

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

RESPUESTA EN PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE FORRAJE  
AL AGREGADO DE FÓSFORO EN LA IMPLANTACIÓN DE  
PASTURAS SOBRE RASTROJOS DE ARROZ

por

Guillermo CUBAS NORANDO  
Diego FERREIRA DA ROSA

TESIS presentada como uno de  
los requisitos para obtener el  
título de Ingeniero Agrónomo

MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2005

Tesis aprobada por:

Director:

---

Ing. Agr. M. Sc. Jorge Hernández

---

Ing. Agr. Omar Casanova

---

Ing. Agr. M. Phil. Raúl Bermúdez

Fecha:

Autor:

---

Guillermo Cubas Norando

---

Diego Ferreira Da Rosa

## AGRADECIMIENTOS

A los Ing. Agr. Jorge Hernández y Andrés Berger, por su tiempo, dedicación y orientación brindada en este trabajo y en nuestra formación humana y profesional.

Al Departamento de Suelos y Aguas de la Facultad de Agronomía de la Universidad de la República del Uruguay por permitir la realización de este trabajo, y especialmente a los integrantes de la cátedra de Fertilidad por la constante colaboración.

A los señores responsables de los establecimientos en donde se realizaron los experimentos del presente trabajo.

Al personal de los laboratorios de Análisis Foliar y Análisis de Suelos de la Facultad de Agronomía, por su constante colaboración y apoyo en la realización de este trabajo.

A nuestros jefes y compañeros de trabajo por colaborar y apoyar nuestra actividad estudiantil.

A nuestras familias, porque esto no hubiera sido posible sin ellos.

## TABLA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro 1a- Información sobre los sitios experimentales.....	39
Cuadro 1b- Descripción de manejo de los sitios experimentales.....	40
Cuadro 2 a: Precipitación por sitio, año 2001.....	40
Cuadro 2 b: Precipitación por sitio, año 2002.....	41
Cuadro 3- Porcentaje de leguminosa de la pastura por corte y por sitio, año 2001.....	42
Cuadro 4. Producción de Materia seca total (leguminosa + gramínea) por sitio, año 2001.....	44
Cuadro 5- Producción de Materia seca de leguminosas por sitio, año 2001.....	46
Cuadro 6- Materia seca total (leguminosa + gramínea) por corte y por sitio, año 2001.....	48
Cuadro 7- Materia seca de leguminosa por corte y por sitio, año 2001.....	50
Cuadro 8- Materia seca total del período por sitio, año 2002.....	51
Cuadro 9 a)- Materia seca total por sitio, primer corte año 2002.....	53
Cuadro 9 b)- Materia seca total por sitio, segundo corte año 2002.....	53
Cuadro 10- Porcentaje de nitrógeno en Leguminosa por corte por sitio, año 2001.....	55
Cuadro 11- Porcentaje de nitrógeno en Leguminosa por corte por sitio, año 2002.....	57
Cuadro 12- Porcentaje de P en Leguminosa por corte por sitio, año 2001.....	58
Cuadro 13- Porcentaje de P en Leguminosa por corte por sitio, año 2002.....	60
Cuadro 14- Porcentaje de nitrógeno en Gramínea por corte por sitio, año .....	62

Cuadro 15- Porcentaje de P en Gramínea por corte por sitio, año 2001.....	63
Cuadro 16- Relaciones cuantitativas entre materia seca total de leguminosa y dosis de P para cada sitio, año 2001.....	64
Cuadro 17- Análisis de regresión lineal materia seca leguminosa para cada sitio por corte, año 2001.....	65
Cuadro 18- Análisis de regresión lineal materia seca leguminosa para cada sitio, año 2002.....	66
Cuadro 19- Análisis de regresión lineal materia seca leguminosa para cada sitio por corte, año 2002.....	68
Cuadro 20. Valores promedio, desvíos, máximos y mínimos de P extraído por los diferentes métodos evaluados para los 14 sitios.....	70
Cuadro 21-Matriz de correlaciones entre los distintos métodos de análisis de suelo utilizados.....	71
Cuadro 22- Correlaciones entre los índices de disponibilidad de P evaluados y los índices de asimilabilidad, basados en parámetros de rendimiento y absorción de P.....	73
Figura 1- Relaciones entre el P extraído post incubación de 3 y 7 días y el parámetro b de las regresiones entre rendimiento y dosis de P.....	75
Figura 2. Relaciones entre el P extraído post incubación de 3 y 7 días y el porcentaje de P en el forraje.....	76

## TABLA DE CONTENIDOS

	Página
PÁGINA DE APROBACIÓN-----	2
AGRADECIMIENTOS-----	3
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES-----	4
1 INTRODUCCIÓN.....	8
2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	10
2.1 EL FÓSFORO EN EL SUELO.....	10
2.1.1 Formas del fósforo en el suelo.....	10
2.1.2 Reacciones generales de fijación del fosfato inorgánico en el suelo.....	12
2.1.3 Efecto de la inundación en la transformación del fósforo y su disponibilidad.....	14
2.1.4 Transformación del fósforo bajo la alternancia de períodos de humedecimiento y secado del suelo.....	16
2.2 NUTRICIÓN FOSFATADA DE LEGUMINOSAS FORRAJERAS.....	19
2.3 IMPORTANCIA DEL SISTEMA RADICULAR EN EL DESARROLLO DE LAS PASTURAS.....	19
2.4 IMPORTANCIA DEL FÓSFORO EN LA IMPLANTACIÓN.....	21
2.5 CONTENIDO DE FÓSFORO EN LAS PASTURAS.....	22
2.5.1 Niveles críticos:.....	24
2.6 RESPUESTA DEL AGREGADO DE FÓSFORO EN LA PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA.....	26
2.7 CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN DE PASTURAS EN SUELOS ARROCEROS.....	29
2.7.1 Características generales de los suelos arroceros de la zona este de Uruguay.....	29

2.7.2	Influencia del rastrojo de arroz y la rugosidad de superficie en la implantación de leguminosas.....	32
3	MATERIALES Y METODOS.....	36
3.1	DETERMINACIONES ANALÍTICAS REALIZADAS.....	37
3.2	MÉTODOS PARA ESTIMAR LA DISPONIBILIDAD DE FÓSFORO EN SUELO.....	37
3.3	DETERMINACIÓN DE FÓSFORO EN PLANTA.....	39
3.4	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	39
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
4.1	MATERIA SECA PRODUCIDA.....	42
4.1.1	Experimentos año 2001.....	42
4.1.2	Experimentos 2002.....	51
4.2	CONTENIDO DE NUTRIENTES EN EL FORRAJE.....	55
4.2.1	Fracción Leguminosa.....	55
4.3	RELACIONES CUANTITATIVAS ENTRE MATERIA SECA DE LEGUMINOSA Y DOSIS DE P.....	63
4.4	RELACIONES ENTRE ÍNDICES DE DISPONIBILIDAD DE P EN EL SUELO Y PARÁMETROS DE RENDIMIENTO.....	69
5	CONCLUSIONES.....	77
6	RESUMEN.....	80
7	SUMMARY.....	82

# 1 INTRODUCCIÓN

El cultivo de arroz es uno de los cultivos de verano de mayor importancia en el país, ocupando un área de siembra cercana a las 200.000 hectáreas, principalmente en las zonas este y norte del país. Tradicionalmente ha sido realizado como monocultivo, aunque en los últimos años, debido a los menores precios del cereal -los cuales han afectado su rentabilidad- se ha buscado la diversificación del rubro por parte de los productores, aumentando la importancia de la ganadería dentro de la región. Esto se ha traducido en un aumento del área del cultivo realizada en rotación con pasturas, del orden de un 32% para la zafra 2000/2001 (DIEA-MGAP Encuesta Arrocería 2000-2001).

Si bien existen tecnologías probadas en el país para la siembra de pasturas sobre rastrojos de arroz, desarrolladas principalmente por los productores e INIA, ha sido poco ajustado el sistema de fertilización utilizado en las pasturas, lo que es una de las claves para su correcta implantación. La práctica habitual es no fertilizar la pastura y aprovechar la residualidad del fósforo proveniente de la fertilización realizada en la siembra del cultivo de arroz. No obstante, es importante tener en cuenta dos aspectos:

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

b) la baja respuesta al fósforo del cultivo de arroz, dados sus menores requerimientos en relación con las leguminosas de las pasturas, y a las particularidades del aumento en la disponibilidad del nutriente bajo las

condiciones de inundación del cultivo. Esto ha llevado, por otra parte, a que las dosis aplicadas al cultivo se estén reduciendo (Hernández y Berger, com. pers.).

Existe información experimental abundante en cuanto a respuesta a fósforo en pasturas con leguminosas en suelos mejor drenados de otras zonas del país (Bordoli, 1998). Sin embargo, la extrapolación de esta información a suelos arroceros es dudosa, ya que se trata de situaciones con diferencias bastante contrastantes desde el punto de vista del tipo de suelo, contenido de humedad a lo largo del año y propiedades de retención de fósforo. Por otra parte, la información generada en cuanto a respuesta al agregado de fósforo en pasturas instaladas sobre rastrojos de arroz es muy escasa.

Los objetivos del presente trabajo fueron: a) cuantificar la magnitud de la respuesta al agregado de fósforo en producción y calidad de forraje de pasturas instaladas sobre rastrojos de arroz, en suelos con historia variable de fertilización, y b) evaluar el poder predictivo de métodos de análisis de fósforo disponible en el suelo para estas situaciones.

## 2 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 EL FÓSFORO EN EL SUELO

#### 2.1.1 Formas del fósforo en el suelo

El fósforo en el suelo se encuentra en forma orgánica e inorgánica. Aproximadamente la mitad o más del fósforo en suelos bajo campo natural sin fertilizar del Uruguay puede estar en forma orgánica (Hernández, 1994).

Según Ferrando y Mercado (1997), la mayor parte del fósforo orgánico se encuentra en formas desconocidas. Dentro de las formas conocidas, se clasifican en 5 clases de compuestos:

- Inositol fosfatos
- Fosfolípidos
- Ácidos nucleicos
- Nucleótidos
- Azúcares fosfatados

La mayoría de los fosfatos de inositol son producto de la actividad microbiana y de la degradación de residuos de plantas. Forman complejos fuertes con las proteínas, pudiendo formar también sales insolubles con Hierro (Fe) y Aluminio (Al) en suelos ácidos, y Calcio (Ca) en suelos calcáreos.

Los fosfolípidos son insolubles en agua, pero son rápidamente utilizados y sintetizados por los microorganismos, por lo que su contenido es bajo. Los ácidos nucleicos ocurren en todas las células vivas, y su presencia en el suelo se explica por la descomposición de residuos por los microorganismos del suelo

(Hernández, 1994). El remanente de los compuestos orgánicos se piensa que pueden ser originados a partir de los microorganismos, especialmente de las paredes celulares de las bacterias (Tisdale et al., 1993, citado por Hernández, 1994).

Las formas orgánicas no se encuentran disponibles directamente para las plantas, siendo las inorgánicas la vía de suministro de este nutriente.

El P inorgánico se encuentra (según Ponnampereuma, 1972), de las siguientes formas:

- Fosfatos de Aluminio y de Hierro
- Fosfatos adsorbidos o coprecipitados con óxidos hidratados de Hierro y Magnesio
- Fosfatos retenidos por cationes del complejo de intercambio de arcillas y óxidos hidratados
- Fosfatos de Calcio

La solubilidad en agua de los compuestos inorgánicos de P varía desde poco a muy poco solubles, debido a que se trata de compuestos de baja constante de solubilidad ( $K_{ps}$ ). Por lo tanto, el P en solución depende exclusivamente del P lábil del suelo, que es la parte del P inorgánico de más alta  $K_{ps}$  y que puede responder rápidamente a un descenso en la concentración de P en la solución del suelo (Hernández, 1994).

Los fosfatos asociados con Fe y Al predominan en suelos ácidos y liberan fosfatos a incrementos de pH del suelo. En suelos neutros y calcáreos predominan fosfatos de Ca que liberan fosfato con descensos de pH del suelo

(Jackson, 1964; Sturmm & Morgan, 1970, citados por Ponnampereuma, 1972). En general los fosfatos de Ca y Al, son considerados las formas más probables en el suelo antes de que la alteración química se vuelva severa. En una avanzada etapa de alteración química, el fosfato de Fe aumenta a expensas de los anteriores (Patrick Jr. & Mahapatra, 1968).

En los suelos del Uruguay, en términos generales predominan las fracciones del P ligadas al Fe (46.5% del total de las tres fracciones), en tanto que los fosfatos ligados al Al y al Ca representan proporciones menores (34.7 y 18.8% respectivamente). Estos datos son un promedio del análisis de muestras del horizonte A (primeros 15 cm) de 31 suelos (Hernández, et al., 1995).

### 2.1.2 Reacciones generales de fijación del fosfato inorgánico en el suelo

Tal como se ha mencionado, los compuestos fosfatados inorgánicos del suelo son de baja solubilidad. El agregado de un fertilizante fosfatado soluble al suelo conducirá a una alta disponibilidad de fósforo al inicio, pero a medida que transcurra el tiempo el fósforo irá reaccionado con los constituyentes del suelo para formar compuestos cada vez más insolubles.

Los factores más importantes en determinar la fijación y la disponibilidad del fosfato en el suelo, han sido descritas por Patrick Jr. & Mahapatra (1968) como:

- Tipo y cantidad de arcilla
- Cantidad y actividad del hierro, aluminio, calcio y magnesio
- pH del suelo
- Status de óxido-reducción (Eh)

Los suelos con gran contenido arcilloso tienden a fijar más fósforo que aquellos con pequeñas cantidades, al tener los primeros mayor superficie específica de reacción con el fosfato. En cuanto al tipo de arcilla, el fósforo es retenido en mayor cantidad por las del tipo 1:1 (Caolinita) en comparación con las del tipo 2:1. Esto se da probablemente por las grandes cantidades de hidróxidos de Fe y Al asociados con Caolinita; además esta arcilla desarrolla cargas pH dependientes en los bordes las que pueden entrar en las reacciones de adsorción de P (Ferrando y Mercado, 1997).

En suelos ácidos una cantidad sustancial de iones de Fe y Al están presentes en forma activa, éstos reaccionan con el fosfato formando precipitados cristalinos y amorfos. En suelos calcáreos, la fijación del fosfato puede ser explicada en gran medida por la reacción de fosfatos con iones de Ca y posiblemente con carbonatos de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ). Estas reacciones resultan en la formación de complejos compuestos de Ca de variada solubilidad (Patrick Jr. & Mahapatra, 1968).

El potencial redox (Eh) es la única propiedad electroquímica que sirve para diferenciar suelos sumergidos de los bien drenados y afecta directamente la disponibilidad de P en el suelo ya que, frente a un período de inundación ocurren reacciones de reducción de compuestos asociados al P, principalmente fosfato de hierro, lo que se traduce en una mayor solubilidad de este compuesto y en la hidrólisis de fosfato de Aluminio. Tales procesos significan un aumento en la disponibilidad de fósforo.

La disponibilidad del P en la mayoría de los suelos es máxima en un rango que oscila entre 5.5 y 6.5. Cuando aumenta el pH la actividad del Fe y el Al disminuye resultando una menor adsorción/precipitación del P y por lo tanto

una mayor concentración de éste en la solución. Por encima de pH 7 los iones de Ca causan la precipitación de P como minerales Ca-P, disminuyendo nuevamente su disponibilidad (Ferrando y Mercado, 1997).

Los óxidos de hierro presentan distinto índice de actividad dependiendo del suelo en consideración. En suelos que ocupan posiciones topográficas planas, con menores contenidos de Fe, un alto porcentaje se encuentra en formas de baja cristalinidad, lo que trae aparejado un mayor índice de actividad. Esto se explica porque son suelos donde ocurren periodos frecuentes con exceso de agua, los cuales determinan alternancias en las condiciones de oxidación-reducción, (Ferrando et al., 1998). Estas condiciones dificultan la cristalización de los óxidos de Fe, lo que determina su baja estabilidad y cristalinidad (Kämpf, 1988 citado por Ferrando et al., 1998).

La importancia de los óxidos de Fe en la fijación de P también fue probada por Hernández y Zamalvide (1998). Estos obtuvieron correlaciones altamente significativas entre el contenido de Fe presente en óxidos de los suelos con los diferentes índices de retención de fósforo. Estos autores en dicho experimento encontraron correlaciones negativas y significativas entre la eficiencia de utilización del P por la planta y los índices de retención de fósforo, es decir que a medida que aumenta el índice de retención la eficiencia de utilización es más baja.

