

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA

FACULTAD DE AGRONOMIA

**EFFECTO DE LA FERTILIZACION FOSFATADA EN UN MEJORAMIENTO
FORRAJERO SOBRE RASTROJO DE ARROZ**

por

Alejandra Rossana HIRCZAK GONZALEZ

María José RODRIGUEZ de PALLEJA

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

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2005**

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. M. Phil. Raúl Bermúdez

Fecha:

Autor:

Alejandra Rossana Hirczak González

María José Rodríguez de Palleja

AGRADECIMIENTOS

AGRADECIMIENTOS

Al Ing. Agr. Raúl Bermúdez por su colaboración y dedicación.

A todo el personal del INIA Treinta y Tres, muy especialmente a Gerardo, John y Caco por su ayuda en el trabajo de campo y laboratorio; a Belky por su colaboración en la revisión bibliográfica; a Olga por su aporte a la compaginación del trabajo; a Gloria por su gran amabilidad y amistad. A Bruno por trasladarnos todos los días, a Nancy, Doris y Susana por su cordialidad y simpatía.

Al Ing. Agr. Jorge Hernández por su invalorable apoyo y valiosas sugerencias para la realización de esta tesis.

Al Ing. Agr. Omar Casanova por su amabilidad y cooperación.

A mis padres, por su constante apoyo y motivación, porque sin ellos no hubiese sido posible lograrlo.

A mis hermanos por poder contar con ellos cada vez que los necesité.

A mis sobrinos que fueron el motivo de mi esfuerzo.

A mis abuelos y muy especialmente al tata por estar siempre conmigo.

A mi novio por su invalorable comprensión y por acompañarme a lo largo de toda la carrera.

A mi familia y amigos que me acompañaron a lo largo de todo el camino, ayudándome a seguir a pesar de los tropiezos.

A mi madre, mi amiga incondicional, mi estímulo constante.

A mi abuela, mi más fiel cumplidora de deseos y a mi abuelo mi ángel guardián.

Muchas gracias por estar siempre a mi lado sintiendo como propias mis decepciones y haciendo de mis logros un motivo para festejar.

LISTA DE CUADROS

Cuadro número	Página
1. Rango crítico de P estimado por el método Bray I para diferentes especies forrajeras (Hernández, 2004)	13
2. Variación en los niveles de P asimilable de dos suelos sujetos a tres tratamientos: a) un exceso de agua; b) un exceso de agua y posterior secado, y c) sin exceso de agua, bajo condiciones normales de difusión de oxígeno (Ferrando et al, 2002)	18
3. Recomendaciones tentativas de fertilización inicial (Alvarez et al, 1977)	29
4. Análisis químico del potrero en el que se instaló el experimento.....	55
5. Análisis de suelo (2003).....	56
6. Precipitaciones (mm) en los años 2003-2004, y promedio de la serie histórica 1973-2004, en la U.P.A.G.....	56
7. Temperatura (°C) en los años 2003-2004, y promedio de la serie histórica 1973-2004, en la U.P.A.G.....	57
8. Efecto de la fertilización fosfatada sobre el número de plantas/m ² , peso/planta y número de hojas expandidas/planta de trébol blanco para la primera evaluación (6/08/2003) y segunda evaluación (3/09/2003)	60
9. Efecto de la fertilización fosfatada sobre el número de plantas/m ² , peso/planta y número de hojas expandidas/planta de trébol rojo para la primera evaluación (6/08/2003) y segunda evaluación (3/09/2003)	62
10. Efecto de la fertilización fosfatada sobre el número de plantas/m ² , peso/planta y número de tallos/planta de lotus para la primera evaluación (6/08/2003) y segunda evaluación (3/09/2003)	64

