestra en los Cuadros Nos. 15 y 16 y 32, 33, 34 y 46 del apéndice).

Cuadro N° 16. Fósforo absorbido por el trébol rojo, 1er. corte

| F. de V. | G.L. | F. | Sig. |
|-----------------|------|------|------|
| Bloque | 2 | 4.8 | ** |
| Especie Fósforo | 4 | 2.95 | * |
| Error | 8 | | |

En su segundo y tercer corte no mostró significación, así como tampoco los contrastes ortogonales entre medias.

Finalmente el lotus no mostró significación en ninguno de sus cortes, así como tampoco en los contrastes ortogonales entre medias (Cuadro N° 17 y Nos. 32, 33 y 34 del apéndice)!

Cuadro N° 17. Porcentaje de fósforo, parte aérea, para lotus en sus tres cortes

| Dosis (kg P ₂ O ₅ /ha) | 30/9/82 | 18/11/82 | 6/4/83 |
|--|---------|----------|--------|
| 0 | 0.37 | 0.25 | 0.17 |
| 40 | 0.38 | 0.27 | 0.19 |
| 80 | 0.42 | 0.29 | 0.20 |
| 120 | 0.41 | 0.29 | 0.22 |
| 160 | 0.44 | 0.32 | 0.23 |

Las tres especies mostraron comportamientos similares : los porcentajes de fósforo absorbidos descienden a medida que avanza el ciclo, lo cual en parte puede ser explicado por las condiciones de temperatura y humedad que reinaron (esto ya fue tratado en otra sección). Además, no debemos olvidar el efecto "dilución" que claramente se observa: al ser los rendimientos en el segundo corte muy superiores al primero, el fósforo absorbido se diluyó entre una mayor cantidad de kg. de Materia Seca, con lo que la concentración de fósforo en términos relativos desciende. En el tercer corte en particular, donde los porcentajes de fósforo fueron sensiblemente inferiores, se podría explicar en función de que este corte fue realizado a la salida del verano, cuando abundaban los restos secos. Además debe recordarse que dado el equilibrio que existe entre desarrollo vegetativo y radicular, este último no sería lo eficiente que podría serlo en otras condiciones.

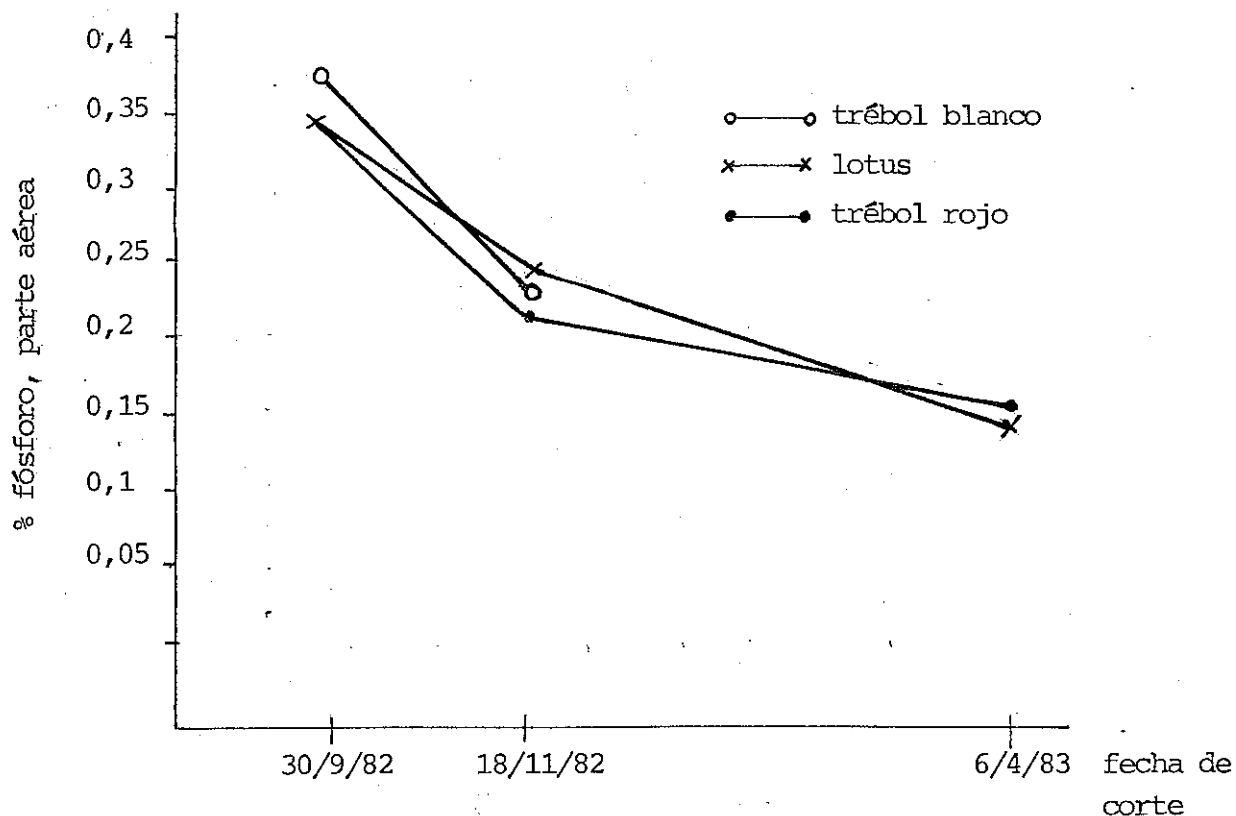
En la Gráfica N° 3, en la página siguiente, observamos la tendencia antes mencionada.

Con el fin de estimar niveles críticos foliares se estudiaron las regresiones entre porcentaje de fósforo promedio anual y rendimiento. El porcentaje de fósforo se obtuvo de la siguiente manera:

$$\% P = \frac{\text{kg P absorbido total}}{\text{kg MS. total}} \times 100$$

Unicamente se encontró relación para el trébol blanco según la siguiente ecuación lineal, ya que no hubo ajuste para una ecuación cuadrática:

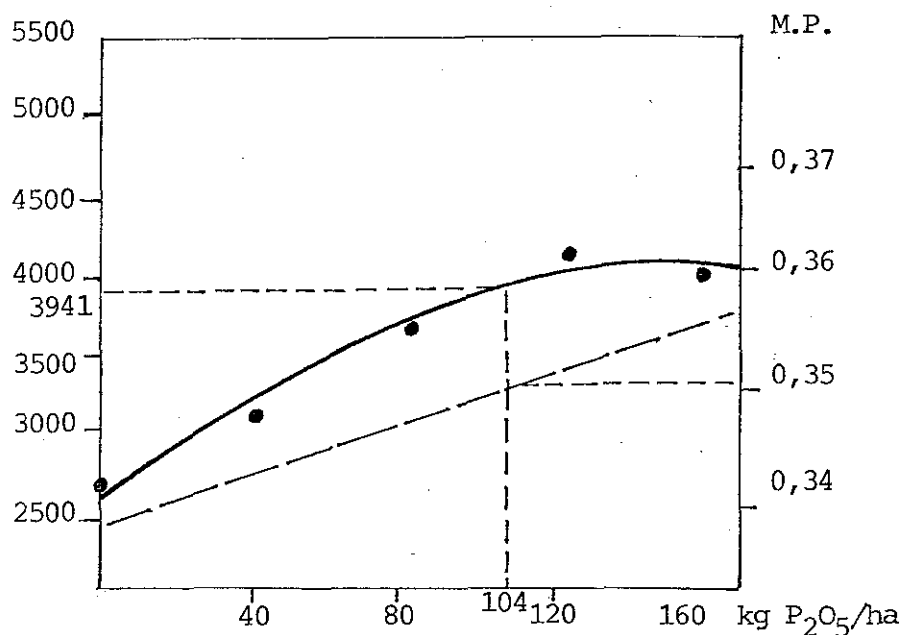
$$\hat{y} = -1780 + 16558 x \quad r^2 = 0,75 ***$$



Gráfica N° 3. Fecha de corte versus porcentaje de fósforo, parte aérea, para las tres especies.

Dado que se ajustó una ecuación lineal, no sería lógico determinar un nivel crítico, pues no existiría. Sin embargo, si sustituimos en la ecuación anterior el dato del 95% del máximo rendimiento y despejamos el valor de x , obtenemos un nivel de fósforo foliar estimado de 0,35%, dato que concuerda totalmente con lo reportado por Mc Naught (1970) y por Chilibroste y col. (1982).