### 2.1.3 Efecto de la inundación en la transformación del fósforo y su disponibilidad

La disponibilidad del fósforo en el suelo sumergido incrementa debido a los siguientes cambios (Gosuvami y Benergee, 1978; Ru-Ken et al., 1982; Ponnamparuma 1985; Willet, 1986,1989):

- Reducción de los compuestos de hierro

La reducción de los óxidos hidratados de hierro libres durante la inundación, la liberación de fósforo absorbido y precipitado trae como resultado un incremento en los niveles de fósforo extraíble en los suelos ácidos inundados (Willet, 1986). Willet (1989) demostró que la reducción de óxido férrico fue la fuente de fósforo dominante durante la inundación. De cualquier modo la cantidad de fósforo liberado fue fuertemente inhibida por la readsorción. Williams et al (1985) encontró que suelos que contienen apreciables cantidades de fosfato de hierro incrementaban la disponibilidad de P bajo condiciones de anaerobiosis, pero suelos sin fosfato de hierro mostraron un descenso en la disponibilidad de P.

- Altas solubilidades de fosfato de hierro y fosfato de aluminio

Esto es resultado de la hidrólisis debido al incremento del pH en suelos ácidos y fuertemente ácidos.

- Ácidos orgánicos liberados

Durante la descomposición anaeróbica de la materia orgánica bajo condiciones de suelo inundado pueden incrementar la solubilidad del fosfato de calcio (Tsutsuki y Ponnamparuma, 1987). La materia orgánica del suelo tal vez tiene un importante efecto en la reducción del férrico promoviendo la actividad

bacteriana en el suelo inundado. Willet (1986) reportó que el nivel de materia orgánica gobernó la cantidad de fósforo liberado en muchos suelos, debido a los efectos sobre la reducción del férrico. La mineralización del fósforo orgánico, sin embargo, ha sido considerada como de baja contribución en la disponibilidad de fósforo en suelos inundados (Patrick y Mahaprata, 1968; Uwasewa et al. 1988).

- Liberación de iones fosfatos por el intercambio entre aniones orgánicos e iones fosfatos de compuestos hierro-fosfato y aluminio-fosfato.
- Aumento en la solubilidad de fosfato de calcio

En suelos calcáreos el aumento en la disponibilidad de P ocurre como resultado de la disminución del pH debido a la acumulación de CO<sub>2</sub> por la descomposición de la materia orgánica (Ponnamperuma, 1985).

#### 2.1.4 Transformación del fósforo bajo la alternancia de períodos de humedecimiento y secado del suelo.

La alternancia de condiciones anaeróbicas y aeróbicas debido a la inundación y secado, causan marcadas fluctuaciones en el P soluble y extractable del suelo (Patrick y Mikkelsen, 1971).

Cuando los suelos inundados son secados, los constituyentes del suelo reducidos son reoxidados, asociados a cambios en el Eh, pH y la concentración de hierro ferroso.

El secado de un suelo siguiente de una inundación generalmente disminuye la solubilidad del fósforo nativo y el aplicado. El fósforo aplicado

antes de la inundación fue inmovilizado en mayor grado que cuando el fósforo fue aplicado después de drenar un suelo rico en carbono orgánico y hierro reducible. En suelos con menor cantidad de estos compuestos, de cualquier modo, el fósforo aplicado antes de la inundación fue inmovilizado pero el fósforo aplicado después del secado no lo fue (Willet, 1982).

Se ha mencionado que la inundación y el secado de los suelos incrementan la actividad los óxidos hidratados de hierro férrico en absorber fósforo, que resultan en un aumento de la inmovilización de fósforo después del drenaje de un suelo arrocero (Mandal y Khan, 1975; Willet, 1982, 1986; Bradley et al., 1984).

La adición de materia orgánica (Sah y Mikkelsen, 1986c, 1989) y una elevada temperatura (Sah y Mikkelsen, 1989) incrementan mucho la adsorción de fósforo en suelos drenados provenientes de alternancias de inundación-secado.

Patrick y Mahapatra (1968) sugirieron que la reducción biológica del hierro durante la inundación, seguida por la re-oxidación durante el secado, aumenta la reactividad de la fracción de sesquióxidos del suelo, consecuentemente incrementa la capacidad de fijación del fósforo, y por lo tanto decrece la solubilidad del mismo. De acuerdo con esta afirmación, los resultados sugieren que la adsorptividad del fósforo y la energía de adsorción, las cuales incrementan bajo condiciones de alternancia de inundación y secado, después de bastante tiempo declinarán cuando el suelo involucrado halla sido bien drenado (Sah y Mikkelsen, 1986f), pero no a los mismos niveles previos a la inundación (Willet y Hinggins, 1978; Sah y Mikkelsen, 1986f).

Por lo tanto la eficiencia de fertilizar cultivos después del arroz debería incrementar con el tiempo después de drenado el suelo (Willet y Hingins, 1980). Más eficiencia del fertilizante fosfatado podría ser lograda postergando la siembra del siguiente cultivo tan separado como sea posible (Willet y Hingins, 1978).

Hernández y Meurer (1998) realizaron un experimento sobre la adsorción de fósforo y su relación con las formas del Fe en 10 suelos del Uruguay, encontraron que, en la mayoría de estos suelos más de la mitad de los óxidos de Fe se encuentran en formas de baja cristalinidad. Las condiciones de formación del suelo, con periodos de alternados de reducción-oxidación, constituyen causas probables de esa alta proporción. Estos autores también probaron que existe correlación significativa entre las formas de baja cristalinidad de fósforo y la capacidad máxima de adsorción del suelo, así como también con varios índices de adsorción de fósforo.

Ferrando y Mercado (1997) realizaron un experimento con suelos arroceros del Uruguay, demostraron que la alternancia de humedecimiento y secado llevan a una mayor retención de fósforo, debido a que la reducción del suelo aumenta las cantidades de Fe de baja cristalinidad y por lo tanto el índice de actividad, disminuyendo ambos al retornar las condiciones de oxidación pero sin llegar a los valores iniciales.

En ese trabajo estos mismos autores probaron que, independientemente del momento del agregado del fertilizante fosfatado, la presencia de un periodo de reducción del suelo y posterior oxidación del mismo determina niveles más bajos de P que si el suelo es mantenido bajo condiciones permanentes de oxidación, y concluyeron que el efecto de la reducción-oxidación del suelo se

da tanto para el P nativo como el agregado, afectando también al P que se agrega previo o posterior al periodo de inundación.

## 2.2 NUTRICIÓN FOSFATADA DE LEGUMINOSAS FORRAJERAS

Los suelos de Uruguay presentan naturalmente niveles de disponibilidad de fósforo bajos, lo cual, asociado a un bajo uso del insumo fertilizante fosfatado, constituye una limitante para la producción de leguminosas. Esto se ve acentuado en suelos de zonas bajas, donde se realiza el cultivo de arroz, donde por efectos de la alternancia de humedecimiento y secado que provocan cambios en la normal dinámica del P en el suelo, las deficiencias se supone serán mayores aún.

En efecto, cultivos no regados por inundación, creciendo en rotación con arroz irrigado, han sido reportados por revelar deficiencia de fósforo (Willet et al., 1978; Willet; 1979; Brandon y Mikkelsen, 1979; Sah y Mikkelsen, 1986 a, c). La deficiencia en fósforo es más aguda que en similar suelo que no ha sido previamente inundado (Willet, 1982).

El fósforo tiene un efecto directo en el desarrollo de leguminosas aumentando la producción de materia seca e indirectamente una mayor fijación de nitrógeno por un mayor desarrollo de la planta. Esto se va a traducir en mejoras sustanciales en la dieta animal, ya sea en cantidad como en calidad de forraje.

## 2.3 IMPORTANCIA DEL SISTEMA RADICULAR EN EL DESARROLLO DE LAS PASTURAS

El normal desarrollo del sistema radicular es de vital importancia, ya que esta estructura es la responsable de la absorción y distribución del agua y de los principales nutrientes del vegetal. La utilización de la energía proveniente de las hojas en la procuración de iones inorgánicos esenciales, es la función más importante de las raíces (Hodges, 1973 citado por Garayalde y Morton, 1983).

Las leguminosas, si bien poseen un sistema radicular pivotante y ramificado, éste es de poca extensión y fibrosidad. Especies como el Trébol Rojo y la Alfalfa poseen raíces profundas, pero no se traduce en una mayor absorción de fósforo al encontrarse este último en los primeros 20-30 cm del suelo (Mays et al, 1980 citado por Chilbroste, Mallarino y Pisón, 1982).

Lo mencionado anteriormente, sumado a la escasa movilidad que posee el P en el suelo (en condiciones de suelo seco), determinan que las leguminosas forrajeras tengan dificultades de instalación en suelos pobre en P.

El área superficial de la raíz, la tasa de crecimiento de las raíces, la cantidad, fineza, tipo y largo de las raíces, se cree son factores fundamentales en la eficiencia de absorción de fosfatos por las raíces (Mc Lachlan, 1976; Vose, 1963 ; citados por Garayalde y Morton, 1983).

Keay et al (1970), citados por Chilbroste, Mallarino y Pisón (1982), compararon la tasa de absorción de P de varias pasturas anuales; encontrando que el Raigrás y el Silvergrás (*Vulpia Myuros*, L) tienen una gran habilidad para crecer en suelos con baja concentración de P, comparado con tréboles e hierbas anuales. Sin embargo, las gramíneas presentaban la menor velocidad máxima de extracción en suelos con alta concentración de P.

Chilibroste, Mallarino y Pisón (1982), en un experimento de respuesta al P realizado con distintas especies leguminosas, encontraron que el trébol blanco fue la especie que presentó porcentaje de recuperación aparente más elevado, sin embargo se observó una menor capacidad de absorber fósforo del fertilizante en las especies trébol rojo y lotus, especialmente en primavera y verano.

## 2.4 IMPORTANCIA DEL FÓSFORO EN LA IMPLANTACIÓN

Duell (1974) revisando bibliografía al respecto, encontró que en general las plántulas de las leguminosas son menos capaces de obtener P que las gramíneas a bajas concentraciones de P en el suelo. Debido a esto Carámbula (1977) indica la necesidad de proveer niveles adecuados de P en la siembra si se pretende favorecer un adecuado crecimiento de las leguminosas.

Seatz y Stamberry (1963) afirman que en el momento en que las plántulas alcanzan un 25% de su peso seco total, ya absorbieron el 75% del P total, hecho que demuestra la gran importancia de lograr niveles adecuados de P en forma disponible en las primeras etapas de crecimiento.

William et al. (1970), determinaron que las plántulas de leguminosas y de gramíneas son capaces de absorber nutrientes el quinto y sexto día respectivamente luego de la siembra, también observaron que ambas forrajeras muestran un similar comportamiento frente a los distintos nutrientes.

Sin embargo, Lloyd (1961) encontró que la extracción de P por el trébol blanco era significativamente mayor que la de raigrás perenne solo a niveles bajos de aplicación.

Wolfe y Lazemby (1973), reportaron que el agregado de superfosfato mejora el establecimiento del trébol blanco. Ellos sugieren que este fertilizante no tiene efecto sobre el proceso de la emergencia pero si en la supervivencia de las plántulas ya emergidas.

## 2.5 CONTENIDO DE FÓSFORO EN LAS PASTURAS

Es reconocida la variación en el contenido de minerales en las plantas como consecuencia de la aplicación de fertilizantes. Whitehead (1966), citado por Reid et al. (1970), planteó algunos puntos que deben ser considerados en el efecto de los tratamientos en la concentración mineral de las plantas:

- La adición de cualquier nutriente al suelo puede causar la expectativa de incrementar el nivel de nutriente en la planta, salvo que el crecimiento haya sido previamente limitado (Ej.: nutrientes, agua, radiación solar, etc.)
- Adiciones de un nutriente pueden causar efectos secundarios en la composición de la planta, por ejemplo la dilución o efectos antagónicos.
- El grado de cambio en la composición mineral de las plantas, puede ser afectado por el periodo de tiempo entre la aplicación y la cosecha o pastoreo.
- El efecto de un fertilizante dado en la absorción mineral de la planta y en su concentración, puede ser relacionado significativamente con el efecto que tiene el tratamiento sobre el pH del suelo.

Reid et al. (1970), analizaron cultivos de alfalfa y trébol rojo bien fertilizados en varios estados de crecimiento, y encontraron un gradual decrecimiento en la concentración de P con el avance de la madurez. En trébol rojo en estado vegetativo el contenido de P fue algo mayor, pero no hubo diferencias significativas con la etapa de formación de semillas.

Los porcentajes de fósforo absorbidos descienden a medida que avanza el ciclo para todas las especies, explicado por las condiciones climáticas y por el efecto “dilución” al aumentar los rendimientos del segundo corte con respecto al primero. En cuanto al tercer corte en el cual se encontraron porcentajes de P inferiores, puede ser explicado porque se hizo a la salida del verano con gran cantidad de restos secos (Garayalde y Morton, 1983).

Chilibroste, Mallarino y Pisón (1982), encontraron diferencias altamente significativas entre los contenidos de P de las distintas especies, de acuerdo a la diferencia existente entre las especies relativo a sus necesidades de P, ya que el %P en la parte aérea es un buen predictor de los requerimientos de P de las pasturas.

Garayalde y Morton (1983), obtuvieron que el trébol blanco mostró respuesta significativa en la concentración de fósforo en la parte aérea, tanto en el primer como en el segundo corte. Se observó 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 la nutrición animal, concluyendo que la suplementación mineral de animales alimentados con pasturas donde predominan estas leguminosas es innecesaria. En el caso del trébol rojo el porcentaje de fósforo

foliar mostró significación en el primer corte, no así en el segundo y tercer corte. Finalmente el lotus no mostró significación en ninguno de los cortes.

### 2.5.1 Niveles críticos:

En gran parte de la literatura, el término “nivel crítico” es referido como la composición química de la planta por debajo de la cual reducciones en los rendimientos pueden ser esperados por un bajo nivel de nutriente. Por otro lado Macy (1936), citado por Andrew (1960), sugiere que es un porcentaje crítico de cada nutriente y en cada planta, por encima del cual hay consumo de lujo, y por debajo, hay un ajuste a la falta que casi siempre es proporcional a la deficiencia, hasta que se alcanza un mínimo. El uso de un rango crítico mas que de un único valor parece ser mas adecuado, desde que estudios de correlaciones de campo frecuentemente muestran una amplia zona de quebradura en la curva entre el rango deficiente y adecuado.

Según Weeks (1971), el nivel crítico de P para el tercio superior de la parte aérea de trébol rojo es de 0,20%; Jackson et al (1964), reportan para la parte aérea 0,25%, mientras que Pawell (1971) encontró un rango entre 0.15% y 0.25% para hoja. Para trébol blanco, Parks et al (1967), para la parte aérea determinaron un rango crítico entre 0.10% y 0.20%, Reding et al (1950) determinaron un rango entre 0.15% y 0.25%. El valor dentro de los rangos dependerá entre otras cosas del estado fenológico de la planta al momento del muestreo.

Smith (1978), reportó cantidades de P en trébol rojo para distintas épocas del año y estado de crecimiento, variando entre 0.22% y 0.40% en primavera, y entre 0.24% y 0.38% en verano.

Gervais et al (1963) reportaron que el porcentaje de P en lotus incrementaba con el agregado de superfosfato, sin agregado de P el contenido era de 0.173%, mientras que con 269 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, el porcentaje fue de 0.262%.

Si bien los niveles foliares de P son buenos indicadores de las necesidades de las plantas por este nutriente, existen otros factores tales como la competencia (sombreado), sequía, otros nutrientes limitantes, que pueden estar influyendo en el contenido de P en la planta (Jones et al. , 1972).

En el experimento realizado por Chilbroste, Mallarino y Pisón (1982), si bien no se pudieron determinar con precisión niveles críticos foliares de P, dada la linealidad de la relación rendimientos vs. %P, se estimaron valores mínimos foliares para alcanzar el 95% del máximo rendimiento. Estos valores fueron de 0,28% y 0,35% para trébol rojo y trébol blanco respectivamente.

En el trabajo de Garayalde y Morton (1983), 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 de 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 decreciente de absorción 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.

Otra forma de medir el nivel crítico, es a través de valores de P en el suelo por debajo de los cuales es de esperar respuesta en rendimiento de cada especie al agregado de dicho nutriente.

En suelos del sur Uruguayo de texturas medias y pesadas, Bordoli (1998) definió los niveles críticos de P asimilable (método Bray N° 1) para trébol blanco en 15 -16 ppm, trébol rojo 12 -14 ppm, lotus corniculatus 10 -12 ppm y para gramíneas forrajeras de 8 -10 ppm.