11. Efecto de la fertilización fosfatada sobre el número de plantas/m ² , peso/planta y número de macollos/planta de raigrás para la primera evaluación (6/08/2003) y segunda evaluación (3/09/2003)	65
12. Efecto de la fertilización fosfatada en la producción de forraje (kg/ha) de materia seca total (MST) y de los distintos componentes trébol blanco (TB), trébol rojo (TR), lotus (L), raigrás (RG), gramíneas naturales (GN) y malezas (MZ) en el primer corte (11/11/03)	67
13. Efecto de la fertilización fosfatada en la producción de forraje (kg/ha) de materia seca total (MST) y de los distintos componentes trébol blanco (TB), trébol rojo (TR), lotus (L), raigrás (RG), gramíneas naturales (GN) y malezas (MZ) en el segundo corte (19/12/03)	68
14. Efecto de la fertilización fosfatada en la producción de forraje (kg/ha) de materia seca total (MST) y de los distintos componentes trébol blanco (TB), trébol rojo (TR), lotus (L), raigrás (RG), gramíneas naturales (GN) y malezas (MZ) en el tercer corte (12/05/04)	69
15. Efecto de la fertilización fosfatada en la producción anual de forraje (kg/ha) de materia seca total (MST) y de los distintos componentes trébol blanco (TB), trébol rojo (TR), lotus (L), raigrás (RG), gramíneas naturales (GN) y malezas (MZ)	70
16. Producción anual de forraje de leguminosas (LEG) en kg/ha y % de las mismas de materia seca, en respuesta a la fertilización fosfatada	71

LISTA DE FIGURAS

Figura número	Página
1. Dinámica del fósforo (Rabuffetti, et al. 1999)	6
2. Respuesta a la fertilización inicial de trébol blanco, trébol rojo, lotus y raigrás en respuesta a la fertilización fosfatada.....	72
3. Evolución de la fracción leguminosa, raigrás y resto para diferentes niveles iniciales de fertilización fosfatada.....	73

TABLA DE CONTENIDO

PAGINA DE APROBACION	II
AGRADECIMIENTOS	III
LISTA DE CUADROS	IV
LISTA DE FIGURAS	V
 1- INTRODUCCION.....	 1
2- REVISION BIBLIOGRAFICA	3
2.1 FOSFORO EN EL SUELO	3
2.1.1 <u>Dinámica, asimilabilidad y formas de fósforo en los suelos</u>	4
2.1.2 <u>El P en la fisiología de la planta</u>	7
2.1.3 <u>Efecto de la deficiencia de P</u>	7
2.1.4 <u>Método de caracterización de fijación de fósforo</u>	8
2.1.4.1 Isotermas de adsorción	8
2.1.5 <u>Estimación de la disponibilidad de fósforo en los suelos</u>	9
2.1.5.1 Métodos de Estimación de P	10
2.1.5.1.1 Bray I	10
2.1.5.1.2 Resinas Catiónicas	11
2.1.5.1.3 Ácido Cítrico.....	11
2.1.5.1.4 Olsen.....	12
2.1.5.2 Poder predictivo de los métodos para suelos del Uruguay	12
2.1.6 <u>Comportamiento del fósforo bajo condiciones de anegamiento</u> .	15
2.1.7 <u>Efecto de la alternancia de períodos de humedecimiento del suelo y secado en la retención y disponibilidad de P para las plantas</u>	17
2.2 RESPUESTA AL AGREGADO DE FOSFORO EN PASTURAS CON LEGUMINOSAS EN LAS PLANICIES DEL ESTE	21
2.2.1 <u>Respuesta en producción de forraje al agregado de fósforo</u>	22
2.2.2 <u>Calidad de forraje</u>	23
2.3 COMPORTAMIENTO DEL ARROZ CON RESPECTO AL FOSFORO	24
2.3.1 <u>Absorción de P por las plantas de arroz</u>	24
2.4 FERTILIZANTES FOSFATADOS.....	24
2.4.1 <u>Terminología de fertilizantes fosfatados</u>	24
2.4.1.1 P soluble al agua	24
2.4.1.2 P soluble al citrato	25
2.4.1.3 P insoluble al citrato	25
2.4.1.4 P asimilable	25
2.4.1.5 P total	25