En la Gráfica N° 4 se visualiza la determinación del nivel antedicho.



Gráfica N° 4. Nivel crítico estimado foliar para el trébol blanco.

Para el trébol rojo y el lotus no se encontró relación alguna entre porcentaje de fósforo foliar y rendimiento, lo cual era dable esperar ya que no se obtuvo respuesta en tales especies, existiendo un consumo de lujo marcado en ambas. De todas maneras se creyó conveniente estimar los niveles foliares críticos tomando como tales el porcentaje de fósforo promedio obtenido con la dosis de 40 unidades de P₂O₅ por hectárea, arrojando valores de 0.30 para el trébol rojo y 0.28 para el lotus. Esto concuerda con el trabajo antedicho de Chilbroste y col. (1982).

IV.2.2.2. Fósforo absorbido. Se observó una respuesta significativa en trébol blanco tanto en el primer como en el segundo corte, lo cual se observa en el Cuadro N° 18 y Cuadros Nos. 29 y 30 del apéndice.

Cuadro N° 18. Fósforo absorbido por trébol blanco en su 1er. y 2do. corte

| Dosis | P absorbido (kg/ha) | |
|-------|---------------------|------------|
| | 30/9/82 | 18/11/82 |
| 0 | 3.2 | 3.1 |
| 40 | 5.3 | 4.2 |
| 80 | 7.2 | 6.3 |
| 120 | 7.3 | 7.0 |
| 160 | 9.1 | 7.2 |
| Sig. | Lineal *** | Lineal *** |

Se desprende del Cuadro N° 18 que la respuesta fue altamente significativa ajustando una ecuación lineal en ambos cortes. Como se observa, la absorción de fósforo en el primer corte es algo mayor que en el segundo. Resumiendo este dato con los rendimientos de Materia Seca obtenidos en los mismos cortes (2do. corte > 1er. corte) se concluye que hubo un "consumo de lujo" en el primer corte, pues absorbiendo más kgs. de fósforo, tuvo una menor producción de Materia Seca.

Por su parte el trébol rojo mostró respuesta significativa ($P < 0,05$) en su primer corte, no así en el segundo ni en el tercero, en los cuales ni siquiera se nota una tendencia.

En el Cuadro N° 19 y Cuadros Nos. 20, 30 y 31 del apéndice, aparecen los datos de kgs. de fósforo absorbido para el trébol rojo en cada uno de sus tres cortes.

Cuadro N° 19. Fósforo absorbido por el trébol rojo en cada corte

| Dosis | kg. P absorbido (kg/ha) | | |
|-------|-------------------------|----------|--------|
| | 30/9/82 | 18/11/82 | 6/4/83 |
| 0 | 6.2 | 5.0 | 3.3 |
| 40 | 6.5 | 7.7 | 3.3 |
| 80 | 7.0 | 6.0 | 4.0 |
| 120 | 7.2 | 5.7 | 4.0 |
| 160 | 7.3 | 5.7 | 2.7 |
| Sig. | Lineal *** | N.S. | N.S. |

El lotus, al igual que el trébol rojo, únicamente respondió en su primer corte ($P < 0.01$). En el Cuadro N° 20 se anotan los resultados obtenidos para cada uno de los tres cortes, en cuanto a fósforo absorbido se refiere.

* Vemos entonces que en relación al fósforo absorbido, que las tres especies respondieron en su primer corte al agregado de fósforo, y solamente el trébol blanco respondió en el segundo corte. El lotus absorbió más fósforo en el segundo que en el primer corte. Sin embargo, no hubo respuesta; en el lotus entonces el consumo de lujo no fue tan manifiesto pues también rindió más en su segundo corte. La no existencia de respuesta en Materia Seca ni en fósforo absorbido, pero

mayor rendimiento y absorción de fósforo en el segundo corte de trébol rojo y lotus (y la nula respuesta en el tercer corte) indicarían una menor capacidad de absorber fósforo del fertilizante en estas especies.

Cuadro N° 20. Fósforo absorbido por el lotus en cada corte

| Dosis | kg P absorbido (kg/ha) | | |
|-------|------------------------|----------|--------|
| | 30/9/82 | 18/11/82 | 6/4/83 |
| 0 | 3.2 | 6.7 | 1.4 |
| 40 | 4.3 | 6.7 | 1.7 |
| 80 | 5.0 | 7.6 | 2.0 |
| 120 | 4.8 | 7.6 | 1.7 |
| 160 | 5.2 | 8.0 | 2.0 |
| Sig. | Lineal *** | N.S. | N.S. |

Tomando en cuenta ahora el fósforo absorbido total se observa en el Cuadro N° 21 que el lotus y trébol blanco muestran respuesta, no así el trébol rojo.

Cuadro N° 21. Fósforo absorbido total por el trébol blanco, lotus y trébol rojo

| Dosis | Kg. P absorbido (kg/ha) | | |
|-------|-------------------------|------------|----------|
| | Tr. blanco | Lotus | Tr. rojo |
| 0 | 7.1 | 10.1 | 12.6 |
| 40 | 10.2 | 11.0 | 16.0 |
| 80 | 12.4 | 15.2 | 15.6 |
| 120 | 14.5 | 15.4 | 15.6 |
| 160 | 16.3 | 15.7 | 15.3 |
| Sig. | Lineal *** | Lineal *** | N.S. |

A continuación aparecen las ecuaciones lineales que se ajustaron para estas especies:

$$\text{trébol blanco} \quad \hat{y} = 7.6 + 0.055 x \quad R^2 = 0,63 \text{ ***}$$

$$\text{lotus} \quad \hat{y} = 10.2 + 0.035 x \quad R^2 = 0,79 \text{ ***}$$

No hubo ajuste para una ecuación cuadrática.

El trébol rojo, aunque no presenta respuesta, es la especie que absorbe más fósforo, seguida por el lotus y por último el trébol blanco, lo cual puede deberse a los rendimientos obtenidos, que siguen la misma tendencia.

Al respecto se puede citar el trabajo de Hunt y col., (1976), los cuales en un estudio de remoción de nutrientes de variedades de trébol rojo, encontraron que las tasas de extracción anual eran muy altas y variaban entre 24.4 y 37.0 kg/ha de fósforo por año.

Chilibroste y col. (1982) encontraron los siguientes rangos de variación en los kg/ha/año de fósforo absorbido, para trébol rojo, trébol blanco y lotus de 18 y 27,2; 2.18 y 5,3; 8.6 y 13 kg/ha de fósforo, respectivamente.

En el presente trabajo los rangos obtenidos para trébol rojo, trébol blanco y lotus son de: 12.7 a 16; 11.0 a 15.2; y 7.0 a 15.7 kg/ha/año de fósforo absorbido, respectivamente.

Estas diferencias en los resultados son explicadas por las diferencias en rendimiento obtenidas en los distintos trabajos: en el presente, los rendimientos de trébol blanco

fueron superiores, mientras que los de trébol rojo fueron inferiores.

Pretendiendo estudiar la eficiencia de las distintas especies en el uso del fósforo, se intentaron realizar regresiones entre kg de fósforo absorbido y rendimiento; pero dada la falta de relación estrecha entre kg de fósforo absorbido y rendimiento para el trébol rojo y lotus, tal metodología no sería adecuada. Así, buscando algún método que nos permita estimar la eficiencia, se recurrió al siguiente planteamiento: estudiar conjuntamente, para cada dosis aplicada, el rendimiento total y el fósforo absorbido total para cada una de las especies, estudiando luego la relación kg Materia Seca/kg fósforo absorbido, lo cual se detalla en el Cuadro N° 22. Del mencionado cuadro se desprende que el trébol blanco es la especie menos eficiente, ya que para un rendimiento del 95% del máximo la eficiencia es de unos 300 kg Materia Seca/kg fósforo absorbido, mientras que el trébol rojo y lotus, a bajos niveles de fósforo aplicado (ya que no presentan respuesta), las eficiencias son de aproximadamente unos 340 kg Materia Seca/kg fósforo absorbido.