Chilibroste, Mallarino y Pison (1982), en un experimento sobre un planosol subéutrico melánico de la unidad San Ramón, encontraron una muy baja respuesta de trébol rojo debido a que este suelo presentaba 13 ppm de P asimilable (Bray N°1), concluyendo que el nivel crítico de esta especie es cercano a ese valor de P asimilable.

## 2.6 RESPUESTA DEL AGREGADO DE FÓSFORO EN LA PRODUCCIÓN DE MATERIA SECA

El efecto de la fertilización fosfatada, está condicionado por la especie de leguminosa que se esté utilizando, ya que características particulares en cuanto a hábito de crecimiento, sistemas radiculares, ciclo, potencial de rendimiento, persistencia, etc., afectan marcadamente la eficiencia de la fertilización fosfatada inicial y de las posibles refertilizaciones (Chilibroste, Mallarino y Pison, 1982).

Para Garayalde y Morton (1983), sobre un Vertisol del departamento de Canelones con pH 5,7 y 8 ppm de P, el trébol blanco fue la única especie que presentó respuesta significativa al agregado de fósforo, necesitándose 104

unidades de  $P_2O_5$  para lograr el 95% del máximo rendimiento. Los requerimientos fueron mayores en el período invernal, el trébol rojo y el lotus presentaron la misma tendencia a pesar de no presentar respuesta. El orden de producción de MS 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 más al trébol blanco. Todas las especies presentaron sus picos de producción al final de la primavera.

En el experimento de Chilibroste, Mallarino y Pisón (1982), realizado sobre un Planosol del departamento de Canelones de 13 ppm de P, se encontraron respuestas físicas al agregado de P sólo en Trébol rojo y Trébol blanco, siendo necesarios 63 y 65 kg  $P_2O_5$ /há respectivamente para obtener el 95% del máximo rendimiento. Para el trébol rojo entendieron que este resultado no es agrónomicamente muy importante, ya que con el tratamiento testigo se obtuvo el 82% del máximo rendimiento, concluyéndose que este suelo se encuentra en el rango superior de la curva de respuesta. También se determinó que no hubo interacción corte-tratamiento, indicando que no hay respuesta diferencial entre los diferentes cortes.

Ayala Torales, Derigibus y Moauro (2000), realizaron un experimento macetero de respuesta al agregado de fósforo con el horizonte A (10 cm) de suelos de la pampa inundable (Argentina) con 6.7 ppm de P. Las especies de leguminosas utilizadas son trébol rojo (*Trifolium pratense*), Lotus Glaber y *Ornithopus micranthus* y se evaluó en dos cortes: área foliar, biomasa, distribución de biomasa de la planta, concertación de P en tejidos y eficiencia de utilización del fósforo.

Ellos encontraron que el área foliar de trébol rojo y lotus glaber son significativamente diferentes al 5% a partir de las 20 ppm aplicadas, ya que lotus glaber a partir de 20 ppm agregadas no responde mas, mientras que trébol rojo responde en forma lineal hasta las 40 ppm agregadas.

Al primer corte, ambos trébol rojo y lotus glaber mostraron un incremento sostenido en la eficiencia de utilización del P al incrementar el agregado de P, a diferencia de *O. micranthus* el cual mostró variaciones en la eficiencia no significativas en respuesta al agregado de P. En el segundo corte, el trébol rojo mostró incrementos significativos en la utilización del P, mientras que lotus glaber declinó en la utilización del P.

Con respecto a la biomasa de las plantas, el lotus glaber redujo la biomasa de las hojas pero incrementó la biomasa de las raíces al aumentar la dosis de fósforo, comportamiento diferente al del trébol rojo que incrementó tanto la biomasa de las hojas como de las raíces. Esto podría explicarse por la baja eficiencia de utilización del P con incrementos de P agregado de lotus glaber con respecto a trébol rojo.

Eklou Somado (2002), realizó un experimento sobre los efectos combinados de una rotación con leguminosas y fertilización fosfatada sobre el rendimiento de arroz en el oeste de África. Dicho experimento se hizo sobre suelos ácidos (pH entre 4,7 y 5,2) en rotación de *Aeschynomene afraspera* (leguminosa) y arroz en suelo inundado, la materia verde producida por la leguminosa se incorporaba al suelo.

Este autor encontró que la adición de P incrementó el rendimiento de arroz en las parcelas, sin encontrar diferencias significativas entre las dos dosis

utilizadas. El efecto de la materia verde en el rendimiento de arroz fue positivo solo después de la fertilización fosfatada, determinándose el P como el factor limitante.

La materia seca de la leguminosa respondió fuertemente a la adición de P. El potencial de la materia verde de leguminosa de suplir de N al cultivo de arroz subsecuente, solo tiene efecto si el P es aplicado. La sinergia entre la aplicación de P y la fijación biológica de nitrógeno por parte de las leguminosas aumentan el P disponible del suelo, la absorción de P, y el rendimiento de grano de arroz en cultivos de arroz bajo inundación en rotación con pasturas.

## 2.7 CARACTERÍSTICAS DE LA INSTALACIÓN DE PASTURAS EN SUELOS ARROCEROS

### 2.7.1 Características generales de los suelos arroceros de la zona este de Uruguay

Es de importancia realizar una caracterización de estos suelos, dominantes en las zonas planas del este del país, ya que sus características generan condiciones particulares que afectan la disponibilidad de P, así como la implantación de pasturas. Existen aspectos morfológicos y topográficos que determinan particularidades en el drenaje interno y externo de los suelos. A continuación se comentan estos aspectos, para los suelos de las unidades dominantes de la Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay (MAP-DSF, 1976; Durán, 1991).

*Suelos saturado-lixiviados (Planosoles):* Unidad La charqueada, Río Branco y Lascano.

Este orden incluye suelos en los que un proceso de lixiviación mecánica intensa y prolongada ha provocado la formación de un horizonte argilúvico muy desarrollado. La diferenciación textural es de grado máximo y el perfil presenta una secuencia de horizontes A-Bt-C muy bien definidos. La presencia de un horizonte argilúvico muy desarrollado representa una limitante severa en el drenaje interno, favoreciendo la existencia de fenómenos de hidromorfismo temporario. Cuando el relieve es plano o de pendiente muy escasa también el escurrimiento está limitado y el agua de las precipitaciones ingresa casi totalmente al suelo. Esta agua de percolación se acumula sobre el horizonte B muy poco permeable (argipan) saturando temporariamente la base del horizonte A, la que toma un color más claro debido a su menor contenido de materia orgánica y generalmente a una pérdida de óxidos de hierro (horizonte álbico de Planosoles).

Los Planosoles son suelos húmedos en invierno y eliminan con dificultad los excesos de agua luego de las lluvias, todo lo cual da lugar a la alternancia de condiciones de oxidación y reducción que se suceden en estos suelos y que originan ciertos rasgos morfológicos característicos (horizonte álbico, moteados, concreciones de Fe-Mn)

#### *Suelos hidromórficos-Gleysoles: India Muerta y San Luis*

Los suelos de este Orden son pobre a muy pobremente drenados y presentan un perfil profundo, poco o moderadamente desarrollado, normalmente de color negro que pasa a colores más grises progresivamente más claros en profundidad. En las zonas de reducción son comunes colores verdosos o azulados, generalmente en forma de moteados.

Estos suelos pueden ser orgánicos o minerales. En el primer caso poseen un horizonte hístico de 30 cm o más de espesor por debajo del cual aparecen horizontes minerales gleizados. Estos suelos son los más pobremente drenados y ocupan áreas deprimidas de drenaje externo nulo o muy limitado. En el segundo caso la secuencia de horizontes es A-B-C, o A-C, pudiendo ser el horizonte B de carácter argilúvico o cámbico. El horizonte gleico está casi invariablemente presente e incluye al horizonte C o incluso al B inferior; el drenaje externo es lento pero no tan impedido como en el caso anterior.

Los suelos poseen normalmente un alto contenido de materia orgánica hasta profundidad considerable, lo que a veces se debe a un lento aporte de materiales en la superficie del perfil.

El arraigamiento está limitado solamente por el exceso de agua y a veces por la existencia de sales o sodio, en el primer caso la limitante se soluciona con el drenaje artificial.

#### *Suelos halomórficos:* Rincón de Ramirez y El Ceibo

En este Orden se incluyen todos los suelos que han evolucionado bajo la influencia de niveles elevados de sodio intercambiable y tal vez de sales neutras o alcalinas de sodio. Presentan un perfil bien diferenciado, caracterizado por un horizonte eluvial generalmente delgado, por debajo del cual aparece un horizonte B de concentración iluvial de arcilla, muy desarrollado y casi siempre con un alto contenido de sodio intercambiable: horizonte nátrico. Este horizonte es de reacción mediana a fuertemente alcalina, en tanto que el horizonte superficial es moderadamente ácido a neutro. El horizonte C presenta concreciones calcáreas muy duras, probablemente silicificadas.

El terreno presenta un drenaje superficial lento (en planicies) o la topografía favorece la concentración del escurrimiento superficial e hipodérmico (concauidades, pies de ladera).

El horizonte superficial es muy delgado y masivo y se encostra fácilmente por su alto tenor de limo o arena muy fina, en tanto que el horizonte subsuperficial es de textura muy pesada, estructura muy gruesa y permeabilidad nula o muy baja.

El arraigamiento es pobre por lo que el volumen de suelo explorable por las raíces es bajo, siendo el riesgo de sequía muy alto. El drenaje es pobre o imperfecto y el anegamiento en épocas lluviosas es importante. Por la topografía en la que ocurren estos suelos, generalmente no tienen riesgo de erosión.

### 2.7.2 Influencia del rastrojo de arroz y la rugosidad de superficie en la implantación de leguminosas

Luego de la cosecha del cultivo de arroz (rastrojo), la situación que se presenta es totalmente diferente a lo usual en cualquier otro cultivo o campo natural, ya que en general son terrenos planos de drenaje imperfecto, que condicionados por el clima, muestran dificultades para el normal desarrollo de las pasturas. Generalmente este rastrojo presenta el primer año distintos microrelieves, resultantes de la cosecha mecánica sobre terreno húmedo o inundado. Arechavaleta y Bervejillo (1980) definieron los microrelieves como: **rastrojo, paja, huella y agua.**

**Rastrojo:** está constituido por los tallos erectos del arroz que quedaron luego de cosechado el grano, estos ofician como elemento protector contra adversidades climáticas generando un microambiente particular.

Un factor importante en el establecimiento de las semillas sembradas en superficie es la necesidad de cobertura (Campbell, 1963; Cullen, 1964; citados por Dowling et al., 1971). Los principales beneficios de esta condición son la mayor disponibilidad de humedad (Kay, 1966; citados por Dowling et al., 1971) y la reducción de incidencias de heladas (Dowling et al., 1971), la primer razón no es lo suficientemente clara, pues un exceso de humedad perjudicaría la implantación.

Warboys (1966) obtuvo un buen establecimiento cuando la siembra se realizó sobre un tapiz cubierto de materia picada dejado por una cosechadora de forraje.

Arechavaleta y Bervejillo (1980) en un experimento de pasturas sobre rastrojo de arroz obtuvieron una implantación de 69% de leguminosas sembradas en cobertura en este microrelieve, así como también una mayor producción de materia seca. Esto resulta de un mayor número de plantas establecidas y un microrelieve más adecuado para un buen desarrollo de las pasturas.

**Paja:** esta es la parte del rastrojo sobre la que se deposita la paja eliminada por la cosechadora, formando un “colchón” de restos vegetales (hojas y tallos de arroz) sobre la superficie. Esto genera falta de luz, determinando en mayor medida, que dicho microrelieve tenga un comportamiento especial respecto al “rastrojo” definido anteriormente.

Sears (1975) demostró la importancia de la luz para el desarrollo de las plantas, sembrando en dos parcelas similares gramíneas de idéntica procedencia y edad. Mientras las plantas de una de las parcelas crecieron a plena luz, las de la otra recibieron tan solo el equivalente al 20% de luz recibida por las anteriores. Las plantas que crecieron a plena luz mostraron un crecimiento vigoroso, hábito postrado y macollaron en abundancia, mientras el comportamiento de las plantas de la otra parcela fue totalmente contrario.

Por su parte Sturm y Donald (1962), mostraron como un sombreado severo puede llevar no solamente a reducir el crecimiento de leguminosas, sino incluso a una muerte de las hojas y por último a la eliminación de las mismas.

Arechavaleta y Bervejillo (1980) en el mismo experimento mencionado anteriormente, obtuvieron una mortalidad de plántulas de 64% producto del déficit de radiación solar, y una menor producción de materia seca que en la situación "rastreo" como consecuencia del menor número de plantas establecidas.

**Huella:** son todas las huellas o depresiones dejadas durante la operación de cosecha, provocadas por las ruedas de la cosechadora y/o por el tránsito de tractores dentro de la chacra. Se define huella a aquella zona de la deformación producida sobre el terreno que está seca. Dicho microrelieve tiene como característica más relevante, el no ofrecer protección a las plántulas, las que quedan expuestas a desecación y heladas.

Campbell (1973) trabajando en suelos no protegidos sembrando alfalfa, trébol subterráneo, raigrás perenne y falaris, probó que el grado de germinación

fue reducido por las bajas temperaturas invernales, pero el mayor factor restrictivo de la germinación bajo estas condiciones fue el estrés por humedad.

A esto se le agrega que en condiciones de suelo desprotegido aumenta la velocidad de desecación, debido a una mayor incidencia de la radiación solar y una menor protección contra los movimientos del viento (Dowling et al., 1971).

Arechavaleta y Bervejillo (1980) obtuvieron una implantación de 39,5 %, valor que si bien es mayor al caso de “paja”, es notablemente menor al de “rastrojo”. En el caso de la huella las determinantes fueron la desprotección contra factores adversos del clima y una menor profundidad del horizonte A, afectando esto último el desarrollo radicular, el número de plantas establecidas, y por ende la producción de materia seca.

**Agua:** son todas aquellas depresiones del terreno, producto de la cosecha mecanizada, que se encuentran anegadas. El exceso de agua puede promover muerte de semillas, fundamentalmente por falta de oxígeno (Carambula, 1977).

Blaser et al. (1952) concluyó que las gramíneas generalmente son menos vulnerables a los daños ocasionados por exceso de agua que las leguminosas.

En general las plantas forrajeras son más productivas en suelos bien drenados, pero ciertas especies como festuca alta, lotus, trébol blanco y trébol rojo, pueden crecer en suelos de drenaje imperfecto (Blaser et al., 1952).

Según Arechavaleta y Bervejillo (1980) es claro el efecto deprimente del agua en exceso (en forma de charco), en la pérdida tanto de semilla como de plántulas en el periodo siembra-emergencia. Por lo que sería de suma importancia, la realización de labores de drenaje para lograr una exitosa instalación de la pastura.

### 3 MATERIALES Y METODOS

Se evaluaron 14 experimentos de campo de pasturas instaladas luego de la cosecha de arroz del 2001 y 2002 en suelos de la cuenca de la Laguna Merim, en la región este de Uruguay. En cada sitio se eligió un área homogénea de la chacra, con relativamente escasa rugosidad de superficie para evitar problemas posteriores de encharcamiento. Los tratamientos consistieron en cuatro niveles de P (0, 40, 80 y 120 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha) con cuatro repeticiones, en un diseño de Cuadrado Latino. La justificación para el diseño planteado surge de la constatación en los sitios de variaciones en ambos sentidos, relativas a la rugosidad del suelo luego de la cosecha, (y consecuentes problemas de encharcamiento), así como de distribución de plantas post emergencia. En el año 2001 la composición de las pasturas fue a base de una mezcla de trébol blanco (*Trifolium repens L.*), lotus (*Lotus corniculatus L.*) y raigrás (*Lolium*

*multiflorum Lam.*). En el año 2002 se sembró trébol rojo (*Trifolium pratense L.*) como única especie. El perímetro de los experimentos se mantuvo con alambrado eléctrico para evitar el pastoreo del ganado. La aplicación del fósforo y la semilla se realizó a mano en cobertura sobre el suelo, luego de eliminar el exceso de rastrojo para favorecer la implantación.

Dado que el objetivo de los experimentos fue caracterizar la producción de forraje de fin de invierno y de primavera, se realizaron dos o tres cortes de evaluación (desde setiembre a diciembre) mediante pastera con barra de corte. Se cosechó un área de 7 m<sup>2</sup>, pesando el forraje en el campo y tomando una muestra del mismo en cada parcela.