IV.3. RECUPERACION DEL FOSFORO DEL FERTILIZANTE

Se determinó el porcentaje de recuperación aparente de la siguiente manera:

$$\% \text{ recuperación aparente} = \frac{\text{kg P absorbido} - \text{kg P nativo}}{\text{kg P fertilizante}} \times 100$$

Cuadro N° 22. Efecto de la dosis sobre la eficiencia, para cada una de las especies

| Dosis | Rendimiento total (kg/ha Materia Seca) | | | P absorbido total kg/ha de fósforo | | | Kg. Materia Seca/ kg. fósforo absorbido | | |
|-------|---|------|------|---------------------------------------|------|------|--|-------|-------|
| | B | R | L | B | R | L | B | R | L |
| 0 | 2579 | 4831 | 3796 | 7.0 | 12.7 | 11.0 | 368.4 | 380.4 | 345.1 |
| 40 | 3187 | 4979 | 3844 | 10.0 | 16.0 | 11.3 | 318.7 | 311.2 | 340.2 |
| 80 | 3616 | 5160 | 4775 | 12.0 | 15.7 | 15.3 | 301.3 | 328.7 | 312.1 |
| 120 | 4148 | 5237 | 4370 | 13.7 | 15.7 | 14.7 | 302.8 | 333.6 | 297.3 |
| 160 | 4065 | 4928 | 4523 | 15.7 | 15.3 | 15.0 | 259.0 | 322.1 | 301.5 |

El fósforo nativo hace referencia al fósforo que absorbió la planta y que ya estaba presente en el suelo, estimado en función de las parcelas testigo. Para esto se asume que como consecuencia de una respuesta al fósforo aplicado no hay una mayor absorción de fósforo nativo. Aunque esto no es así (de ahí el término recuperación aparente), el método es válido en términos relativos.

Cuadro N° 23. Porcentaje de recuperación del fósforo del fertilizante

| Dosis | Trébol blanco | Trébol rojo | Lotus |
|-------|---------------|-------------|-------|
| 0 | - | - | - |
| 40 | 17.1 | 18.9 | 1.7 |
| 80 | 14.3 | 8.6 | 12.3 |
| 120 | 12.6 | 5.7 | 6.9 |
| 160 | 12.3 | 3.6 | 5.7 |

Estos resultados están de acuerdo con trabajos anteriores (Spedding y Dickmahns, 1972; Hunt y col. 1976; Holford y Gleeson, 1976; y Chilibroste y col., 1982) en los cuales a medida que aumenta la dosis de fertilizante en porcentaje de recuperación disminuye. Se observa que los valores más altos se obtienen para el trébol blanco, seguido por el lotus y el trébol rojo. Esto estaría de acuerdo con lo expresado anteriormente, ya que el orden de absorción de fósforo era justamente el inverso.

El valor de recuperación de fósforo para la dosis 40 unidades de P_2O_5 para el lotus es anormalmente bajo. Esto

coincide con los datos de Materia Seca, porcentaje de fósforo y fósforo absorbido, en el sentido de un muy bajo efecto de esa dosis en las variables mencionadas. Esto fue consistente en las 3 repeticiones, para lo cual no encontramos explicación razonable.

IV.4. ANALISIS DE SUELO

Se estudió la evolución de fósforo del suelo bajo los distintos tratamientos, medido al final del período de evaluación (aproximadamente un año). En la tabla siguiente se observa que el fósforo del suelo al final del período aumenta a medida que se incrementa la dosis de fósforo empleada.

Se aprecia además que el proceso realmente importante que regula la evolución del fósforo es la fijación por parte del suelo, ya que no hay un efecto diferencial de la especie en los datos obtenidos. Este resultado coincide con lo encontrado por Chilibroste y col. (1982).

| P inicial (ppm) | Dosis P_2O_5 | fósforo final (ppm) | | |
|--------------------|-------------------|---------------------|-------|---------------|
| | | Trébol rojo | Lotus | Trébol blanco |
| 8 | 0 | 8 | 7 | 7 |
| 9 | 40 | 10 | 10 | 10 |
| 8 | 80 | 13 | 12 | 14 |
| 8 | 120 | 17 | 13 | 18 |
| 9 | 160 | 20 | 14 | 23 |

La cuantificación del incremento en el fósforo del suelo puede estimarse para este suelo en aproximadamente 15 kg de P_2O_5 para aumentar 1 ppm el nivel de fósforo del suelo un año después de su aplicación. Este valor es considerablemente menor al encontrado por Chilibróste y col. (1982) en el trabajo similar a éste ya citado (28 kg de P_2O_5 para elevar 1 ppm). Esta diferencia se debe a que el suelo en que ellos trabajaron tenía ciertas características que le daban un poder de fijación excepcionalmente alto.

El valor obtenido aquí se considera razonable dado que se trata de un Vertisol con un contenido de arcillas elevado.

V. CONCLUSIONES

El orden de producción de Materia Seca fue el trébol rojo más que el lotus y éste más que el trébol blanco. Si bien esto fue así no hay que olvidar que el déficit hídrico puede haber afectado al trébol blanco más que a las otras. Todas las especies mostraron sus picos de producción al final de la primavera.

El trébol blanco fue la única especie que presentó respuesta significativa al agregado de fósforo, necesitándose 104 unidades de P_2O_5 /ha para lograr el 95% del máximo rendimiento. Los requerimientos fueron mayores en el período invernal, así como también el trébol rojo y lotus presentaron la misma tendencia a pesar de no haber respondido en forma importante.

La fertilización fosfatada incrementó significativamente los niveles de fósforo foliar en todas las especies, principalmente en el trébol blanco, y más aún en el período invernal. Se estimaron niveles críticos foliares que fueron para el trébol blanco 0.35%; para el trébol rojo 0.30% y para el lotus 0.28%. El trébol blanco presentó respuesta en kg. de fósforo absorbido en forma global, mientras que el trébol rojo y el lotus solamente respondieron en el invierno. El orden de absorción decreciente de fósforo fue: trébol rojo, lotus, trébol blanco, aunque no hay que olvidar que esto está directamente relacionado con los rendimientos obtenidos. En las condiciones de este trabajo, el trébol blanco fue la especie que presentó menor eficiencia de utilización del fósforo absorbido.

El trébol blanco fue la especie que presentó porcentaje de recuperación aparente del fertilizante más elevado, lo cual es lógico ya que fue la única especie que presentó res puesta, sin embargo se observó una menor capacidad de absor ber fósforo del fertilizante en las especies trébol rojo y lotus, especialmente en primavera y verano.]

El proceso más importante en la evolución del fósforo en el suelo es evidentemente la fijación de fósforo por par te del suelo. Fueron necesarios 14 kg de P_2O_5 /ha para in cre men tar 1 ppm el fósforo del suelo.]

* Como conclusión final, sobre este suelo con 8 ppm, se podría recomendar 100 kg de P_2O_5 /ha en trébol blanco y apro xim ada men te 40 kg de P_2O_5 /ha en trébol rojo y lotus, sin ol vid ar que las respuestas estuvieron condicionadas a defi ci en ci as hídricas de importancia.*

VI. A P E N D I C E

Cuadro N° 24. Rendimiento total en kg Materia Seca/ha
para Trébol blanco, Trébol rojo y Lotus

| Bloques | Trébol blanco | | | Trébol rojo | | | Lotus | | |
|---------|---------------|------|------|-------------|------|------|-------|------|------|
| | I | II | III | I | II | III | I | II | III |
| Dosis | | | | | | | | | |
| 0 | 2288 | 3263 | 2185 | 4294 | 5293 | 4905 | 3233 | 5235 | 2929 |
| 40 | 3179 | 3360 | 3023 | 5182 | 5592 | 4243 | 2622 | 4745 | 4164 |
| 80 | 3793 | 3887 | 3169 | 5447 | 5493 | 4541 | 4343 | 5766 | 4216 |
| 120 | 4250 | 4156 | 4037 | 5372 | 5447 | 4892 | 3582 | 5130 | 4397 |
| 160 | 3989 | 4668 | 3539 | 4338 | 5714 | 4731 | 4642 | 4848 | 4080 |

Cuadro N° 25. Rendimiento de Materia Seca (kg/ha),
corte 30/9/82

| Bloques | Trébol blanco | | | Trébol rojo | | | Lotus | | |
|---------|---------------|------|------|-------------|------|------|-------|------|------|
| | I | II | III | I | II | III | I | II | III |
| Dosis | | | | | | | | | |
| 0 | 778 | 1287 | 1056 | 1249 | 1491 | 1663 | 669 | 1057 | 565 |
| 40 | 1323 | 1572 | 1271 | 1331 | 1574 | 1893 | 968 | 1117 | 729 |
| 80 | 1179 | 1713 | 1510 | 1268 | 1661 | 1998 | 745 | 1502 | 1023 |
| 120 | 1729 | 1399 | 1482 | 1206 | 1628 | 1906 | 1319 | 1221 | 973 |
| 160 | 1747 | 2052 | 1250 | 1151 | 1761 | 2038 | 1321 | 1419 | 904 |

Cuadro N° 26. Rendimiento de Materia Seca (kg/ha),
corte 18/11/82

| Bloques | <u>Trébol blanco</u> | | | <u>Trébol rojo</u> | | | <u>Lotus</u> | | |
|--------------|----------------------|------|------|--------------------|------|------|--------------|------|------|
| | I | II | III | I | II | III | I | II | III |
| <i>Dosis</i> | | | | | | | | | |
| 0 | 1510 | 1976 | 1129 | 2318 | 1997 | 2127 | 2439 | 3316 | 2354 |
| 40 | 1856 | 1788 | 1752 | 2727 | 2657 | 1636 | 1397 | 2670 | 2632 |
| 80 | 2614 | 2174 | 1659 | 2830 | 2127 | 1453 | 3226 | 2989 | 1924 |
| 120 | 2521 | 2757 | 2555 | 2347 | 2218 | 1808 | 2118 | 2872 | 2655 |
| 160 | 2242 | 2616 | 2289 | 2569 | 2281 | 1824 | 2892 | 2026 | 2538 |

Cuadro N° 27. Rendimiento de Materia Seca (kg/ha)
corte 6/4/83

| Bloques | <u>Trébol rojo</u> | | | <u>Lotus</u> | | |
|--------------|--------------------|------|------|--------------|------|------|
| | I | II | III | I | II | III |
| <i>Dosis</i> | | | | | | |
| 0 | 727 | 1805 | 1115 | 125 | 862 | 490 |
| 40 | 1124 | 1281 | 714 | 257 | 958 | 803 |
| 80 | 1349 | 1705 | 1090 | 372 | 1275 | 1269 |
| 120 | 1819 | 1601 | 1178 | 145 | 1037 | 769 |
| 160 | 618 | 1672 | 869 | 430 | 1403 | 1300 |

Cuadro N° 28. Fósforo absorbido total en kg/ha

| Bloques | Trébol blanco | | | Trébol rojo | | | Lotus | | |
|---------|---------------|------|------|-------------|------|------|-------|------|------|
| | I | II | III | I | II | III | I | II | III |
| Dosis | | | | | | | | | |
| 0 | 6.2 | 10.1 | 5.2 | 11.2 | 14.2 | 13.1 | 9.3 | 12.3 | 12.0 |
| 40 | 11.3 | 11.2 | 8.6 | 13.4 | 23.4 | 12.4 | 9.2 | 13.4 | 12.2 |
| 80 | 12.3 | 14.4 | 10.4 | 16.5 | 17.5 | 14.3 | 14.1 | 16.3 | 16.4 |
| 120 | 14.4 | 15.5 | 12.3 | 16.4 | 17.4 | 14.4 | 14.2 | 15.8 | 15.7 |
| 160 | 16.6 | 18.3 | 13.5 | 13.8 | 19.2 | 14.5 | 16.0 | 15.7 | 14.8 |

Cuadro N° 29. Fósforo absorbido (kg/ha)
corte 30/9/82

| Bloques | Trébol blanco | | | Trébol rojo | | | Lotus | | |
|---------|---------------|------|-----|-------------|-----|-----|-------|-----|-----|
| | I | II | III | I | II | III | I | II | III |
| Dosis | | | | | | | | | |
| 0 | 2.1 | 5.1 | 3.2 | 4.1 | 6.5 | 7.1 | 3.1 | 4.0 | 2.3 |
| 40 | 5.0 | 6.1 | 5.4 | 5.0 | 7.0 | 7.1 | 4.2 | 4.1 | 3.2 |
| 80 | 6.2 | 8.2 | 6.1 | 5.1 | 7.1 | 8.2 | 3.3 | 6.2 | 5.4 |
| 120 | 8.3 | 7.3 | 7.2 | 5.1 | 8.2 | 8.1 | 4.1 | 5.6 | 4.5 |
| 160 | 9.4 | 11.1 | 7.2 | 5.2 | 8.3 | 8.2 | 6.4 | 6.3 | 4.4 |

Cuadro N° 30. Fósforo absorbido (kg/ha)
corte 18/11/82

| Bloques Dosis | Trébol blanco | | | Trébol rojo | | | Lotus | | |
|------------------|---------------|-----|-----|-------------|------|-----|-------|-----|-----|
| | I | II | III | I | II | III | I | II | III |
| 0 | 3.0 | 5.0 | 2.1 | 5.0 | 5.2 | 5.3 | 6.2 | 7.4 | 7.4 |
| 40 | 5.2 | 4.8 | 4.3 | 6.2 | 13.0 | 4.8 | 4.3 | 8.2 | 8.2 |
| 80 | 7.1 | 6.3 | 4.4 | 8.3 | 6.8 | 4.4 | 9.0 | 8.3 | 6.3 |
| 120 | 7.3 | 7.2 | 6.5 | 6.4 | 6.7 | 5.6 | 5.8 | 9.0 | 9.2 |
| 160 | 8.2 | 8.1 | 6.4 | 6.6 | 7.6 | 4.8 | 10.2 | 6.5 | 8.1 |

Cuadro N° 31. Fósforo absorbido (kg/ha)
corte 6/4/83

| Bloques Dosis | Trébol rojo | | | Lotus | | |
|------------------|-------------|-----|-----|-------|-----|-----|
| | I | II | III | I | II | III |
| 0 | 2.4 | 5.0 | 3.2 | 0.2 | 2.0 | 2.2 |
| 40 | 2.4 | 6.2 | 2.4 | 1.5 | 2.1 | 2.1 |
| 80 | 4.2 | 5.7 | 3.1 | 1.5 | 2.2 | 3.0 |
| 120 | 5.0 | 4.8 | 3.3 | 1.4 | 2.1 | 2.6 |
| 160 | 1.6 | 5.1 | 2.6 | 1.6 | 3.0 | 2.4 |

Cuadro N° 32. Porcentaje de fósforo, parte aérea,
corte 30/9/82

| Bloques | Trébol blanco | | | Trébol rojo | | | Lotus | | |
|---------|---------------|------|------|-------------|------|------|-------|------|------|
| | I | II | III | I | II | III | I | II | III |
| Dosis | | | | | | | | | |
| 0 | 0.31 | 0.36 | 0.28 | 0.32 | 0.40 | 0.39 | 0.40 | 0.34 | 0.37 |
| 40 | 0.31 | 0.41 | 0.37 | 0.37 | 0.44 | 0.36 | 0.40 | 0.37 | 0.38 |
| 80 | 0.48 | 0.49 | 0.41 | 0.36 | 0.43 | 0.40 | 0.41 | 0.38 | 0.47 |
| 120 | 0.44 | 0.51 | 0.46 | 0.45 | 0.46 | 0.40 | 0.41 | 0.37 | 0.44 |
| 160 | 0.49 | 0.53 | 0.56 | 0.44 | 0.47 | 0.40 | 0.44 | 0.40 | 0.49 |

Cuadro N° 33. Porcentaje de fósforo, parte aérea,
corte 18/11/82

| Bloques | Trébol blanco | | | Trébol rojo | | | Lotus | | |
|---------|---------------|------|------|-------------|------|------|-------|------|------|
| | I | II | III | I | II | III | I | II | III |
| Dosis | | | | | | | | | |
| 0 | 0.21 | 0.25 | 0.19 | 0.22 | 0.25 | 0.23 | 0.24 | 0.22 | 0.30 |
| 40 | 0.28 | 0.24 | 0.20 | 0.20 | 0.50 | 0.25 | 0.29 | 0.23 | 0.30 |
| 80 | 0.25 | 0.27 | 0.23 | 0.28 | 0.28 | 0.24 | 0.29 | 0.26 | 0.33 |
| 120 | 0.27 | 0.27 | 0.22 | 0.26 | 0.26 | 0.25 | 0.25 | 0.30 | 0.33 |
| 160 | 0.35 | 0.29 | 0.28 | 0.25 | 0.29 | 0.23 | 0.33 | 0.30 | 0.33 |

Cuadro N° 34. Fósforo, parte aérea, corte 6/4/83

| Bloques | Trébol rojo | | | Lotus | | |
|---------|-------------|------|------|-------|------|------|
| | I | II | III | I | II | III |
| Dosis | | | | | | |
| 0 | 0.20 | 0.18 | 0.19 | 0.18 | 0.17 | 0.17 |
| 40 | 0.20 | 0.24 | 0.17 | 0.20 | 0.19 | 0.19 |
| 80 | 0.23 | 0.25 | 0.18 | 0.21 | 0.18 | 0.21 |
| 120 | 0.23 | 0.22 | 0.14 | 0.22 | 0.22 | 0.22 |
| 160 | 0.19 | 0.23 | 0.23 | 0.22 | 0.23 | 0.23 |