Posteriormente en el laboratorio se separaron las fracciones leguminosa y gramínea (o especies nativas) de cada muestra, secándolas por separado en estufa de aire forzado, pesándolas posteriormente para el cálculo de materia seca de cada fracción y del total producido.

### 3.1 DETERMINACIONES ANALÍTICAS REALIZADAS

En cada sitio se realizó un muestreo de suelo previo a la instalación de la pastura. Las muestras de suelo fueron secadas al aire, molidas y tamizadas. Las determinaciones realizadas fueron las siguientes:

- Capacidad de Intercambio Catiónico a pH del suelo: mediante la suma de bases (calcio, magnesio, potasio y sodio) (Thomas, 1982).
- pH en agua y en KCl, mediante el método potenciométrico (Mc Lean, 1982).

- Contenido de hierro presente en formas de alta reactividad ( $Fe_o$ ): mediante extracción con Oxalato de Amonio 0.2M (Schwertmann, 1964).
- Carbono orgánico (Corg): determinado por el método de Walkley-Black (Nelson y Sommers, 1982).
- Contenido de arcilla (Ac): determinado por el método Bouyoucus (Forsythe, 1975).

### 3.2 MÉTODOS PARA ESTIMAR LA DISPONIBILIDAD DE FÓSFORO EN SUELO.

La extracción del P disponible se realizó por las siguientes metodologías:

- Bray 1: mediante la agitación durante 1 minuto de 2.5 g de suelo con 17.5 mL de solución extractiva de  $NH_4F$  0.03M + HCl 0.025M (Bray y Kurtz, 1945).
- Ácido Cítrico al 1%: mediante la agitación de 5 g de suelo con 50 mL de solución de ácido cítrico al 1 % durante 30 minutos (Palermo et al., 1985).
- Mehlich 3: mediante la agitación de 2.5 g de suelo con 25 mL de la solución extractiva de Mehlich 3 (0.015  $NH_4F$  + 0.001M EDTA + 0.25M  $NH_4NO_3$  + 0.2M  $CH_3COOH$  + 0.127M  $HNO_3$ ) durante 5 minutos (Mehlich, 1984).

- Bray anaeróbico: consistió en la incubación a 40°C de 2.5g de suelo con 10 mL de agua en tubos de ensayo tapados con tapón de goma durante 3 y 7 días. Luego de estos períodos se realizó la extracción de fósforo mediante el extractante de Bray 1 ( $\text{NH}_4\text{F} + \text{HCl}$ ) en una concentración tal de mantener la misma concentración del método clásico ya mencionado, así como también de la misma relación suelo:solución (Aguirre y Ríos, 1984).

El P del extracto fue determinado por colorimetría, mediante reducción del complejo fosfomolibdato con ácido ascórbico (Murphy and Riley, 1962) para todos los métodos excepto para el método Bray 1, donde se utilizó el cloruro stagno (Kuo, 1996).

### 3.3 DETERMINACIÓN DE P Y N EN PLANTA

Se secaron las muestras a estufa y se separó la fracción leguminosa, se molieron ambas fracciones a  $< 1$  mm y mediante digestión de la muestra por vía húmeda ( $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$  a 350°C), se determinó posteriormente N por Kjeldahl y P por colorimetría (Murphy y Riley, 1962).

### 3.4 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos experimentalmente, se realizó el análisis de varianza, contrastes ortogonales y regresión lineal simple por SAS (SAS Institute, 1985).

En el Cuadro 1a se indican los sitios experimentales de los ensayos de campo, junto con características de los suelos correspondientes. En el Cuadro 1b se indica la composición de las pasturas y las fechas de evaluación.

Cuadro 1a- Información sobre los sitios experimentales

Nºsitio	Año	Identificación	Unidad	Clasificación	CIC a pH suelo cmol.kg <sup>-1</sup>	pH	Corg gkg <sup>-1</sup>	Bray mgkg <sup>-1</sup>	Fe oxalato mgkg <sup>-1</sup>
1	1	CAS1601	R. Branco	Planosol	5.9	5.0	15	4	1680
2	1	CAS1701	R. Branco	Planosol	3.9	5.2	14	10	782
3	1	COO01	Lascano	Planosol	14.1	6.1	27	8	2204
4	1	FSF01	La Charqueada	Planosol	14.1	5.8	22	4	2161
5	1	FHF01	La Charqueada	Planosol	13.7	6.1	24	6	2042
6	1	GRI01	Lascano	Gleysol	17.8	5.3	34	6	3005
7	1	PLA01	La Charqueada	Solod	10.7	6.0	19	4	2432
8	2	BAC02	Lascano	Planosol	9.6	6.0	15	11	1172
9	2	BON02	Lascano	Gleysol	7.8	5.5	16.9	6	1610
10	2	COO02	Lascano	Planosol	12.6	5.8	18.9	8	2643
11	2	FAR02	La Charqueada	Solod	12.9	6.5	16.4	4	2090
12	2	GRI02	Lascano	Gleysol	11.7	5.5	21.8	8	1911
13	2	PLA02	La Charqueada	Brunosol	9.6	5.3	13.4	4	1705
14	2	SPC02	La Charqueada	Brunosol	12	5.6	25.3	7	2593

Cuadro 1b- Descripción de manejo de los sitios experimentales

Sitio	Año	Fecha de siembra	Fecha de fertilización	Ubicación	Especies	Corte 1	Corte 2	Corte 3
CAS1601	2001	17/05/01	28/06/01	Río Branco	T. Blanco, Lotus, Raigrás	19/12/01		
CAS1701	2001	17/05/01	28/06/01	Río Branco	T. Blanco, Lotus, Raigrás	30/08/01	13/11/01	
COO01	2001	17/05/01	27/06/01	Lascano - Rocha	T. Blanco, Lotus, Raigrás	12/10/01		
FSF01	2001	25/06/01	29/06/01	J.P. Varela	T. Blanco, Lotus, Raigrás	19/12/01		
FHF01	2001	25/06/01	29/06/01	J.P. Varela	T. Blanco, Lotus, Raigrás	19/12/01		
GRI01	2001	17/05/01	27/06/01	Lascano - Rocha	T. Blanco, Lotus, Raigrás	06/10/01	14/11/01	
PLA01	2001		28/06/01	Paso de la Laguna	T. Blanco, Lotus, Raigrás	30/08/01	06/10/01	13/11/01
COO02	2002	11/6/02	11/6/02	Lascano - Rocha	Trebol Rojo	17/10/02	9/12/02	
SPC02	2002	18/6/02	18/6/02	J.P. Varela	Trébol Rojo	18/10/02	9/12/02	
BAC02	2002	11/6/02	11/6/02	Lascano - Rocha	Trebol Rojo	17/10/02	9/12/02	

BON02	2002	11/6/02	11/6/02	Lascano - Rocha	Trebol Rojo	11/11/02	26/12/02
PLA02	2002	18/6/02	18/6/02	Paso de la Laguna	Trebol Rojo	11/11/02	26/12/02
GRI02	2002	11/6/02	11/6/02	Lascano - Rocha	Trebol Rojo	17/10/02	9/12/02
FAR02	2002	17/6/02	17/6/02	J.P. Varela	Trebol Rojo	26/12/02	-

Debido a que los años en los que se realizó el experimento, fueron particularmente lluviosos, considerándose el volumen de lluvia muy por encima de los promedios históricos, se relevó información al respecto para la región de los sitios de interés, presentándose en los cuadros 2 a y 2 b.

Cuadro 2 a: Precipitación por sitio, año 2001

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
CAS1601	145	104	245	130	175	121	127	72	323	157	194	101	1894
CAS1701													
COO01	116	192	211	31	102	95	128	45	67	253	72	12	1324
GRI01													
FSF01	121	176	170	82	134	180	128	145	159	370	162	61	1888
FHF01													
PLA01	152	95	185	53	154	141	77	58	145	246	130	67	1501

Cuadro 2 b: Precipitación por sitio, año 2002

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	TOTAL
BAC02													
COO02	135	155	447	218	113	34	106	185	72	77	113	146	1801
GRI02													
BON02	197	157	462	290	142	101	165	267	69	92	79	180	2201
FAR02													
SPC02	190	246	441	303	172	109	135	145	109	100	102	195	2247
PLA02	314	120	381	310	80	80	154	188	51	118	89	259	2145

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 MATERIA SECA PRODUCIDA

#### 4.1.1 Experimentos año 2001

Los experimentos del año 2001 fueron realizados en praderas mezcla de trébol blanco, lotus y raigrás sembradas por los productores con avión. En los siete sitios experimentales la composición de especies del tapiz presentó diferencias. A los efectos de interpretar los resultados obtenidos en términos de respuesta en producción de forraje al agregado de P, en el Cuadro 3 se indican los porcentajes de leguminosas correspondientes a cada sitio para las diferentes dosis de P en los cortes evaluados.

Cuadro 3- Porcentaje de leguminosa de la pastura por corte y por sitio, año 2001

Sitio	CAS1601		CAS1701		COO01	FHF01	FSF01	GRI01		PLA01		
Corte	1	1	2	1	1	1	1	2	1	2	3	
Porcentaje de leguminosas												
Tratamiento												
0	100	71	73	5	25	49	3	9	30	34	50	
40	100	75	77	18	38	49	9	16	26	36	41	
80	100	67	77	22	39	49	13	16	34	47	50	
120	100	83	56	17	37	49	12	20	25	35	44	
Anova												
Tratamiento	-	ns	0.047	0.059	0.0195	-	ns	ns	ns	ns	ns	
CV%	-	33.48	12.79	45.06	14.5	-	56.9	35.7	42.94	22.76	25.08	
Contrastes												
P0 vs agreg	-	ns	ns	0.0135	0.0034	-	0.029	0.037	ns	ns	ns	
Lineal	-	ns	0.047	0.0382	0.0154	-	0.035	0.033	ns	ns	ns	
Cuadrático	-	ns	0.033	0.0495	0.0197	-	ns	ns	ns	ns	ns	

ns: No significativo,  $P > 0.10$

Como se observa en el cuadro la variabilidad que existe en el porcentaje de leguminosa entre los sitios es importante. Si bien se trató de ubicar el experimento en zonas homogéneas del terreno, la presencia de rastrojo, así como la rugosidad de la superficie de suelo al momento de la siembra de la pradera en los diferentes sitios afectaron diferencialmente la implantación de la pradera. Los sitios COO01 y GRI01 mostraron bajos porcentajes promedio de leguminosa en el experimento, debido a una fuerte competencia de la gramínea asociada a la pastura, y a un lento establecimiento de la leguminosa.

La respuesta al agregado de P en el porcentaje de leguminosa fue observada en cuatro de los siete sitios (CAS1701, COO01, FHF01 y GRI01). Para el primero la tendencia fue de tipo cuadrático, en tanto que para COO01, FHF01 y primer corte de GRI01 la respuesta es de tipo lineal-plateau. En el segundo corte de GRI01 la tendencia es lineal.

Wolfe y Lazemby, (op cit.), sugieren que el fertilizante fosfatado no tiene efecto sobre el proceso de la emergencia pero sí en la supervivencia de las plántulas ya emergidas. Este efecto se estaría logrando en los sitios donde existe respuesta significativa al agregado de P, ya que en estos se observa que aumenta el porcentaje de leguminosa producto de una mejor implantación de las plantas a causa del agregado de P.

En el Cuadro 4 se indica la producción total de materia seca (leguminosa + gramínea) correspondiente al período evaluado, para los diferentes sitios y dosis de P ensayadas.

Cuadro 4. Producción de Materia seca total (leguminosa + gramínea) por sitio, año 2001

Sitio	CAS1601	CAS1701	COO01	FHF01	FSF01	GRI01	PLA01
	Kg de Materia seca por hectárea						
Tratamiento							
0	1448	2803	1201	2877	1550	3489	2643
40	1738	3490	1584	2968	2521	3840	3046
80	1847	3305	1579	3161	2070	3890	3073
120	2082	4033	1718	2961	2381	3788	2698
Anova							
Tratamiento	ns	0.027	ns	ns	0.095	ns	ns
CV%	16.55	11.79	27.8	17.19	21.97	10.85	27.49
Contrastes							
P0 vs agreg	0.041	0.013	ns	ns	0.029	ns	ns
Lineal	0.022	0.008	ns	ns	0.099	ns	ns
Cuadrático	ns	ns	ns	ns	Ns	ns	ns

ns: no significativo, P>0.10

Respecto a la producción total de materia seca, en general se observó un aumento en la producción de forraje con el agregado de P. Si bien los resultados del análisis de varianza sólo fueron significativos para FSF01 y CAS1701, el análisis de contrastes proporciona mayor información, mostrando también respuesta significativa en CAS1601. Para este sitio se observa que tanto el contraste lineal como el P0 vs P agregado dieron diferencias significativas. Por lo tanto se podría decir que efectivamente hay una respuesta del agregado de P sobre la producción de materia seca, mostrando una tendencia lineal positiva.

En CAS1701, donde se observó respuesta al agregado de P en la producción total de la pastura, esta respuesta está asociada con un aumento del porcentaje de leguminosas en la mezcla forrajera, tal como se observa en el Cuadro 3. Es decir que no sólo se obtuvo una mayor producción de la pastura, sino que además se logró una mayor calidad de la misma debido a que el porcentaje de leguminosas en la mezcla aumentó con el agregado de P. El tipo de respuesta observada es lineal, siendo el modelo que mejor ajusta para este sitio de acuerdo al análisis de contrastes.

En FSF01 también se obtuvo respuesta significativa en la materia seca total producida, pero no se observaron cambios en el porcentaje de leguminosas a diferencia de lo sucedido para el sitio CAS1701. Atendiendo el resultado de los contrastes realizados (y observando los datos obtenidos de producción), se aprecia un aumento de la materia seca hasta la primer dosis de P, luego de la cual no se observan incrementos (respuesta lineal-plateau). Esto probablemente se explica por ser una evaluación de fin de primavera, época en la cual es de esperar menor respuesta de la pastura al agregado de P, dadas las condiciones de mayores temperaturas.

En los casos donde no fueron observadas diferencias significativas (COO01, FHF01, PLA01 y GRI01), los porcentajes de leguminosas fueron bajos (menor al 40%). En parte esto se podría explicar porque en este análisis se está considerando la materia seca total de todos los cortes que se realizaron, siendo el corte de fin de invierno-primavera temprana de menor peso relativo en el total que el corte de fin de primavera.

Si bien en el Cuadro 3 se observa que en COO01 existe una respuesta significativa en el porcentaje de leguminosa al agregado de P, este aumento no se ve reflejado cuando analizamos la producción total de materia seca, debido a que los incrementos en el porcentaje de leguminosas no fueron de gran magnitud como para variar la producción total de materia seca.

De acuerdo con estos resultados, la escasa respuesta observada en el total de materia seca de la pastura en los diferentes sitios estaría explicada por una baja contribución de la fracción leguminosa en las pasturas por dos razones: a) la gramínea de la mezcla fue raigrás, de rápida instalación y crecimiento, y bajos requerimientos de P; b) de las leguminosas acompañantes una es el trébol blanco, de lenta instalación, y la otra es lotus, con menores requerimientos de P que trébol blanco

Por este motivo, y con el fin de estudiar la respuesta en la componente de la mezcla de mayor interés (leguminosas), se hizo separación botánica de las muestras y se realizó el estudio para esta fracción en particular.

Cuadro 5- Producción de Materia seca de leguminosas por sitio, año 2001

Sitio	CAS1601	CAS1701	COO01	FHF01	FSF01	GRI01	PLA01
	Kg de Materia seca por hectárea						
Tratamiento							
0	1448	2047	60	709	758	178	1049
40	1738	2681	271	1137	1234	443	1093
80	1847	2644	357	1221	1013	536	1460
120	2082	2946	307	1098	1165	575	977
Anova							
Tratamiento	ns	ns	0.069	0.085	0.096	0.065	ns
CV%	16.55	23.65	49.81	22.96	22.02	40.39	29.32
Contrastes							
P0 vs agreg	0.041	0.09	0.015	0.018	0.029	0.015	ns
Lineal	0.022	0.099	0.058	0.058	0.099	0.017	ns
Cuadrático	ns	ns	0.053	0.061	ns	ns	ns

ns: no significativo,  $P > 0.10$

Comparando este análisis con el anterior aquí se observa mayor cantidad de sitios que presentan respuesta significativa, algo esperable dados los mayores requerimientos de estas especies.

En CAS1601 las evaluaciones corresponden al segundo corte (el primer corte de fin de invierno no se pudo evaluar por ser pastoreado por animales). Aunque la especie que dominó en dicho corte fue lotus (de menores requerimientos de P que otras leguminosas), y del efecto positivo de la temperatura en la disponibilidad de P, el análisis estadístico mostró una tendencia lineal significativa.

En los restantes sitios (excepto PLA01), se observó una marcada tendencia lineal-plateau al agregado de P. El mayor incremento en la materia seca por fertilización se da a la primera dosis de P.

En cuanto a COO01, la baja producción de MS de leguminosa respecto a materia seca total se explica por un rápido desarrollo de la gramínea (raigrás), lo cual afectó el desarrollo de las leguminosas. Según estos resultados es esperable que no haya respuesta del agregado de P en la producción de

materia seca total. Sin embargo, cuando nos detenemos en el análisis para MS de leguminosa vemos que hay diferencia significativa entre los tratamientos (esperable para este componente de alta respuesta a P).

En el único sitio donde se observó respuesta tanto en la materia seca total de leguminosas más gramíneas como en la materia seca total de leguminosa es en el sitio FSF01, donde la proporción de materia seca de leguminosa es mayor (aprox. 50%). Esto pudo deberse a una mejor implantación de la leguminosa, por lo que esta fracción obtuviera mayor número de plantas y por lo tanto produjera más materia seca.

La falta de respuesta en PLA01 estaría determinada por tratarse de una chacra con larga historia agrícola con muchos años de fertilización fosfatada (el sitio experimental corresponde al campo experimental de arroz del INIA - Paso de la Laguna-Treinta y Tres). Según la información de suelos, este sitio es uno de los que posee más cantidad de óxidos de Fe de baja cristalinidad. Por tratarse de un año con precipitaciones por encima de lo normal, esto pudo traer aparejado períodos de alternancia de humedecimiento y secado de los suelos, provocando una mayor actividad de los óxidos de hierro, incidiendo en los procesos de liberación y fijación de P. Otra consecuencia de estas condiciones climáticas, es la incidencia de huellas en los rastrojos de arroz (microrelieve), producto de la cosecha sobre terrenos húmedos y sus efectos sobre la implantación de las pasturas ya explicados por Arechavaleta et. al. (1980). Estas condiciones probablemente hayan afectado la respuesta de las leguminosas al agregado de P.

A los efectos de visualizar el efecto que tiene el P en diferentes momentos de desarrollo de la pastura, en el Cuadro 6 se indica la producción

total de materia seca de la mezcla (leguminosa + gramínea) por corte para cada sitio.

Cuadro 6- Materia seca total (leguminosa + gramínea) por corte y por sitio, año 2001

Sitio	CAS1601	CAS1701		COO01	FHF01	FSF01	GRI01		PLA01		
Corte	1	1	2	1	1	1	1	2	1	2	3
	Kg de Materia seca por hectárea										
Tratamiento											
0	1448	1603	1200	1201	2877	1550	2157	1332	711	802	1130
40	1738	1944	1546	1584	2968	2521	2439	1401	792	913	1342
80	1847	1911	1394	1579	3161	2070	2547	1343	671	978	1424
120	2082	2566	1467	1718	2961	2381	2398	1390	550	1085	1064
Anova											
Tratamiento	ns	0.015	ns	ns	ns	0.095	ns	ns	ns	ns	ns
CV%	16.55	13.96	18.51	27.8	17.19	21.96	21.67	11.71	56.55	32.05	18.8
Contrastes											
P0 vs agreg	0.041	0.016	ns	ns	ns	0.029	ns	ns	ns	ns	ns
Lineal	0.022	0.004	ns	ns	ns	0.099	ns	ns	ns	ns	ns
Cuadrático	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.06

ns: no significativo, P>0.10

Al igual que para la producción total del período evaluado, los dos únicos sitios que muestran respuesta significativa al P según el análisis de varianza son CAS1701 y FSF01. El sitio CAS1601 y el tercer corte de PLA01 mostraron respuesta al análisis de contrastes.

Los tipos de respuesta en materia seca total al agregado de fósforo es variable en los distintos sitios. En el sitio CAS1601 y primer corte de CAS1701 se ajusta un modelo lineal de respuesta, en FSF01 el tipo de respuesta es lineal-plateau mientras que en PLA01 tercer corte es del tipo cuadrática. Como ya se ha mencionado anteriormente la alta variabilidad de los datos probablemente esté determinando, la no existencia de respuesta en algunos sitios que marcan tendencia, así como también el tipo de respuesta.

En el caso de CAS1701, se nota un efecto más importante en la implantación o primera etapa de la pastura donde el agregado P contribuyó en la implantación de las plantas, visualizándose una respuesta estadísticamente significativa sólo para el primer corte.

Del mismo modo que para la producción total de materia seca de la mezcla, se estudió el efecto del P para las leguminosas separado del total de materia seca de la pastura.

Cuadro 7- Materia seca de leguminosa por corte y por sitio, año 2001

Sitio	CAS1601		CAS1701		COO01	FHF01	FSF01	GRI01		PLA01		
Corte	1	1	2	1	1	1	1	2	1	2	3	
	Kg de Materia seca por hectárea											
Tratamiento												
0	1448	1149	898	60	709	758	54	124	153	287	608	
40	1738	1506	1175	358	1137	1234	212	231	226	329	537	
80	1847	1890	1087	357	1221	1013	313	223	271	465	724	
120	2082	2135	811	307	1098	1165	292	283	145	367	465	
Anova												
Tratamiento	ns	ns	ns	0.069	0.085	0.096	0.074	ns	0.061	ns	ns	
CV%	16.55	28.93	26.34	49.81	22.96	22.02	54.6	36.59	21.3	40.32	37.64	
Contrastes												
P0 vs agreg	0.041	0.062	ns	0.015	0.018	0.029	0.019	0.036	0.017	ns	ns	
Lineal	0.022	0.03	ns	0.058	0.058	0.099	0.022	0.037	0.023	ns	ns	
Cuadrático	ns	ns	ns	0.053	0.061	ns	ns	ns	ns	ns	ns	

ns: no significativo, P>0.10

Se observó respuesta significativa en todos los sitios. Esto se explica por tratarse de suelos con bajos contenidos de P, siendo los requerimientos de las leguminosas sembradas superiores a lo ofrecido por el suelo al momento de la siembra (definido por Bordoli 1998).

La respuesta se marca en el primer corte, probablemente por la alta necesidad de P de las leguminosas en la implantación, en este caso según la bibliografía el trébol blanco sería el más demandante y quizás el que explique el comportamiento de la mezcla. Esto coincide con lo estudiado por Garayalde y Morton (op cit.), quienes encontraron que en suelos de similares pH y contenidos de P encontraron respuestas significativas sólo en trébol blanco.

En la mayoría de los casos fue observada una marcada tendencia lineal-plateau de la producción de materia seca de leguminosa al agregado de P, esto es, respuesta a la primera dosis de P agregado, luego de la cual la producción de materia seca por unidad de P agregado mostró pocas variaciones. Los sitios CAS1601 y CAS1701 mostraron, no obstante, una tendencia de tipo lineal.

#### 4.1.2 Experimentos 2002

Las condiciones climáticas de este año, fueron menos favorables que el año anterior en cuanto a la instalación de pasturas, ya que en la estación de otoño que es donde se centra la época de siembra, las precipitaciones fueron volúmenes por encima de los registros normales para esta época en esta zona. Esto probablemente haya condicionado la instalación de estas pasturas y por ende la respuesta al P.

En este año, la siembra de la pastura se hizo sólo con leguminosas, aunque aparecen gramíneas y graminoides en las muestras producto de la

pradera preexistente y del enmalezamiento de las parcelas. Al haberse realizado el control de gramíneas con herbicidas, la proporción de estas en la muestra fue baja. Los datos que se presentan corresponden a la fracción leguminosa.

Cuadro 8- Materia seca total del período por sitio, año 2002

Sitio	BAC02	BON02	COO02	FAR02	GRI02	PLA02	SPC02
	Kg de Materia seca por hectárea						
Tratamiento							
0	2474	712	1769	1016	652	3245	1655
40	3906	1882	2724	1058	1451	3321	2671
80	3225	1370	3183	1630	1552	3017	2794
120	5598	2087	3599	1585	2076	3383	3151
Anova							
Tratamiento	0.07	0.067	0.008	ns	0.03	ns	ns
CV%	35.62	40	17.15	74.24	33.5	11.96	30.35
Contrastes							
P0 vs agreg	0.06	0.022	0.002	ns	0.009	ns	0.035
Lineal	0.03	0.037	0.001	ns	0.006	ns	0.038
Cuadrático	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ns: no significativo,  $P > 0.10$

Fue observada respuesta significativa en la producción de materia seca al agregado de P en todos los sitios, excepto FAR02 y PLA02. En FAR02 existe una tendencia a un mayor rendimiento con el agregado de P, pero debido a un elevado coeficiente de variación, dicha respuesta no resultó significativa.

Dados los bajos niveles de disponibilidad de P según los datos de los análisis de suelo para estos sitios, es de esperar respuesta en cada uno de ellos, ya que Chilbroste et al. (1982) encontraron respuesta en la producción de materia seca de leguminosas al agregado de P en suelos con 13 ppm iniciales y en estos casos nunca superan dicho valor. Debe aclararse que Chilbroste et al. Trabajaron con suelos del sur del país.

Para los experimentos de este año y atendiendo la producción total de materia seca, los casos que existe respuesta significativa al agregado de P, la tendencia es marcadamente lineal para los sitios BAC02, COO02 y GRI02, en BON02 y SPC02 la respuesta es del tipo lineal-plateau, nunca cuadrática. Esto nos podría decir que con estas dosis aplicadas (tratamientos) en algunos casos no se habría llegado al nivel de P óptimo desde el punto de vista fisiológico para esta especie.

Al igual que para el experimento 2001, se analizó la respuesta separada en dos cortes para ver los efectos del P en distintas etapas fenológicas de la pastura. En este caso el análisis por sitio va a ser más amplio ya que se cuenta con dos cortes para casi todos los sitios.

Cuadro 9 a)- Materia seca total por sitio, primer corte año 2002

Sitio	BAC02	BON02	COO02	FAR02	GRI02	PLA02	SPC02
	Kg de Materia seca por hectárea						
Tratamiento							
0	667	246	420	1016	105	1421	155
40	1036	930	449	1058	642	1583	619
80	1571	921	992	1630	724	1301	888
120	1672	971	937	1585	1055	1402	828
Anova							
Tratamiento	0.0088	ns	0.067	ns	0.0053	ns	0.015
CV%	17.04	58.13	29.21	74.24	25.58	15.33	26.94
Contrastes							
P0 vs agreg	0.005	0.035	ns	ns	0.002	ns	0.004

Lineal	0.002	0.058	0.025	ns	0.001	ns	0.004
Cuadrático	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.041

ns: no significativo,  $P > 0.10$

Cuadro 9 b)- Materia seca total por sitio, segundo corte año 2002

Sitio	BAC02	BON02	COO02	GRI02	PLA02	SPC02
	Kg de Materia seca por hectárea					
Tratamiento						
0	2235	466	1380	209	1824	1385
40	2869	951	1892	809	1738	2052
80	2203	850	2191	828	1716	1905
120	3925	1117	2662	1020	1980	2323
Anova						
Tratamiento	ns	0.095	0.071	0.085	ns	ns
CV%	25.23	35.41	25.48	39.77	11.7	44.85
Contrastes						
P0 vs agreg	ns	0.026	0.034	0.022	ns	0.065
Lineal	0.065	0.033	0.016	0.021	ns	0.085
Cuadrático	ns	ns	ns	ns	ns	ns

ns: no significativo,  $P > 0.10$

En la mayoría de los sitios se observó respuesta significativa al agregado de P, siendo ésta más notoria generalmente en el primer corte. Al igual que para la suma de los dos cortes, los sitios PLA02 y FAR02 siguen sin mostrar respuesta en los cortes parciales. Para el último se reduce el análisis, ya que es el único sitio donde no se realizó el segundo corte y el primero se realizó en diciembre, donde era de esperar un aumento de la disponibilidad de P del suelo por aumento de la temperatura.

La tendencia observada para los sitios donde hubo respuesta significativa fue lineal, excepto para BON02, donde se observó un comportamiento de tipo lineal-plateau. Esto se observó para el primer corte, manteniéndose para el segundo. Este comportamiento muestra una respuesta más relevante hasta la primera dosis de P, mostrando el efecto del P en la

implantación de la leguminosa. Otro factor que puede haber influido en esta respuesta es el hecho de ocurrir un quemado de las plantas por la aplicación de herbicida en el resto de la chacra, en la cual se plantó arroz. Esto perjudicó a las plantas más pequeñas y débiles, las cuales se encontraban en el tratamiento sin agregado de P.

Para SPC02, del análisis parcial por corte indica una respuesta lineal significativa para el primer corte, en tanto que para el segundo sería del tipo lineal-plateau. Se podría decir entonces que el agregado de P tuvo un gran efecto en la implantación de la pastura en este sitio (respuesta altamente significativa). Se nota que la producción de materia seca en el primer corte para todos los tratamientos es muy baja en proporción a la materia seca de los dos cortes sumados.

Tanto en COO02 como GRI02, se constataron diferencias significativas entre los tratamientos para los dos cortes, esto podría deberse al efecto secundario del agregado de P a la implantación de la pastura, ya que este macro-elemento es de esperar que mejore la implantación de la leguminosa siendo más plantas las que producen materia seca. Si la pastura comienza con un mayor número de plantas es de esperar que ésta perdure más en el tiempo y por lo tanto que produzca más. La respuesta observada en ambos casos siguió un comportamiento lineal significativo para los dos cortes.

#### *4.2 CONTENIDO DE NUTRIENTES EN EL FORRAJE*

Se analizó el contenido de nutrientes en el forraje producido en cada corte y fracción (leguminosa y gramínea) para los 14 sitios de los dos años, por entender que una planta con un mejor estado nutricional tiene mayor valor

nutricional y tiene además menos restricciones para expresar su potencial productivo. A continuación se presenta dicha información.

#### 4.2.1 Fracción Leguminosa

En el cuadro 10 se indican los porcentajes de N de las leguminosas para los experimentos del año 2001.

Cuadro 10- Porcentaje de nitrógeno en Leguminosa por corte por sitio, año 2001

Sitio	CAS1601		CAS1701		COO01	FHF01	FSF01	GRI01		PLA01		
Corte	1		1	2	1	1	1	1	2	1	2	3
	% de Nitrógeno en planta											
Tratamiento												
0	2.20		3.05	2.90	3.34	2.57	2.62	3.21	2.97	3.24	3.06	3.08
40	2.31		3.06	2.74	3.21	2.60	2.60	3.36	3.10	3.86	3.30	3.21
80	2.13		3.24	2.83	3.26	2.55	2.43	3.32	3.28	3.93	3.46	3.30
120	2.42		3.30	3.01	3.15	2.40	2.65	3.10	3.19	4.09	3.85	3.06
Anova												
Tratamiento	ns		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.06	ns
CV%	6.81		8.19	8.5	4.9	8.62	4.54	15.67	8.87	9.51	8.57	7.7
Contrastes												
P0 vs agreg	ns		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.04	0.032	ns
Lineal	ns		ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.038	0.012	ns
Cuadrático	ns		ns	ns	ns	ns	0.045	ns	ns	ns	ns	ns

ns: no significativo, P>0.10

Como se aprecia en el cuadro en todos los sitios y para todos los cortes, menos PLA01 al segundo corte, no surgen tendencias claras en los porcentajes de N de las leguminosas en función de la dosis de P. Una explicación podría ser el efecto negativo de períodos de anegamiento en la persistencia de los nódulos de rizobio.

Los resultados de los análisis estadísticos no mostraron efectos significativos. Sin embargo, en la mayoría de las situaciones el tratamiento testigo mostró valores de %N más bajos que el promedio de los tratamientos

fertilizados. El sitio PLA02 mostró, no obstante, una tendencia lineal para los dos primeros cortes.

Algo apreciable, y por demás lógico, es que la concentración en porcentaje de N baja a medida que avanza el estado fenológico de la pastura (1, 2 y 3 cortes), debido a un efecto dilución del N al producirse más materia seca.

Para el año 2002 surge una tendencia algo más clara a un aumento en el porcentaje de N con el agregado de P, aunque el análisis de varianza sólo resultó significativo para BAC02 (segundo corte), BON02 (primer corte) y PLA02 (primer y segundo corte). Al igual que analizamos para el año 2001, los tres sitios donde se encontró respuesta del P en el porcentaje de N, no tuvieron respuesta en la producción de materia seca. Para este año son más claras las tendencias lineales. Por otra parte, las diferencias más notorias en el %N entre el testigo y los tratamientos fertilizados surgen en el primer corte.