Cuadro N° 35. Análisis de varianza, Materia Seca total
(kg/ha) para lotus

| F. de V. | G.L. | S.C. | F. |
|-------------|------|---------|-----------|
| Bloques | 2 | 6030011 | 9.6** |
| Tratamiento | 4 | 2197992 | 1.75 N.S. |
| Error | 8 | 2513312 | |

Cuadro N° 36. Análisis de varianza, Materia Seca total
para trébol blanco

| F. de V. | G.L. | S.C. | F. |
|-------------|------|---------|---------|
| Bloques | 2 | 1146000 | 7.7 ** |
| Tratamiento | 4 | 5092000 | 17.2*** |
| Lineal | 1 | 4642100 | 62.7*** |
| Cuadrática | 1 | 350903 | 4.74 * |
| Error | 8 | 592000 | |

Cuadro N° 37. Análisis de varianza, Materia Seca total (kg/ha) para trébol rojo

| F. de V. | G.L. | S.C. | F |
|-------------|------|---------|----------|
| Bloques | 2 | 1796143 | 5.4 ** |
| Tratamiento | 4 | 338668 | 0.5 N.S. |
| Error | 8 | 1340613 | |

Cuadro N° 38. Análisis de varianza, Materia Seca total (kg/ha) por corte para trébol blanco

| F. de V. | G.L. | 30/9/82 | | 18/11/82 | |
|-------------|------|---------|-----------|----------|-----------|
| | | S.C. | F | S.C. | F |
| Bloque | 2 | 250292 | 2.16 N.S. | 392189 | 2.87 N.S. |
| Tratamiento | 4 | 690294 | 3 * | 2248260 | 8.24 *** |
| Lineal | 1 | 616333 | 10.6 ** | 1875500 | 27.5 *** |
| Cuadrática | 1 | 36609 | 0.63 N.S. | 160829 | 2.4 N.S. |
| Error | 8 | 463372 | | | |

Cuadro N° 39. Análisis de varianza, Materia Seca (kg/ha) por cada corte para trébol rojo

| F. de V. | G.L. | S.C. | F | S.C. | F | S.C. | F |
|-------------|------|---------|----------|---------|---------|---------|----------|
| Bloque | 2 | 1093643 | 55.3 *** | 1582997 | 10.5** | 1062545 | 5.9 ** |
| Tratamiento | 4 | 64406 | 1.6 N.S. | 97716 | 3.1N.S. | 543671 | 1.5 N.S. |
| Error | 8 | 79051 | | 603916 | | 714477 | |

Cuadro N° 40. Análisis de varianza, Materia Seca
(kg/ha) por corte para lotus

| F. de V. | G.L. | 30/7/82 | | 18/11/82 | | 6/4/83 | |
|-------------|------|---------|-----------|----------|----------|----------|-----------|
| | | S.C. | F. | S.C. | F. | S.C. | F. |
| Bloque | 2 | 457527 | 7 ** | 425164 | 0.6 N.S. | 1960724 | 0.3 N.S. |
| Tratamiento | 4 | 410493 | 3.16 * | 461235 | 0.3 N.S. | 650665 | 0.04 N.S. |
| Lineal | 1 | 386468 | 11.8 *** | | | | |
| Cuadrática | 1 | 24025 | 0.74 N.S. | | | | |
| Error | 8 | | | 2833497 | | 28491434 | |

Cuadro N° 41. Análisis de varianza, fósforo absorbido total
(kg/ha), para trébol blanco, trébol rojo y lotus

| F. de V. | G.L. | Trébol blanco | | Trébol rojo | | Lotus | |
|-------------|------|---------------|----------|-------------|-----------|-------|-----------|
| | | S.C. | F. | S.C. | F. | S.C. | F. |
| Bloque | 2 | 42.1 | 17 *** | 64.9 | 5.92 ** | 9.2 | 3.4 * |
| Tratamiento | 4 | 157.3 | 31.7 *** | 22.2 | 1.01 N.S. | 54 | 10 *** |
| Lineal | 1 | 132.3 | 106 *** | | | 38.5 | 28.5 *** |
| Cuadrática | 1 | 25 | 1.8 N.S. | | | 4.6 | 3.45 N.S. |
| Error | 8 | 9.9 | | 43.8 | | 10.8 | |

Cuadro N° 42. Análisis de varianza, fósforo absorbido (kg/ha)
por corte para trébol blanco

| F. de V. | G.L. | 30/9/82 | | 18/11/82 | |
|-------------|------|---------|----------|----------|----------|
| | | S.C. | F. | S.C. | F. |
| Bloque | 2 | 8.9 | 4.56 ** | 8.5 | 7.1 ** |
| Tratamiento | 4 | 54.6 | 14 *** | 32.4 | 13.5 *** |
| Lineal | 1 | 53 | 54.7 *** | 32 | 53 *** |
| Cuadrática | 1 | 1.6 | 1.6 N.S. | 0.2 | 0.3 N.S. |
| Error | 8 | 7.8 | | 4.8 | |

Cuadro N° 43. Análisis de varianza, fósforo absorbido
(kg/ha) por corte para trébol rojo

| F. de V. | G.L. | 30/9/82 | | 18/11/82 | | 6/4/83 | |
|-------------|------|---------|----------|----------|-----------|--------|----------|
| | | S.C. | F. | S.C. | F. | S.C. | F. |
| Bloque | 2 | 22.9 | 83.3*** | 22.8 | 2.6 N.S. | 17.7 | 6.8 ** |
| Tratamiento | 4 | 3.7 | 6.7 ** | 12 | 0.68 N.S. | 3.7 | 0.7 N.S. |
| Lineal | 1 | 3.3 | 24.2 *** | | | | |
| Cuadrática | 1 | 0.4 | 2.9 N.S. | | | | |
| Error | 8 | 1.1 | | 35.2 | | 10.3 | |

Cuadro N° 44. Análisis de varianza, fósforo absorbido
(kg/ha) por corte, para lotus

| F. de V. | G.L. | 30/9/82 | | 18/11/82 | | 6/4/83 | |
|-------------|------|---------|----------|----------|-----------|--------|----------|
| | | S.C. | F. | S.C. | F. | S.C. | F. |
| Bloque | 2 | 5.2 | 3.77 * | 2.1 | 0.26 N.S. | 6.1 | 18.2 *** |
| Tratamiento | 4 | 9.7 | 3.48 * | 4.6 | 0.28 N.S. | 0.75 | 1,1 N.S. |
| Lineal | 1 | 8.5 | 12,3 *** | | | | |
| Cuadrática | 1 | 1.2 | 0.2 N.S. | | | | |
| Error | 8 | 5.5 | | 32.6 | | 1.39 | |

Cuadro N° 45. Análisis de varianza, porcentaje de fósforo
foliar por corte para trébol blanco

| F. de V. | G.L. | 30/9/82 | | 18/11/82 | |
|-------------|------|---------|-----------|----------|-----------|
| | | S.C. | F. | S.C. | F. |
| Bloque | 2 | 0.00532 | 2.8 N.S. | 0.00628 | 5.1 ** |
| Tratamiento | 4 | 0.07716 | 20.5 *** | 0.0128 | 5.2 ** |
| Lineal | 1 | 0.073 | 21.5 *** | 0.011 | 17.8 *** |
| Cuadrática | 1 | 0.00416 | 0.23 N.S. | 0.0006 | 0.99 N.S. |
| Error | 8 | 0.00702 | | 0.00492 | |

Cuadro N° 46. Análisis de varianza, porcentaje de fósforo foliar por corte para trébol rojo

| F. de V. | G.L. | 30/9/82 | | 18/11/82 | | 6/4/83 | |
|-------------|------|---------|--------|-----------|---------|---------|---------|
| | | S.C. | F. | S.C. | F. | S.C. | F. |
| Bloque | 2 | 0.00822 | 4.8 ** | 0.01876 | 2.06 NS | 0.005 | 3.47 ** |
| Tratamiento | 4 | 0.0101 | 2.95 * | 0.011427 | 0.62 NS | 0.0024 | 0.8 NS |
| Error | 8 | 0.00684 | | 0.0363734 | | 0.00577 | |

Cuadro N° 47. Análisis de varianza, porcentaje de fósforo foliar por corte para lotus

| F. de V. | G.L. | 30/9/82 | | 18/11/82 | | 6/4/83 | |
|-------------|------|---------|--------|----------|---------|---------|----------|
| | | S.C. | F. | S.C. | F. | S.C. | F. |
| Bloque | 2 | 0.00514 | 2.6 NS | 0.00784 | 6.2 ** | 0.00018 | 1.13 NS |
| Tratamiento | 4 | 0.0065 | 1.7 NS | 0.00713 | 2.83 NS | 0.0055 | 17.2 *** |
| Error | 8 | 0.00786 | | 0.00503 | | 0.00062 | |

Cuadro N° 48. Análisis de varianza del análisis conjunto para Materia Seca total (kg/ha)

| F. de V. | G.L. | S.C. | F. |
|--|------|----------|-----------|
| Parcelas: especie x sub-parcelas fósforo | 44 | 8760500 | |
| Parcelas de especies | 8 | 26030383 | |
| Bloques | 2 | 7266792 | 8.5 ** |
| Especie | 2 | 17053806 | 19.9 *** |
| Error (a) | 4 | 1709785 | |
| Niveles de fósforo | 4 | 5156747 | 0.57 N.S. |
| Especies x niveles de fósfo. | 8 | 2479829 | 0.14 N.S. |
| Error (b) | 24 | 53938041 | |

Cuadro N° 49. Análisis de varianza del análisis conjunto para fósforo absorbido total (kg/ha)

| <u>F. de V.</u> | <u>G.L.</u> | <u>S.C.</u> | <u>F.</u> |
|---|-------------|-------------|-----------|
| Parcelas: especie x subparcelas fósforo | 44 | 505.8 | |
| Parcelas de especies | 8 | 213.8 | |
| Bloques | 2 | 94.6 | 6.2 * |
| Especie | 2 | 88.6 | 5.79 * |
| Error (a) | 4 | 30.6 | |
| Niveles de fósforo | 4 | 163.8 | 13.65 *** |
| Especie x niveles de fósforo | 8 | 56.1 | 2.3 |
| Error (b) | 24 | 72.1 | |

Cuadro N° 50. Precipitaciones (meteorología). Depto. de Canelones.
Localidad: Santa Lucía (part.). Estac.: N° 2785 B
Margato. Marzo 1982 - Febrero 1983

| <u>Día</u> | <u>Mar.</u> | <u>Abr.</u> | <u>May.</u> | <u>Jun.</u> | <u>Jul.</u> | <u>Agos.</u> | <u>Set.</u> | <u>Oct.</u> | <u>Nov.</u> | <u>Dic.</u> | <u>Ene.</u> | <u>Feb.</u> |
|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1 | - | - | - | - | - | - | - | - | 35.0 | - | 5.2 | - |
| 2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 3 | - | 2.5 | - | 37.0 | - | - | - | - | 3.0 | - | - | - |
| 4 | - | - | - | 3.0 | - | - | 10.0 | - | - | - | - | - |
| 5 | - | - | - | - | 8.5 | 15.0 | - | - | - | - | - | - |
| 6 | - | - | - | - | 1.0 | - | - | - | - | 1.5 | - | - |
| 7 | - | - | - | - | - | - | - | - | 2.5 | - | - | - |
| 8 | - | - | 2.5 | 53.0 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 9 | 5.5 | - | 72.0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

// sigue...

(continuación Cuadro N° 50)

| Día | Mar. | Abr. | May. | Jun. | Jul. | Agos. | Set. | Oct. | Nov. | Dic. | Ene. | Feb. |
|------------------|------|------|-------|------|-------|-------|------|------|------|------|-------|-------|
| 10 | - | - | - | 15.0 | - | - | 11.0 | - | - | - | - | - |
| 11 | - | - | - | 12.0 | - | - | - | 12.0 | - | 4.5 | - | - |
| 12 | - | - | 3.5 | 2.5 | 1.5 | - | 5.5 | 6.5 | - | - | - | - |
| 13 | - | 4.5 | 52.0 | - | - | 5.0 | - | - | - | 9.5 | - | 1.0 |
| 14 | - | - | - | 8.5 | 6.5 | - | - | - | - | - | 1.5 | 2.0 |
| 15 | - | - | - | - | - | - | 4.5 | - | - | - | - | 9.5 |
| 16 | - | - | - | - | 8.5 | - | 32.0 | - | - | - | - | - |
| 17 | - | - | 50.5 | - | - | - | 4 | 31.5 | 4 | 4 | - | - |
| 18 | - | - | - | 45.0 | - | - | 1.5 | - | - | - | - | - |
| 19 | - | 10.5 | - | 3.5 | - | - | - | - | - | - | 3.5 | - |
| 20 | - | 1.5 | - | - | 53.0 | - | - | - | - | - | - | 82.0 |
| 21 | - | - | - | 2.5 | 2.0 | - | - | - | - | - | - | - |
| 22 | - | - | - | - | 1.5 | - | - | - | - | - | - | - |
| 23 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 14.8 |
| 24 | - | - | - | - | - | 25.0 | - | - | - | - | - | - |
| 25 | - | - | - | 1.5 | - | 10.5 | - | - | - | - | 12.5 | - |
| 26 | 37.5 | - | - | - | 16.5 | - | - | - | - | - | - | - |
| 27 | - | - | - | 6.5 | 13.5 | - | - | - | 2.5 | 3.5 | - | - |
| 28 | - | - | - | - | - | 35.0 | - | - | 3.0 | - | - | - |
| 29 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 16.5 | 86.0 | - |
| 30 | - | - | - | - | - | - | - | - | 3.5 | 3.5 | - | - |
| 31 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Suma | 43 | 19 | 180.5 | 190 | 112.5 | 90.5 | 64.5 | 50.0 | 49.6 | 39.0 | 108.7 | 109.3 |
| Días | 2 | 4 | 5 | 12 | 10 | 5 | 6 | 3 | 6 | 6 | 5 | 5 |
| Máxim. diaria | 37.5 | 10.5 | 72.0 | 53.0 | 53.0 | 35.0 | 32 | 31.5 | 35.0 | 16.5 | 86.0 | 82.0 |
| día de máxima | 2 | 19 | 9 | 7 | 20 | 28 | 16 | 17 | 1 | 29 | 29 | 20 |

VII. BIBLIOGRAFIA

1. ABBOTT, L.K. and ROBSON, A.D. Infectivity and effectiveness of vesicular arbuscular mycorrhizal fungi. Effect of inoculum type. Australian Journal of Agricultural Research 32:631-639. 1981.
2. AGUILAR, S.A. and DIEST, A. VAN. Rock-phosphate mobilization induced by the alkaline uptake pattern of legumes utilizing symbiotically fixed nitrogen. Plant and Soil 61:27-42. 1981.
3. ANDREWS, C.S. A kinetic study of phosphate absorption by excised roots of Stylosanthes hymnilis, Phaseolus lathyroides, Desmodium uncinatum, Medicago sativa, and Hordeum vulgare. Australian Journal of Agricultural Research 17:611-624. 1966.
4. _____. and JOHANSEN, C. Differences between pasture species in their requirements for nitrogen and phosphorus. In Wilson, J.R., ed. Plant relation in pastures. East Melbourne, Australia, CSIRO, 1978. pp.111-127.
5. ASHER, C.J. and LONERAGAN, J.K. Response of plants to phosphate concentration in solution culture; growth and phosphorus content. Soil Science 103:225-233. 1967.
6. _____. and OZANNE, P.G. The cation exchange capacity of plant roots and its relationship to the uptake of insoluble nutrients. Australian Journal of Agricultural Research 12:755-766. 1961.

7. BAETHGEN, W.E. y BOZZANO, A.S. Efecto comparativo de la fertilización inicial y las refertilizaciones en alfalfa y trébol blanco. In Uruguay. Centro de Investigaciones Agrícolas Alberto Boerger. Fertilización de Pasturas. La Estanzuela, 1981. p. irr. (Miscelánea N° 37).
8. BARBER, S.A., WALKER, J.M. and VASEY, E.H. Mechanisms for the movement of plant nutrients from the soil and fertilizer to the plant root. *Journal of Agriculture and Food Chemistry* 11(3):204-207. 1963. (Original no consultado; compendiado en *Herbage Abstracts* 33(4): 1946. 1963).
9. BARLEY, K.P. The configuration of the root system and nutrient uptake. *Advances in Agronomy* 22:159-201. 1970.
10. BIELESKI, R.L. Phosphate pools, phosphate transport, and phosphate availability. *Annual Review of Plant Physiology* 24:225-252. 1973.
11. BOULD, C. and HEWITT, E.J. Mineral nutrition of plants in soils and in culture media. In Steward, F.C., ed. *Plant physiology; a treatise*. New York, Academic Press, 1963. v.3 pp.15-96.
12. BOWLING, D.J.F. and DUNLOP, J. Uptake of phosphate by white clover. 1. Evidence for an electrogenic phosphate pump. *Journal of Experimental Botany* 29(112):1139-1146. 1978. (Original no consultado; compendiado en *Herbage Abstracts* 49(11):4573. 1979).