Cuadro 11- Porcentaje de nitrógeno en Leguminosa por corte por sitio, año 2002

Sitio	BAC02		BON02		COO02		FAR02	GRI02		PLA02		SPC02	
Corte	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2
	% de Nitrógeno en planta												
Tratamiento													
0	2.81	2.34	2.50	2.78	3.06	2.76	2.31	2.87	2.88	2.36	2.72	3.03	2.65
40	3.48	2.74	2.94	2.81	3.17	2.61	2.43	3.30	2.96	2.92	2.88	3.56	2.88
80	3.30	2.79	2.91	2.72	3.30	2.67	2.56	3.32	3.37	2.76	2.63	3.35	2.72
120	3.39	3.19	3.26	2.85	2.85	2.65	2.29	3.46	3.37	2.88	3.01	3.51	2.78
Anova													
Tratamiento	ns	0.092	0.07	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.033	0.05	ns	ns
CV%	11.46	13.49	10.82	8.42	13.58	20.88	14.61	10.79	9.68	7.83	5.58	8.39	5.53
Contrastes													
P0 vs agreg	0.036	0.04	0.024	ns	ns	ns	ns	0.049	0.093	0.007	ns	0.03	ns

Lineal	ns	0.02	0.017	ns	ns	ns	ns	0.06	0.032	0.026	ns	ns	ns
Cuadrático	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0.087	ns	ns	ns

ns: no significativo, P>0.10

Algo apreciable es que los valores de porcentaje de nitrógeno para este año son algo menores que para el 2001. Esto puede ser porque a pesar del efecto dilución que también se da en el 2002, la especie implantada (trébol rojo) es de mayor producción al primer año que las leguminosas utilizadas en la mezcla del 2001 (trébol blanco y lotus). Lo que cabe aclarar es que para el 2001 no se hizo separación botánica, por lo que la muestra de leguminosas puede ser con predominancia de una u otra especie o diferentes proporciones de las mismas, determinando diferencias que dificultan la comparación entre años (CAS1601 era lotus; CAS1701 era predominante rojo; COO01 y GRI01 era blanco; FAR01 y PLA01 eran blanco y lotus en similares proporciones o 60:40).

Mc Naught (1970), citado por Chilibroste, Mallarino y Pisón, menciona que relaciones N/P mayores a 14:1 en trébol blanco, indican deficiencias de P.

Según White, la retención de fosfatos en las raíces es influenciada por el nivel de nitrógeno en las plantas. El fosfato sería transportado más eficientemente de plantas con fósforo alto y nitrógeno bajo, en donde una escasez relativa de nitrógeno resulta en un colapso del protoplasma de tejidos viejos y 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.

En el Cuadro 12 se presenta la información correspondiente al porcentaje de P en el forraje de leguminosa para el año 2001.

Cuadro 12- Porcentaje de P en Leguminosa por corte por sitio, año 2001

Sitio	CAS1601		CAS1701		COO01	FHF01	FSF01	GRI01		PLA01		
Corte	1	1	2		1	1	1	1	2	1	2	3
	% de Fósforo en planta											
Tratamiento												
0	0.12	0.21	0.18		0.22	0.14	0.12	0.22	0.17	0.28	0.24	0.23
40	0.13	0.25	0.19		0.29	0.20	0.13	0.25	0.22	0.26	0.30	0.20
80	0.16	0.23	0.19		0.28	0.21	0.14	0.27	0.26	0.29	0.31	0.29
120	0.16	0.30	0.24		0.31	0.22	0.16	0.25	0.24	0.35	0.28	0.28
Anova												
Tratamiento	ns	ns	ns		0.04	ns	ns	ns	0.011	ns	ns	0.021
CV%	18.44	23.05	2.92		9.87	31.28	13.6	9.32	10.62	33.32	18.45	12.65
Contrastes												
PO vs agreg	0.063	ns	ns		0.012	ns	ns	0.076	0.002	ns	ns	ns
Lineal	0.031	ns	ns		0.011	ns	0.053	ns	0.005	ns	ns	0.01
Cuadrático	ns	ns	ns		ns	ns	ns	ns	0.021	ns	ns	ns

Para el año 2001 fueron observados mayores contenidos de P en el forraje en los tratamientos con fertilización. Esta diferencia surge más clara entre el testigo y los tratamientos fertilizados, aunque no resultó significativa en todos los casos. En CAS1601 la leguminosa que predominaba al momento del corte era el Lotus; debido a esto es que se observan menores valores de porcentajes de P en planta. Como lo expresan Garayalde y Morton (op cit.) el lotus presentó un nivel crítico menor que trébol rojo y trébol blanco. Hay que destacar que este corte se realizó con el lotus en avanzado estado fonológico por lo que se explican los bajos valores de porcentaje de P, porque se puede haber dado una dilución del P en la materia seca, tal como ocurre en los cortes de fin de primavera de los sitios donde se realizaron ambos cortes. En este sitio se observa que existe una marcada tendencia lineal al aumentar el porcentaje de P con los distintos tratamientos.

Los sitios donde se dieron diferencias significativas en el porcentaje de P foliar, si bien no se mejoró mucho la cantidad de materia seca producida, se mejoró en calidad de pastura, también se mejora calidad al aumentar la concentración de nitrógeno foliar. Esto llevaría a mayor eficiencia en la producción de carne. Tales son los casos de los sitios GRI01 (corte 2) y PLA01

donde hubo respuesta en el porcentaje de P y no en la producción de materia seca.

En CAS1701 y FHF01 hubo un aumento en el contenido de P en el forraje, pero este no resultó significativo, dados los altos coeficientes de variación encontrados.

Sólo en tres sitios, en el primer corte y con la dosis más alta se llega a los niveles críticos sugeridos por la bibliografía. Para trébol blanco, Chilbroste et al (1982) y Morton y Garayalde (1983), sugieren un valor 0,35% de P. El sitio PLA01 es uno de los casos donde se alcanzó el nivel crítico con la dosis más alta de P, pero no mostró respuesta debido a que los niveles de P foliar de los otros tratamientos son altos. Esto puede explicar la nula respuesta que este sitio en particular presentó en el análisis de materia seca total y por corte realizado anteriormente.

En el Cuadro 13 se presentan los promedios de porcentaje de P en leguminosas para los cortes de los sitios del año 2002.

Cuadro 13- Porcentaje de P en Leguminosa por corte por sitio, año 2002

Sitio	BAC02		BON02		COO02		FAR02	GRI02		PLA02		SPC02	
Corte	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2
	% de Fósforo en planta												
Tratamiento													
0	0.18	0.17	0.18	0.12	0.21	0.13	0.17	0.18	0.19	0.19	0.13	0.20	0.10
40	0.29	0.18	0.20	0.13	0.23	0.18	0.13	0.18	0.20	0.19	0.17	0.17	0.12
80	0.31	0.23	0.19	0.14	0.27	0.18	0.14	0.19	0.21	0.18	0.18	0.20	0.12
120	0.27	0.24	0.20	0.16	0.28	0.16	0.13	0.18	0.20	0.21	0.17	0.21	0.12
Anova													
Tratamiento	ns	0.033	ns	ns	0.001	ns	ns	ns	ns	ns	0.0009	ns	ns
CV%	24.59	14.31	25.11	18.52	2.54	22.37	30.57	21.63	20.38	9.73	5.52	14.76	13.29
Contrastes													

P0 vs agreg	0.029	0.037	ns	ns	0.0001	0.077	ns	ns	ns	ns	0.001	ns	0.072
Lineal	ns	0.007	ns	0.059	0.0001	ns	ns	ns	ns	ns	0.004	ns	ns
Cuadrático	0.059	ns	ns	ns	0.094	ns	ns	ns	ns	ns	0.033	ns	ns

ns: no significativo, P>0.10

Como se puede apreciar en el cuadro, BAC02 y COO02 fueron los dos sitios en los cuales se encontró respuesta significativa en ambos cortes en el porcentaje de P foliar. En los restantes sitios, las tendencias generales no fueron claras en mostrar diferencias en los %P entre el testigo y los tratamientos fertilizados en ninguno de los cortes. Y a excepción del sitio COO02, en los sitios que sí hubo respuesta en el porcentaje de P, no lo hubo en la producción de materia seca. Nuevamente, los elevados coeficientes de variación pueden haber determinado en algunos de estos casos la ausencia de respuesta significativa. Una vez más, y atendiendo a la concentración del nutriente en la planta, el efecto dilución por mayor producción de MS va en contra del porcentaje de P foliar, esto se aprecia al observar sobre todo los datos del segundo corte que están más próximos al verano donde la leguminosa produce mayor cantidad de materia seca.

En este caso, al igual que se dio en el 2001 en la mayoría de los casos, los valores obtenidos de % de P foliar no alcanzan los sugeridos por la bibliografía. Morton y Garayalde (op cit.) sugieren un valor de 0,30 % para trébol rojo y Chilibroste et al. (op cit.) un valor de 0,28 % para la misma especie. La excepción la constituyen los sitios BAC02 y COO02, que para el primer corte llegan a los valores de % en planta mencionados por dichos autores para esta especie. Con los datos obtenidos podríamos afirmar que las plantas en estos dos últimos sitios se encontrarían en un buen plano nutricional de P, ya que se encuentran próximos al nivel crítico para dicha especie, por lo que valores por encima de este no es de esperar respuesta al agregado de P.

Hay casos como los de los sitios BAC02 y BON02 que sin mostrar diferencia significativa en los tratamientos, si muestran una tendencia hacia un modelo de respuesta matemático. En estos casos se aprecian valores de CV altos, lo que puede explicar que la tendencia no se traduzca en una respuesta significativa.

#### 4.2.2 Fracción Gramínea

En el cuadro 14 se indica el porcentaje de nitrógeno de la fracción gramínea del forraje producido. El análisis para las gramíneas se realizó solo para el 2001 y con el objetivo de evaluar si hubo respuesta a P. En el sitio CAS1601 no había gramíneas, y en FHF01 los datos no eran suficientes para un análisis de este tipo, por ende no se muestran resultados.

Cuadro 14- Porcentaje de nitrógeno en Gramínea por corte por sitio, año 2001

Sitio	CAS1701		COO01	FHF01	FSF01	GRI01		PLA01		
	1	2	1	1	1	1	2	1	2	3
	% de Nitrógeno en planta									
Tratamiento										
0	1.86	1.68	1.26	0.90	0.97	1.03	1.01	1.56	1.55	1.37
40	2.11	1.91	1.23	1.12	1.15	0.99	1.15	1.86	1.51	1.46
80	1.80	1.73	1.41	1.18	0.99	1.21	1.08	1.80	1.62	1.48
120	2.14	1.91	1.21	1.48	1.26	0.96	0.99	1.84	1.68	1.59
Anova										
Tratamiento	0.029	0.024	ns		ns	ns	ns	ns	ns	ns

CV%	3.4	5.2	19.2		16.8	17.8	24.6	7.7	8.7	6.7
Contrastes										
P0 vs agreg	0.005	0.019	ns		ns	ns	ns	0.023	ns	0.052
Lineal	0.064	0.047	ns		ns	ns	ns	0.049	ns	0.024
Cuadrático	0.02	ns	ns		ns	ns	ns	0.096	ns	ns

ns: no significativo, P>0.10

En los únicos sitios donde se dio respuesta significativa en el porcentaje de N al agregado de P fue en CAS1701 y PLA01. En CAS1701 no se había observado respuesta significativa en producción de materia seca de la fracción leguminosa, pero sí en el total de la mezcla. Por ende, la respuesta se dio en la gramínea, lo que un mejor desarrollo inicial (radicular) de esta especie llevó a que absorbiera más nitrógeno y exprese su respuesta en este análisis. Para este análisis, CAS1701 es el sitio que presenta menores coeficientes de variación de los datos. El otro sitio donde se observó una respuesta de tipo lineal-plateau fue en PLA01 en el primer corte. En los restantes sitios las tendencias no resultaron muy claras.

Según García et al (2003), los cultivares de raigrás mantienen hasta el mes de Noviembre contenidos de PC superiores al 15%, (o sea, %N = %PC / 6,25 = 2.4% N). Los valores de los cortes realizados en diciembre estuvieron por debajo del obtenido por García et al.

En el cuadro 15 se indica el porcentaje de P de la fracción gramínea del forraje producido.

Cuadro 15- Porcentaje de P en Gramínea por corte por sitio, año 2001

Sitio	CAS1701		COO01	FHF01	FSF01	GRI01		PLA01		
Corte	1	2	1	1	1	1	2	1	2	3
	% de Fósforo en planta									
Tratamiento										
0	0.30	0.28	0.23	0.24	0.09	0.21	0.16	0.19	0.29	0.23
40	0.34	0.23	0.25	0.17	0.12	0.27	0.19	0.32	0.30	0.23
80	0.33	0.23	0.24	0.25	0.13	0.21	0.22	0.26	0.30	0.27

120	0.38	0.25	0.25	0.19	0.16	0.20	0.20	0.34	0.32	0.29
Anova										
Tratamiento	ns	0.09	ns		0.026	0.095	ns	ns	ns	0.07
CV%	24.6	10.3	6.4		17.4	15.5	22.5	27.8	11.3	12.6
Contrastes										
P0 vs agreg	ns	0.019	ns		0.009	ns	ns	ns	ns	ns
Lineal	ns	0.08	ns		0.005	ns	ns	ns	ns	0.017
Cuadrático	ns	0.057	ns		ns	0.066	ns	ns	ns	ns

ns: no significativo, P>0.10

Las diferencias en el contenido de P en planta según la dosis de P agregado no mostraron tendencias claras. En los únicos sitios donde se encontró respuesta positiva y significativa fue en FSF01 y PLA01 (tercer corte), con una tendencia lineal en ambos casos. En GRI01 (segundo corte) y PLA01 (primer y segundo corte) se dieron tendencias al aumento en los porcentajes de P con la dosis de P.

#### 4.3 RELACIONES CUANTITATIVAS ENTRE MATERIA SECA DE LEGUMINOSA Y DOSIS DE P

Del análisis anterior se desprende que, en los casos de respuesta al agregado de P, se dieron más claramente en la fracción leguminosa de la mezcla. Por este motivo, y con el objetivo de buscar la asociación entre las variables, se realizó el ajuste de los modelos correspondientes de acuerdo al tipo de respuesta observada en cada caso. Los resultados correspondientes a la producción total del año 2001 se presentan en el Cuadro 16.

Cuadro 16- Relaciones cuantitativas entre materia seca total de leguminosa y dosis de P para cada sitio, año 2001

Sitio	Intercepto	Coef. lineal	Plateau	R <sup>2</sup>	Dosis plateau
CAS1601	1477	5.03	-	0.35	-
CAS1701	2047	15.86	2795	0.13	47
COO01	60	5.28	332	0.34	51

FHF01	709	10.7	1159	0.41	42
FSF01	758	12.60	1137	0.32	30
GRI01	178	6.61	556	0.44	57

En el cuadro no se indica el ajuste para PLA01, ya que no fue observada respuesta significativa al agregado de P. De los seis restantes sitios, sólo CAS1601 mostró un ajuste lineal significativo. Los restantes sitios mostraron mejores ajustes del modelo lineal-plateau, arrojando mayores valores de  $R^2$ , aunque en términos generales debe observarse que dichos valores fueron generalmente bajos. Esto se debe principalmente a una muy alta variabilidad de los datos experimentales, más que al uso de un modelo inadecuado. Esto presenta limitaciones a la hora de explicar la respuesta observada en términos de un modelo de respuesta.

Hay que destacar los valores de MS del intercepto de la curva de respuesta, o sea el rendimiento alcanzado sin el agregado de P. Este valor es muy variable entre los sitios, y atendiendo a los sitios CAS1601 y GRI01, el fertilizar no tiene el mismo significado productivo y económico según el grado de respuesta estimado, ya que puede ser más productivo fertilizar en GRI01 que en CAS1601 por más que los valores de coeficiente lineal estimados sea menor en el primero.

Para complementar el análisis anterior, se analizó la respuesta por corte en CAS1701 y GRI01, en cuyos sitios se realizaron dos cortes.