13. BREWSTER, J.L. and TINKER, P.B.H. Nutrient flow rates into roots. *Soils and Fertilizers* 35(4):355-359. 1972.
14. BROCK, J.L. Growth and nitrogen fixation of pure stands of three pasture legumes with high/low phosphate. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 16:483-491. 1973.
15. BROWN, J.C. Interactions involving nutrient elements. *Annual Review of Plant Physiology* 14:96. 1963.
16. CARADUS, J.R. Distinguishing between grass and legume species for efficiency of phosphorus use. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 23(1): 75-81. 1980.
17. _____. Effect of root hair length on white clover growth over a range of soil phosphorus levels. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 24(3/4): 353-358. 1981.
18. CARAMBULA, M. Producción y manejo de pasturas sembradas. Montevideo, Hemisferio Sur, 1977. 464p.
19. _____. Producción de pasturas. In Uruguay. Centro de Investigaciones Agrícolas Alberto Boerger. Pasturas IV. Montevideo, 1978. pp.5-7 (Miscelánea no. 18).

20. CASANOVA, O.N. y MALLARINO, A. Efecto residual del encalado, la fertilización fosfatada y la refertilización en trébol blanco. In Reunión Técnica de la Facultad de Agronomía, 3a., Montevideo, 1980. Trabajos presentados. Montevideo, 1980. p.90.
21. CASTRO, J.L., ZAMUA, E.M. de y OUDRI, N. Guía para fertilización de pasturas. Revista de la Asociación de Ingenieros Agrónomos del Uruguay. (2a. época) no. 11: 3-10. 1978.
22. CHILIBROSTE, J.I., MALLARINO, J.L. y PISON, P. Evaluación de los requerimientos de fósforo en la instalación de leguminosas forrajeras. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía, 1982. 83 p.
23. CLARKSON, D. and HANSON, J. The mineral nutrition of hither plants. Annual Review of Plant Physiology 31: 239-298. 1980.
24. CRUSH, J.R. Endomycorrhizas and legume growth in some soils of the Mackenzie Basin, Canterbury. New Zealand. New Zealand Journal of Agricultural Research 19(4):473-476. 1976.
25. DEVIS, M.R. Growth and nutrition of legumes on a high country yellow-brown earth subsoil. I. Phosphate response of Lotus, Trifolium lupinus, Astragalus, and Coronilla species and cultivars. New Zealand Journal of Agricultural Research 24 (3/4):321-332. 1981.

26. DUELL, R.W. Fertilizer seed placement with Birdsfoot trifoil (*Lotus corniculatus* L.) and alfalfa (*Medicago sa*tiva). *Agronomy Journal* 56:503-505. 1964.
27. EDWARDS, D.G. The mecanismo of phosphate absorption by plant roots. In International Congress of Soil Science, 9th., Adelaide, 1968. Transactions. Adelaide, International Society of Soil Science. 1968. pp.183-190.
28. GACHON, L. The usefulness of a good level of soil phosphate reserves. *Phosphorus in Agriculture* 31(70):25-30. 1977.
29. GERDEMANN, J.W. Vesicular-arbuscular Mycorrhizea. In Cabot Symposium, 3th., Petersham , Mess., 1974. The development and function of roots. London, Academic Press, 1975. pp 575-589.
30. GERLOFF, G.C. Comparative mineral nutrition of plants. *Annual Review of Plant Physiology* 14:107-124...1963.
31. GERVAIS, P., DIONNE, J.L. and RICHARDSON, W.S. Influence du phosphate et de la potasse sur l'etablissement, le rendement et la composition chimique du lotier cultivé sur deux types de sol. *Canadian Journal of Plant Science* 43:97-106. 1963.
32. GRAEME, J.B. and SANTOS CORDERO. The phosphorus efficiency of three annual legumes. *Plant and Soil* 50:387-398. 1978.

33. HAY, M.J.M. and DUNLOP, J. Phosphate absorption by white clover stolons in pasture. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 25:211-216. 1982.
34. HODGES, T.K. Ion absorption by plant roots. *Advances in Agronomy* 25:163-202. 1973.
35. HOLFORD, I.C.R. and GLEESON, A.C. White clover responses to phosphorus and sulfur on granitic soils. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 16:234-239. 1976.
36. HUNT, I.V., FRAME, J. and HARKEES, R.D. Removal of mineral nutrients by red clover varieties. *Journal of the British Grassland Society* 31:171-179. 1976.
37. ISRAEL, D.W. and JACKSON, W.A. The influence of nitrogen nutrition on ion uptake and translocation by leguminous plants. In Andrews, C.S. and Kamprath, E.A., eds. Mineral nutrition of legumes in tropical and subtropical soils. East Melbourne, Victoria, Australia, CSIRO, 1973. pp. 113-129. (Original no consultado; compendiado en *Herbage Abstracts* 49(9):3899. 1979).
38. JACQUES, R.M. Phosphorus uptake from insoluble soil sources by five forage legumes, winter wheat, and buckheat. *Disertation Abstracts International*, B, 40(1):21. 1979. (Original no consultado; compendiado en *Herbage Abstracts* 52(2):785. 1982).

39. JONES, R.K. A study of the phosphorus responses of a wide range of accessions from the genus *Stylosanthes*. Australian Journal of Agricultural Research 25:847-862. 1974.
40. JONES, M.B., LAWLER, P.W. and RUCKMAN, J.E. Critical levels of P in subclover (*Trifolium subterraneum* L.). Agronomy Journal 64:695-698. 1972.
41. LAMBA, P.S., AHGREN, H.L. and MUCKENHIRN, R.J. Root growth of alfalfa, medium red clover, bromus-grass and timoty under various soil conditions. Agronomy Journal 41: 451-458. 1949.
42. LAMBERT, D.H. and COLE, H. Effects of mycorrhizae on establishment and performance of forage species in mine spoil. Agronomy Journal 72(2):257-260. 1980.
43. LAWTON, K., TESAR, M.G. and KAWIN, B. Effect of rate and placement of superphosphate on the yield and phosphorus absorption of legume hay. Soil Science Society of American Proceedings 18:428-432. 1954.
44. LEGGETT, J.E. Salt absorption by plants. Annual Review of Plant Physiology 19:335, 343. 1968.
45. LITTLE, T.M. y HILLS, F.J. Métodos estadísticos para la investigación en la agricultura. México, Trillas, 1976. 270 p.

46. LLOYD JENKINS, W. The yield and uptake of phosphorus by grasses and clovers; effect of species variety and stage of growth. Journal of the British Grassland Society 17(3):198-205. 1961.
47. LONERAGAN, J.F. Nutrient concentration, nutrient flux and plant growth. In International Congress of Soil Science, 9th., Adelaide, 1968. Transactions. Adelaide. International Society of Soil Science, 1968. pp.173-182.
48. LOPES, E.S. and SIQUEIRA, J.O. Vesicular-arbuscular mycorrhizas; their potential in phosphate nutrition in tropical regions. In Symposium on the Soil/Root System, Londrina, Paraná, 1980. The soil/root system in relation to brazilian agriculture. Londrina, Fundacao Instituto Agronomico do Paraná, 1981. pp.225-242.
49. Mc LACHAN, K.D. Comparative phosphorus responses in plant to a range of available phosphorus situations. Australian Journal of Agricultural Research 27(3):323-341. 1976.
50. _____. Acid phosphatase activity of intact roots and phosphorus nutrition in plants. I. Assay conditions and phosphate activity. Australian Journal of Agricultural Research 31:429-440. 1980.