Cuadro 17- Análisis de regresión lineal materia seca leguminosa para cada sitio por corte, año 2001

Sitio	Corte	Intercepto	Coef. lineal	plateau	$R^2$	Dosis plateau
CAS1701	1	1135	7.53	-	0.19	-

GRI01	1	54	3.93	302	0.54	63
	2	150	3.00	270	0.21	40

En CAS1701 sólo fue significativa la respuesta en el primer corte, aunque el modelo ajustado tuvo un bajo valor de  $R^2$ . Para GRI01 vemos que aumenta el grado de asociación de las variables para el primer corte con respecto al total, así como también la importancia del valor estimado de coeficiente lineal respecto al intercepto. Se nota que a medida que se aproximan los climas más estivales (2º corte), el coeficiente lineal es menor determinando una menor respuesta al agregado de P.

Para los otros sitios, el análisis no cambia al separar la respuesta por corte. En el caso del sitio PLA01, podemos decir que al no encontrar ningún tipo de respuesta al agregado de P en todos los análisis anteriores, ya sea tanto de MS como de porcentaje de P foliar, es posible que la disponibilidad de P en suelo sea suficiente para el desarrollo de la pastura.

Tomando en cuenta las relaciones significativas, según la fase lineal de la curva de respuesta, se observó un aumento promedio de 8.05 Kg MS de forraje por Kg  $P_2O_5$  agregado, valor mayor a lo esperado según la bibliografía (los datos obtenidos por Morton y Garayalde para trébol blanco fueron de 3.6 y 6.25 kg MS/kg de  $P_2O_5$  agregado para primer y segundo corte respectivamente). Cabe aclarar que en los trabajos citados se ajustó un modelo lineal de respuesta y no lineal-plateau.

Atendiendo los valores de Dosis Plateau, esto es la dosis de  $P_2O_5$  en la que la curva de respuesta se vuelve constante, vemos que el valor promedio de este coeficiente es de 45.4 kg. Esto nos lleva a determinar que el gran impacto de la fertilización fosfatada para estos sitios en este año de estudio, se dio

cuando se pasaba de no fertilizar a la mínima dosis en estudio (40 kg de  $P_2O_5$  / hectárea).

Para el año 2002 fue realizado el mismo análisis que para el 2001. En el cuadro 18 se indican los resultados correspondientes a la producción total de materia seca de leguminosa.

Cuadro 18- Análisis de regresión lineal materia seca leguminosa para cada sitio, año 2002

Sitio	Intercepto	Coef. lineal	plateau	R <sup>2</sup>	Dosis plateau
BAC02	2497	21.73	-	0.25	-
BON02	712	29.54	1780	0.44	36
COO02	1926	14.87	-	0.21	-
GRI02	777	10.93	-	0.37	-
SPC02	1876	11.53	-	0.21	-

Al igual que para el 2001, no se indican los ajustes para los sitios donde no se observó respuesta al agregado de P (FAR02 y PLA02). Haciendo una comparación con el análisis para el año 2001, vemos que al tratarse de otra especie en estudio los valores estimados de intercepto y coeficiente lineal son muy distintos, encontrándose respuesta en la mayoría de los sitios, y en mayor grado, a diferencia de lo que sucedía en el 2001. De igual forma, se destacan los bajos coeficientes de R<sup>2</sup> observados en los ajustes, provocados por una alta variabilidad de los datos experimentales.

Con la excepción de BON02, que fue el que obtuvo mayor grado de asociación entre variables al ser ajustado a un modelo lineal-plateau, los restantes sitios se ajustaron a un modelo lineal. Dentro de estos últimos, el de mayor grado de asociación entre variables fue GRI02, correspondiéndose con

lo sucedido para el año 2001. Aquí vemos que con 1 Kg de  $P_2O_5$  se incrementa en 10,93 Kg de MS de trébol rojo. En el trabajo de Chilibroste et al. (op cit.) para trébol rojo encontraron que el incremento en rendimiento era de 7,9 Kg MS/kg  $P_2O_5$ , por lo que vemos que en el caso de GRI02 el nivel de respuesta estimado sería superior tratándose del mismo tipo de suelo y la misma especie.

Dentro del grupo de respuesta lineal, el sitio BAC02 fue el que mayor respuesta al agregado de fósforo obtuvo, ya que con 1 Kg de  $P_2O_5$  se incrementa en 21,73 Kg de MS de trébol rojo. Pero este sitio presenta un valor de asociación entre variables más bajo que GRI02 con un intercepto estimado tres veces más grande. Por ende se podría decir que la respuesta a la fertilización es más productiva en GRI02 que en BAC02 en términos relativos.

En el Cuadro 19 se discrimina la respuesta de cada sitio por cada corte realizado.

Cuadro 19- Análisis de regresión lineal materia seca leguminosa para cada sitio por corte, año 2002

Sitio	Corte	Intercepto	Coef. lineal	plateau	R <sup>2</sup>	Dosis plateau
BAC02	1	521	8.88	-	0.35	-
	2	1976	12.85	-	0.17	-
BON02	1	270	15	930	0.35	44
	2	502	12.70	1151	0.39	51
COO02	1	392	5.29	-	0.24	-

	2	1534	9.58	-	0.16	-
GRI02	1	238	6.84	-	0.64	-
	2	539	1.53	-	0.14	-
SPC02	1	360	4.86	-	0.47	-
	2	743	36.01	2108	0.34	38

Del mismo modo que ocurrió en el análisis para el año 2001, vemos que en todos los casos los mejores ajustes se dan en el primer corte, la excepción la hace el sitio BON02 que no tiene grandes diferencias de  $R^2$  entre primero y segundo corte y tiene una curva de respuesta del tipo lineal-plateau.

De los sitios en que los datos se ajustaron a una respuesta lineal, en GRI02 y BAC02 vemos un valor de  $R^2$  para el primer corte superior a los encontrados sin separar por corte, mientras que para el segundo corte en ambos sitios no se ajusta el modelo.

Igualmente a lo sucedido para el año anterior y en todos los análisis de respuesta de materia seca, el sitio PLA02 no muestra ningún grado de asociación entre las variables ya sea para el primero como para el segundo corte.

Los sitios en los que se ajusta el modelo de regresión se aprecia que el intercepto estimado presenta valores inferiores a los sitios donde dicho modelo no se ajusta. Esto probablemente signifique que en dichos sitios con el P disponible en el suelo sea suficiente para el desarrollo de la pastura (trébol rojo).

Dentro de los sitios que se ajustaron a un modelo lineal-plateau, en BON02 vemos que a la dosis de fósforo en donde la curva se hace constante (44 y 51 kg de  $P_2O_5$  primer y segundo corte respectivamente) le corresponden

valores de fósforo foliar de 0.20 y 0.13 %. Para SPC02 segundo corte, a la dosis plateau de 38 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> le corresponde un % de fósforo foliar de 0.12. En ambos casos se obtienen valores muy por debajo de los referidos en la bibliografía como niveles críticos para el trébol rojo.

#### 4.4 *RELACIONES ENTRE ÍNDICES DE DISPONIBILIDAD DE P EN EL SUELO Y PARÁMETROS DE RENDIMIENTO*

La disponibilidad de P del suelo fue evaluada por diferentes metodologías analíticas, ya descritas en materiales y métodos. Dentro de ellas se evaluaron tres métodos clásicos (Bray 1, ácido cítrico y Mehlich 3), así como dos variantes del método Bray 1, a través de las cuales se realizaba la extracción a posteriori de un período de incubación de 3 y 7 días. El objetivo que se pretendió fue de simular los procesos de liberación de P que ocurren frente a condiciones de frecuentes excesos de agua en los suelos, tal como ocurre en estas situaciones de producción. En el Cuadro 20 se presentan los valores promedio, desvíos, máximos y mínimos para cada método.

Cuadro 20. Valores promedio, desvíos, máximos y mínimos de P extraído por los diferentes métodos evaluados para los 14 sitios.

	Bray	Ác. Cítrico	Mehlich 3	Bray Inc. 3d.	Bray Inc. 7d.
Promedio	6.7	7.4	10.4	34	44
D. Std.	2.9	2.4	3.7	10.1	13.1
Máximo	12.6	13.4	20	56.7	68
Mínimo	2.7	3.7	5.1	16.7	19.3

Hay una variación entre los métodos de estimación de la disponibilidad de fósforo en suelo. Bray, Ác. Cítrico y Mehlich 3 presentan valores similares, con menor variación en el segundo, mientras que los métodos con incubación de suelo estiman más fósforo disponible.

Se aprecia que bajo condiciones de anaerobiosis del suelo el valor estimado por Bray aumenta de 6.7 a 34 ppm en solo 3 días de incubación (unas 5 veces), y a medida que pasan los días de incubación mayor es el aumento de P disponible. Este aumento estaría explicado principalmente por la liberación de P desde compuestos en los cuales se encuentra ligado al hierro, luego de la reducción de éste. No se descartaría la liberación a partir de P-Al (por aumento del pH), así como por mineralización de P orgánico.

La variabilidad de los datos es alta para todos los métodos de análisis de suelo. Si relativizamos el desvío estándar al promedio (Coeficiente de variación), se ve que Bray es el que presenta mayor valor (CV= 42.6%). Y los métodos con incubación de suelo son los que presentan menor variabilidad de los datos (CV= 29.8% para ambos métodos).

Se realizaron correlaciones entre las cantidades de P extraídas por los diferentes métodos. Los valores de dichas correlaciones se indican en el cuadro 21.

Cuadro 21-Matriz de correlaciones entre los distintos métodos de análisis de suelo utilizados.

	<b>Bray</b>	<b>Citrico</b>	<b>Mehlich</b>	<b>Bray Inc 3</b>	<b>Bray Inc 7</b>
<b>Bray</b>	1	0,289 **	0,516 ***	0,448 ***	0,475 ***
<b>Citrico</b>		1	0,597 ***	0,374 ***	0,424 ***
<b>Mehlich</b>			1	0,537 ***	0,516 ***
<b>Bray Inc 3</b>				1	0,883 ***
<b>Bray Inc 7</b>					1

Significativo con  $P < 0.01$ \*\*\*,  $P < 0.05$ \*\* ,  $P < 0.1$ \*, No significativo ns

Observando los datos vemos que en todos los casos las correlaciones son altamente significativas, lo cual indica que los diferentes métodos extraen cantidades proporcionales de P. Las correlaciones más altas surgen entre los métodos por incubación. Los métodos Bray 1 y Cítrico presentaron las más bajas correlaciones entre sí. Para este último caso, aunque las correlaciones son significativas, existen algunas diferencias en las estimaciones de la disponibilidad de P del suelo realizada por parte de ambos métodos.

Se evaluó la capacidad predictiva de la disponibilidad de P para la planta realizada por los diferentes métodos. Para ello se realizaron las correlaciones entre los valores de extracción realizados por cada método y cinco índices de planta (índices de asimilabilidad):

- rendimiento total de leguminosa del tratamiento sin agregado de P (R0)
- rendimiento del testigo (suma de cortes) relativo a los dos tratamientos fertilizados que dieron el mayor rendimiento de leguminosa (RR)
- incremento de rendimiento de materia seca total de leguminosa por fertilización (IRF), tomando como base los dos tratamientos fertilizados que dieron el mayor rendimiento de leguminosa
- coeficiente b de la ecuación de regresión entre rendimiento total de leguminosa y dosis de P, de acuerdo al modelo de mejor ajuste, para los sitios con respuesta significativa

- porcentaje de P de la materia seca de leguminosa del primer corte.

Además de los valores correspondientes a los métodos por incubación durante 3 y 7 días (BI3 y BI7, respectivamente), se calcularon dos índices:

- el incremento absoluto en el valor de análisis post incubación, tomando como referencia al valor de Bray 1 sin incubar ( $[BI3-Bray]$  y  $[BI7-Bray]$ , para 3 y 7 días de incubación respectivamente)
- el incremento relativo en el valor de análisis post incubación, tomando como referencia al valor de Bray 1 sin incubar ( $[B-Bray 1]/Bray 1$ ) (IRBI3 y IRBI7, para 3 y 7 días de incubación respectivamente).

En el Cuadro 22 se indican los resultados de este análisis.

Cuadro 22- Correlaciones entre los índices de disponibilidad de P evaluados y los índices de asimilabilidad, basados en parámetros de rendimiento y absorción de P.

	R0	RR	IRF	Coef b	PPL
BRAY	0.04982 0.7154	-0.15088 0.2761	0.42138 0.0032	0.17776 0.6473	0.35269 0.0111
CITRICO	-0.14929 0.2721	-0.1274 0.3586	0.10707 0.4738	-0.17004 0.6618	-0.0859 0.5489
MEHLICH	-0.10933 0.4225	-0.12984 0.3494	0.17649 0.2353	-0.14437 0.711	0.17995 0.2064
BI3	-0.26184 0.0512	-0.36192 0.0072	-0.01963 0.8958	-0.84414 0.0042	0.42064 0.0021
BI7	-0.12293 0.3667	-0.2701 0.0482	0.07558 0.6136	-0.75905 0.0177	0.48677 0.0003
IABI3	-0.30964 0.0202	-0.35777 0.0079	-0.1633 0.2728	-0.78817 0.0116	0.3371 0.0156
IABI7	-0.14644 0.2815	-0.26077 0.0568	-0.01507 0.9199	-0.54046 0.133	0.45381 0.0008
IRBI3	-0.17743 0.1908	-0.03432 0.8054	-0.44364 0.0018	-0.75699 0.0182	-0.09016 0.5292
IRBI7	-0.09542 0.4842	0.01253 0.9284	-0.36732 0.0111	-0.48714 0.1835	0.02612 0.8556

Los valores de correlación entre los índices de disponibilidad y los parámetros de rendimientos fueron muy variables. En algunos casos fueron observadas relaciones significativas, pero éstas fueron muchas veces contradictorias con lo esperado. A modo de ejemplo, el parámetro rendimiento relativo (RR) mostró correlaciones significativas con algunos indicadores (BI3, BI7, IABI3 y IABI7), pero estas fueron negativas, lo que estaría indicando que a una mayor extracción de P por los métodos habría una mayor respuesta de la pastura al agregado de P. Por otra parte, cuando se considera el incremento de rendimiento por fertilización (IRF), no fueron observadas relaciones significativas con los indicadores anteriores. No obstante, se encontraron relaciones negativas y significativas con el incremento relativo en el valor de

análisis por incubación (IRBI3 y IRBI7), lo cual resulta lógico en cuanto a que a mayor liberación de P por incubación, menor aumento de rendimiento por fertilización. Estos resultados contrapuestos tendrían su explicación en la gran variabilidad encontrada en los rendimientos, la cual está fuertemente afectada por otros factores diferentes a la disponibilidad de P por parte de los suelos. Estos factores ya fueron mencionados al discutir los datos de materia seca.

Las correlaciones entre el valor del coeficiente b de la ecuación de regresión entre rendimiento y dosis de P (el cual contempla la respuesta promedio de cada sitio), mostró resultados significativos para los índices de disponibilidad BI3, BI7, IABI3 y IRBI3. Los resultados indican que en la medida de ser liberado más P luego de una incubación anaeróbica, los kg de materia seca aumentados por fertilización son menores. En la Figura 1 se indican las relaciones entre el P extraído post incubación de 3 y 7 días y el parámetro b de las regresiones entre rendimiento y dosis de P.