51. Mc NAUGHT, K.J. Diagnosis of mineral deficiencies in grass legume pastures by plant analysis. In International Grassland Congress, 11th., Surfers Paradise, Australia, 1970. Proceedings. Surfer's Paradise. 1970. p.irr.
52. _____ and DURING, C. Relations between nutrient concentration in plant tissues and responses of white clover of fertilizers on a gley podzol near wesport. New Zealand Journal of Agricultural Research 13:567-590. 1970.
53. MALLARINO, A., ZAMALVIDE, J.P. y CASANOVA, O.N. Encalado y fertilización fosfatada de alfalfa. In Reunión Técnica de la Facultad de Agronomía, 1a., Montevideo, 1978. Trabajos presentados. Montevideo, 1978. v.2.
54. _____. Estimation of the phosphorus requirements for alfalfa-grass and red cararygrass pastures under two grazing intensities. M.Sc. Thesis. Ames, Iowa State University, 1981. 104 p.
55. MARTIN, E.W. and MATOCHA, J.E. Plant analysis as an aid in the fertilization of forage crops. In Walsh, L. W. and Beaton, J.D., eds. Soil testing and plant analysis. Madison, Wis., Soil Science Society of America, 1973. pp.393-425.

56. MAYS, D.A., WILKINSON, S.R. and COLE, C.V. Phosphorus nutrition of forage. In Symposium on the Role of Phosphorus in Agriculture, Muscle Shoals, Ala., 1980. The role of phosphorus in agriculture. Madison, Wis., ASA, 1980. pp.805-846.
57. MENDOZA, R.E. Eficiencia en la utilización de fósforo de tres leguminosas forrajeras. *Phyton* (Argentina) 41(1/2):33-44. 1981. (Original no consultado; compendiado en *Herbage Abstracts* 52(10):5103. 1982).
58. NEWMAN, E.I. and MILLER, M.H. Allelopathy among some british grassland species. 2. Influence of root exu dates on phosphorus uptake. *Journal of Ecology* 65(2): 399-411. 1977. (Original no consultado; compendiado en *Herbage Abstracts* 48(1):325. 1978).
59. NIELSEN, N.E. A transport kinetic concept of ion uptake from soil by plants. II. The concept and some theoretic considerations. *Plant and Soil* 37:561-576. 1972.
60. NOORDWIJK, M. VAN and WILLIGEN, P. Calculations of the root density required for growth in soils of different P-status. In Harley, J.L. and Scott Russell, R., eds. *The soil-root interface*. London, Academic Press, 1979. pp.381-390. (Original no consultado; compendiado en *Herbage Abstracts* 50(8):3477. 1980).
61. NYE, P.H. The relation between the radius of a root and its nutriente - absorbing power (α). Some theoretical considerations. *Journal of Experimental Botany* 24(82): 783-786. 1979. (Original no consultado; compendiado en *Herbage Abstracts* 49(7):3576. 1979)

62. OZANNE, P.G. and SHAW, T.C. Phosphate sorption by soils as a measure of the phosphate requirement for pasture growth. Australian Journal of Agricultural Research 18:601-612. 1967.
63. POWELL, C.L. and SITHAMPARANATHAN, J. Mycorrhizas in hill country soils. 4. Infection rate in grass and legume species by indigenous mycorrhizal fungi under field conditions. New Zealand Journal of Agricultural Research 20(4):489-494. 1977.
64. _____ . et al. Phosphate response curves of mycorrhizal and non-mycorrhizal plants. II. Responses to rock phosphates. New Zealand Journal of Agricultural Research 23(4):477-482. 1980.
65. REID, R.L., POST, J. and JUNG, G.A. Mineral composition of forages. West Virginia Agricultural Experimental Station. Bulletin no. 5891. 1970.
66. ROBSON, A.D., EDWARDS, D.G. and LONERAGAN, J.F. Calcium stimulation of phosphate absorption by annual legumes. Australian Journal of Agricultural Research 21(4):601-612. 1970.
67. ROVIRA, A.D. and BOWEN, G.D. Anion uptake by plant roots: distribution of anions and effects of microorganismos. In International Congress of Soil Science, 9th., Adelaide, 1968. Transactions, Adelaide, International Society of Soil Science, 1968. pp.209-217.

68. ROVIRA, A.D., Microbiology of pasture soils and some effects of microorganisms on pasture plants. In Wilson, J.R. ed. Plant relations in pasture. East Melbourne, Australia, CSIRO, 1978. pp.95-110.
69. SCOTT, R.S. The phosphate nutrition of white clover. Proceedings of the New Zealand Grassland Association 38(1):151-159. 1977. (Original no consultado; compendiado en Herbage Abstracts 47(12):4382. 1977).
70. SEANEY, R.R. and HENSON, P.R. Birdsfoot trefoil. Advances in Agronomy 22:120-157. 1970.
71. SMITH, D. Forage management in the North. 3ed. Dubuque, Iowa, Kendall-Hunt, 1978. 237 p.
72. SOUNDERS, W.M.H. and METSON, A.J. Seasonal variation of phosphorus in soil and pastures. New Zealand Journal of Agricultural Research 14:307-328. 1970.
73. SPENCER, K., GOVAARS, A.G. and HELY, F.W. Early phosphorus nutrition of eight forms of two clover species, *Trifolium ambiguum* and *T.repens*. New Zealand Journal of Agricultural Research 23(4):457-475. 1980.
74. STANFORD, G. et al. The effectiveness of superphosphate topdressed on established meadows. Agronomy Journal 42:423. 1950.
75. SUTCLIFFE, J.F. Mineral salts absorption in plants. Oxford, Pergamon Press, 1962. 194 p.

76. SWABY, R.J. and SHERBER, J. Phosphate dissolving micro-organism in the rhizosphere of legumes. In Halls-worth, E.G. ed. Nutrition of the legumes. London, Butterworths, 1958. pp.289-294.
77. TESU, V. Mode of growth of the system in *Agropyron cris-tatum*, *Festuca pratensis*, *Trifolium pratense* and *Lo-tus corniculatus*. Lucraru Stuntifice Institutul Agro-nomic "Ion Ionescu de la Brad", Iasi, 1. 1969. pp. 251-262. (Original no consultado; compendiado en *Herbage Abstracts* 42(4):3025. 1972).
78. TINKER, P.B. Root distribution and nutrient uptake. In Symposium on the Soil/Root System, Londrina, Paraná, 1980. The soil/root system in relation to brazilian agriculture. Londrina, Fundacao Instituto Agronomi-co do Paraná, 1981. pp.115-136.
79. TISDALE, S.L. and NELSON, W.L. Soil fertility and ferti-lizers. 3ed. New York, Macmillan, 1975. 694 p.
80. TOXOPEUS, M.R.J. Advances in pumice land development. Proceedings of the New Zealand Grassland Association 33:60-67. 1971.
81. UENO, M. and DORRINGTON WILLIAMS, R. Absorption of radio-active phosphorus from tap and nodal roots of white clover (*Trifolium repens* L.). *Journal of the British Grassland Society* 22(3):165-169. 1967.

82. UPCHURCH, R.P. and LOUVORN, R.L. Grass morphological root habits of alfalfa in North Carolina. *Agronomy Journal* 43:493. 1951.
83. VOSE, P.B. Varietal differences in plant nutrition. *Herbage Abstracts* 33(1):1-12. 1963.
84. WAKEFIELD, R.C. Ladino clover; its yields and persistence. *Better Crops with Plant Food* 41(4):34-40. 1957.
85. WHITE, R.E. Studies on mineral ion absorption by plants. I. The absorption and utilization of phosphate by *Stylosanthes hymilis*, *Phaseolus atropurpureus* and *Desmodium intortum*. *Plant and Soil* 36:427-447. 1972.
86. _____. Studies on mineral ion absorption by plants. II. The interaction between metabolic activity and the rate of phosphorus uptake. *Plant and Soil* 38: 509-523. 1973.
87. WILKINSON, S.R. and CROSS, C.F. Macro and micro nutrients distribution within ladino clover. *Agronomy Journal* 59(4):372-374. 1967.
88. WILLIAMS, R.D. The internal distribution of nutrients and assimilates. Grassland Research Institute. *Experimental Progress* no. 17. 1965. pp.41-42. (Original no consultado; compendiado en *Herbage Abstracts* 35(4):1984. 1965).

89. WILSON, A.T. and WATKINSON, J.H. Availability of nutrients to plant. In International Congress of Soil Science 9th., Adelaide, 1968. Transactions. Adelaide, International Society of Soil Science, 1968. pp.805-812.
90. ZOBEL, R.W. The genetics of root development. In Cabot Symposium, 3th., Petersem, Mass, 1974. The development and function of roots. London, Academic Press, 1975. pp.261-274.