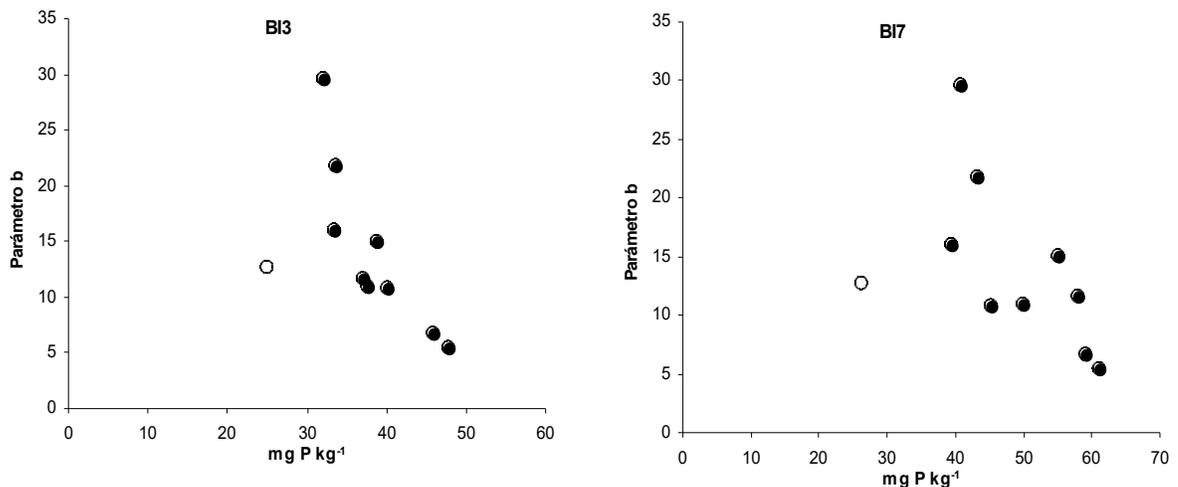
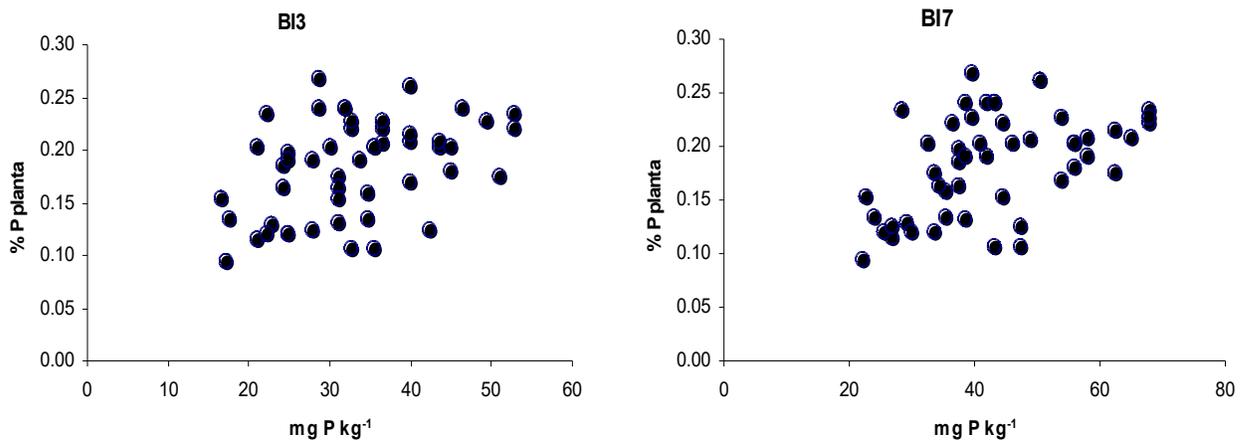


Figura 1- Relaciones entre el P extraído post incubación de 3 y 7 días y el parámetro b de las regresiones entre rendimiento y dosis de P.

Cuando se utiliza como índice de planta el porcentaje de P en la materia seca, también fueron encontrados valores de correlación positivos y significativos con diferentes índices de disponibilidad (BI3, BI7, IABI3 e IABI7). El uso de este indicador, el cual resulta menos influido por los factores que afectan el rendimiento, permite arribar a resultados más confiables. Tanto el método Bray, como los métodos basados en una incubación previa, surgirían como mejores estimadores de la disponibilidad de P, en tanto que ácido cítrico y Mehlich 3 no dieron correlaciones significativas.

Los métodos por incubación mejoran las estimaciones realizadas por Bray, en la medida de mayores correlaciones con el porcentaje de P. Esto estaría indicando que bajo las condiciones de crecimiento de las pasturas de los



experimentos, existieron condiciones de aumento en la disponibilidad de P por anaerobiosis, lo que se tradujo en diferencias en la absorción de P. Estos aumentos fueron de una magnitud proporcional a las liberaciones ocurridas en condiciones controladas de laboratorio, tales como las implementadas para el método. En la Figura 2 se indican estos resultados para los dos métodos por incubación.

Figura 2. Relaciones entre el P extraído post incubación de 3 y 7 días y el porcentaje de P en el forraje.

En síntesis, entre los métodos de estimación de la disponibilidad de P evaluados, los métodos que simulan la liberación de P en condiciones de anaerobiosis (métodos por incubación) fueron los que mostraron mayores relaciones con los parámetros de planta evaluados (índices de asimilabilidad).

## 5 CONCLUSIONES

- Se observó un aumento en la producción de forraje con el agregado de P. En las praderas del año 2001 la mezcla forrajera fue trébol blanco, lotus y raigrás, encontrándose respuesta significativa en aquellas con un alto porcentaje de leguminosas. Las praderas del año 2002 fueron de leguminosa pura (trébol rojo), en las cuales se observó respuesta a P en cinco de los siete sitios.
- En la mayoría de los sitios se observó respuesta significativa del rendimiento de Materia seca de leguminosa al agregado de P, siendo ésta más notoria generalmente en el primer corte y con una tendencia lineal-plateau en 2001 y lineal en 2002. Esta diferencia podría deberse

a que en el 2001 una de las especies fue el trébol blanco, de alta respuesta a P, aunque de lenta instalación (comparándola con trébol rojo), en tanto que la otra fue lotus, con menores requerimientos por P. En el 2002 la especie instalada fue trébol rojo, de mayor velocidad de crecimiento y respuesta intermedia a P que las anteriormente mencionadas.

- La mayor respuesta encontrada en el primer corte se explica por los altos requerimientos de P de las plantas para su instalación. Por otra parte, las temperaturas bajas en esa etapa del año, determinan no sólo una menor disponibilidad del P del suelo, sino también un menor crecimiento radicular de las plantas.
- En las praderas de trébol blanco, lotus y raigrás del 2001, donde se ajustó un modelo lineal plateau, la respuesta importante fue a la primera dosis de P agregado, luego de la cual la producción de materia seca por unidad de P agregado mostró pocas variaciones. Para estos sitios se encontró una respuesta promedio en el primer corte de 7.5 kg MS ha<sup>-1</sup> de aumento en la producción de forraje de leguminosa por kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> agregado.
- Para las praderas de trébol rojo se encontró generalmente una respuesta lineal, mostrando un aumento de 8.2 kg MS por kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> agregado.
- No se encontró respuesta significativa al agregado de fósforo en el porcentaje de nitrógeno foliar para ninguno de los dos años de estudio.

Una explicación podría ser el efecto negativo de los períodos de anegamiento del suelo en la eficiencia del mecanismo de fijación de nitrógeno. Sin embargo, en la mayoría de las situaciones el tratamiento testigo mostró valores de %N más bajos que el promedio de los tratamientos fertilizados.

- Si bien se observó una tendencia a mayores contenidos de fósforo en el forraje con la fertilización fosfatada, esta fue de escasa magnitud. Esto, asociado a una alta variabilidad determinó que en ambos años las diferencias sólo fueron significativas en algunos sitios. Por otra parte, sólo en tres sitios del segundo año, se llegó a los niveles críticos de P en el forraje de trébol rojo sugeridos por la bibliografía.
- No se observó respuesta clara del agregado de P en el contenido de fósforo y nitrógeno de la fracción gramínea de las praderas mixtas. Debe destacarse que se evaluaron solamente los dos primeros cortes de la pastura, por lo cual es de esperar que los mecanismos de transferencia de nitrógeno sean más relevantes en etapas posteriores de la pastura.
- Dentro de los indicadores de disponibilidad de P del suelo, los métodos basados en el extractante de Bray 1 luego de una incubación previa de la muestra de suelo surgirían como los mejores estimadores de dicha disponibilidad. Bray 1 sólo mostró alta correlación con uno de los índices de planta, en tanto que ácido cítrico y Mehlich 3 no dieron correlaciones significativas con ningún índice de asimilabilidad. Esto indicaría que los métodos por incubación estimarían mejor el P que

potencialmente se libera cuando los suelos pasan por períodos relativamente prolongados de anaerobiosis, como los que ocurrieron durante los períodos de evaluación de las pasturas.

## 6 RESUMEN

Tradicionalmente el cultivo de arroz en el Uruguay ha sido realizado como monocultivo, aunque en los últimos años, ha ocurrido un aumento en la diversificación, aumentando el área en rotación con pasturas para producción de ganado de carne. Es común el uso de fertilizante fosfatado en la etapa de cultivo de arroz, no siendo habitual su aplicación en la etapa de pastura del sistema. No obstante, la utilización de leguminosas con altos requerimientos de P en la mezcla podría justificar su uso. No se cuenta con información de respuesta al agregado de P en estos sistemas, ni tampoco han sido evaluadas las metodologías de análisis de la disponibilidad de P existentes. Por tal motivo, los objetivos planteados en el presente trabajo fueron: a) cuantificar la magnitud de la respuesta al agregado de P en producción y calidad de forraje de pasturas instaladas sobre rastrojos de arroz, y b) evaluar el poder predictivo de métodos

de análisis de P disponible en el suelo para estas situaciones. Se evaluaron 7 experimentos de respuesta a P en praderas de trébol blanco, lotus y raigrás instaladas en el año 2001, y 7 en praderas de trébol rojo instaladas en el año 2002, en suelos de planicie de la zona este del país (Cuenca de la Laguna Merim). Los experimentos fueron instalados luego de la cosecha de arroz, siendo los tratamientos 0, 40 80 y 120 kg  $P_2O_5$  agregados por hectárea como superfosfato triple, con cuatro repeticiones. Se evaluó la producción total de forraje de la mezcla y de la fracción leguminosa del primer y segundo corte (producción de invierno-primavera, y producción de primavera tardía, respectivamente), así como el porcentaje de nitrógeno y fósforo en el forraje. Se evaluó la disponibilidad de P del suelo en muestras tomadas en la siembra de las praderas, mediante los extractantes Bray 1, ácido cítrico al 1%, Mehlich 3, y Bray 1 luego de la incubación anaeróbica de la muestra durante 3 y 7 días. Las respuestas más claras de rendimiento de materia seca de forraje se obtuvieron cuando se analizó el primer corte de la pastura (fin de invierno-inicio primavera), y para la fracción leguminosa. Los modelos matemáticos que mejor caracterizaron la respuesta fueron el lineal-plateau para las praderas mixtas del año 2001, y el lineal para las praderas de trébol rojo del año 2002. Para las primeras, la dosis promedio a la cual se alcanzó el máximo rendimiento de MS de leguminosa fue 45 kg de  $P_2O_5$ /ha, con un aumento para el primer corte de 7.5 kg de MS por cada kg de  $P_2O_5$  agregado. En el año 2002, la respuesta lineal al agregado de fósforo, fue de 8.2 kg de MS (primer corte) por cada kg de  $P_2O_5$  agregado. Si bien se observó una tendencia a mayores contenidos de P y N en el forraje con la fertilización, esta no resultó significativa para todos los sitios. Los métodos para estimar la disponibilidad de P que mejor se correlacionaron con parámetros de planta (coeficiente angular de la función de respuesta y porcentaje de P en el forraje) fueron los métodos con incubación de la muestra previa a la extracción por el extractante de Bray 1. Los restantes métodos no

mostraron correlaciones significativas con los índices de planta, excepto Bray 1 con el porcentaje de P en planta.

## 7 SUMMARY

Traditionally irrigated rice crops in Uruguay have been carried out as monoculture, although there was an increase of this crop in rotation with pastures for meat production in last years. Generally phosphate fertilizer is applied to the rice crop, not being usual their application in the pasture. Nevertheless, the use of legumes with high requirements of P could justify its use. There is not information about the pasture response to P applied, neither the capability of de P soil test for diagnosis of the P availability in these production systems. The objectives of this research were: a) to quantify the pasture response to P applied, in dry matter production (DM) as well as in N and P content in the forage of pastures installed on stubbles of rice, and b) to evaluate different methods of available P in these situations. Seven field trials of white clover, lotus and raygrass prairies were evaluated (year 2001), and seven

field trials with red clover (year 2002). The soils of the experiments are developed on sedimentary plains of the east area of the country (Laguna Merim watershed). The trials were installed after the rice crop harvest, being the treatments 0, 40 80 and 120 kg ha<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> added as triple superphosphate, with four replications. The total forage production and the legume production were evaluated for the winter-spring production, and late spring production, as well as the N and P content in the forage. Soil P availability was evaluated in samples taken at seedling, by Bray 1, 1% citric acid and Mehlich 3 extractants, and Bray 1 extractant after anaerobic incubation of the sample during 3 and 7 days. The clearest yield response of P added in forage yield was obtained when the winter-spring production was analyzed, and for the legume fraction. The mathematical relationships that better characterized the response were the lineal-plateau model for the mixed prairies in 2001, and the lineal model for the red clover prairies in 2002. For the first ones, the average rate for maximum legume yield was 45 kg of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, with an increase of 7.5 kg of DM ha<sup>-1</sup> per kg of added P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. In 2002, when lineal response was observed, it was found 8.2 kg of DM ha<sup>-1</sup> (winter-spring) for each kg of added P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. A tendency for higher N and P contents in the forage with fertilization was observed, but it was not significant for all the situations. The methods to estimate the P availability that better correlated with plant parameters (angular coefficient of the response function and percentage of P in the forage) were the methods with incubation of the sample prior the extraction with Bray 1 extractant. The other methods did not show significant correlations with the plant indexes, except Bray 1 with the percentage of P in plant.

## 8 BIBLIOGRAFÍA

AYALA TORALES, A. T.; DEREGIBUS, V. A.; MOAURO, P. R. 2000. Diferencial response of forage legumes to phosphorus application. *New Zeland Journal of Agricultural Research*. 43: 473-480.

ARECHAVALETA, ENRIQUE J.; BERVEJILLO, PABLO E. 1980. Establecimiento y producción en el primer año de mezclas forrajeras sembradas sobre rastrojo de arroz. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Facultad de Agronomía, Uruguay.

BORDOLI, M. 1998. Fertilización de pasturas de leguminosas y de pasturas mezclas de gramíneas y leguminosas. In. *Manejo de la fertilidad de suelos en*

sistemas extensivos. Curso de actualización profesional. Bañado de Medina, Melo. pp 71-79.

CHANG, S.C. 1978. Evaluation of the fertility of rice soil. In: Soil and rice. IRRI. Los Baños, Laguna, Phillipines. p 521 –541.

CHILIBROSTE, J.; MALLARINO, J.L.; PISÓN, P.(1982). Evaluación de los requerimientos de fósforo en la instalación de leguminosas forrajeras. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 249p.

DE DATTA, S. K., BISWAS, T. K., and C. CHAROENCHAMRATCHEEP 1990. Phosporus requirements and management for lowland rice. Internacional rice research Institute. P 307

DURÁN, A. 1991. Los suelos del Uruguay. Caracterización de los suelos del Uruguay. 2ª edición, Editorial Agropecuaria Hemisferio Sur. Montevideo, Uruguay. 398p.

FACULTAD DE AGRONOMÍA, DEPARTAMENTO DE SUELOS Y AGUAS, CÁTEDRA DE FERTILIDAD Y FERTILIZANTES, Fósforo. 1990. Guía de fertilidad de los suelos. 104 p.

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

GARAYALDE, A.; MORTON, M. (1983). Fertilización fosfatada para la instalación de leguminosas forrajeras puras. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 111p.

HERNANDEZ, J. (1995). Dinâmica de fósforo em alguns solos de Uruguai afetada pela variação temporal nas condições de oxidação-redução. Tesis M.Sc. Porto Alegre, Brasil, Faculdade de Agronomia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 173p.

HERNÁNDEZ, J. y ZAMALVIDE, J.P. (1998). Procesos de retención de fósforo por los suelos evaluados a través de parámetros de suelo y planta. *Agrociencia* 2: 48-63.

HERNÁNDEZ, J.; MEURER, E. (2000). Disponibilidade de fósforo em seis solos do Uruguai afetada pela variação temporais das condições de oxidação-redução. *Rev. Bras. Ci. Solo.* 24:19-26.

PATRICK, W.H.Jr.; MAHAPATRA, I.C. 1968. Transformation and availability to rice of nitrogen and phosphorus in waterlogged soils. In: *Advances in Agronomy* 20: 323 –359.

PONNAMPERUMA, F.N. 1972. The chemistry of submerged soils. In: *Advances in Agronomy* 24: 29-96.

SANYAL, S. K.; DE DATTA S. K. 1991. Chemistry of phosphorus transformation in soil. *Advances in Soil Science* 16: 1-119.

SOMADO, E. A., BECKERB, M., KUEHNEA, R., SAHRAWATC, K. L. and VLEDK, P. L. G. 2003. Combined Effects of Legumes with Rock Phosporus on Rice in West Africa. American Society of Agronomy. J. 95: 1172-1178

TURNER, F.T.; GILLIAM, J. W. 1976. Increased P diffusion as an explanation of increased P availability in flooded rice soils. Plant and soil 45: 365-377.

URUGUAY. MINISTERIO DE GANADERÍA AGRICULTURA Y PESCA. DIRECCIÓN DE SUELOS Y FERTILIZANTES. 1979. Carta de reconocimiento de Suelos del Uruguay: Clasificación de Suelos. 3 452p.