2.4.1.6	P soluble en ácido cítrico al 2 %.....	25
2.4.2	<u>Tipos de fertilizantes fosfatados</u>	25
2.4.2.1	Rocas fosfatadas o fosforitas	25
2.4.2.2	Fertilizantes fosfatados solubles.....	26
2.4.2.2.1	Ácido fosfórico (H_3PO_4).....	26
2.4.2.2.2	Ortofosfato de calcio [$Ca(H_2PO_4)_2$].....	26
2.4.3	<u>Reacciones y evolución de los fertilizantes fosfatados solubles en agua aplicados al suelo</u>	26
2.4.3.1	Disolución del fertilizante	27
2.4.3.2	Reacciones de la solución con el suelo	27
2.4.4	<u>Fertilización fosfatada en rotación pastura-cultivo</u>	28
2.4.5	<u>Algunos problemas relacionados con las recomendaciones de fertilización fosfatada en rotación pastura-cultivos</u>	30
2.4.6	<u>Factores que afectan la asimilabilidad de los fertilizantes Fosfatados</u>	30
2.4.6.1	Características del suelo	30
2.4.6.2	Características del material fertilizante.....	31
2.4.6.3	Características del cultivo.....	31
2.4.6.4	Forma y época de aplicación.....	32
2.4.7	<u>Requerimientos y eficiencia del fósforo en las pasturas</u>	33
2.5	IMPLANTACIÓN DE LEGUMINOSAS EN EL RASTROJO DE ARROZ	34
2.5.1	<u>Consideraciones sobre la implantación de pasturas en rastrojo de arroz</u>	35
2.5.1.1	Método de Siembra	35
2.5.1.2	Época de Siembra.....	38
2.5.1.3	Densidad de Siembra.....	39
2.5.2	<u>Ventajas de la siembra sobre rastrojo</u>	40
2.5.2.1	Elección de la mezcla forrajera.....	42
2.5.2.2	Suelos	42
2.5.2.3	Clima	42
2.5.2.4	Propósito	43
2.5.2.5	Especies.....	43
2.5.2.5.1	Trébol Blanco.....	44
2.5.2.5.2	Lotus	45
2.5.2.5.3	Trébol Rojo	46
2.5.2.5.4	Raigrás anual.....	47
2.5.2.6	Competencia	47
2.6	INFLUENCIA DE MICRORELIEVES EN EL DESARROLLO DE LA PASTURA	47
2.6.1	<u>Rastrojo</u>	48
2.6.2	<u>Paja</u>	48

2.6.3	<u>Huella</u>	49
2.6.4	<u>Agua</u>	50
2.7	EMERGENCIA Y ESTABLECIMIENTO DE ESPECIES SEGUN MICRORELIEVE.	51
3-	<u>MATERIALES Y METODOS</u>	54
3.1	UBICACION Y CARACTERISTICAS DEL SUELO	54
3.2	ANTECEDENTES	55
3.3	ANALISIS DEL SUELO	56
3.4	CARACTERIZACION CLIMATICA	56
3.5	DETERMINACIONES EN LA PASTURA	57
3.5.1	<u>Implantación</u>	57
3.5.2	<u>Producción de Forraje</u>	58
3.6	ANALISIS ESTADISTICO	58
4-	<u>RESULTADOS Y DISCUSION</u>	60
4.1	IMPLANTACION	60
4.1.1	<u>Trébol blanco</u>	60
4.1.2	<u>Trébol rojo</u>	62
4.1.3	<u>Lotus</u>	64
4.1.4	<u>Raigrás</u>	65
4.2	PRODUCCION DE FORRAJE	67
4.2.1	<u>Primer Corte</u>	67
4.2.2	<u>Segundo Corte</u>	68
4.2.3	<u>Tercer Corte</u>	69
4.2.4	<u>Producción acumulada del primer año</u>	70
4.3	EVOLUCION DE LAS DISTINTAS FRACCIONES DEL MEJORAMIENTO	73
5-	<u>CONCLUSIONES</u>	75
6-	<u>RESUMEN</u>	76
7-	<u>SUMMARY</u>	77
8-	<u>BIBLIOGRAFIA</u>	78

1- INTRODUCCION

En el Uruguay la estimación de la superficie apta para el cultivo de arroz es de 600.000 has de las cuales el 67% corresponden a la zona Este del país.

En cuanto a la superficie cultivada con arroz en las diferentes zonas, se ve un aumento sostenido en la zona Este (Treinta y Tres, Rocha y Cerro Largo), abarcando un área de 120.094 has (A.C.A, 2003/2004).

La producción de carne vacuna de estos barbechos es de 40-50 kg/ha/año (Bonilla y Grierson, 1982).

Para mejorar dicho indicador, se implementó la técnica de sembrar en cobertura, mezclas de especies forrajeras ; actualmente se siembra por avión sobre el rastrojo recién cosechado, de esta forma se logra una recuperación de la fertilidad por la inclusión de leguminosas y propiedades físicas del suelo.

En el Uruguay los suelos presentan bajo contenido naturales de fósforo, las dosis de P normalmente utilizadas en el cultivo de arroz son bajas y las pasturas sembradas en cobertura que se realizan sobre rastrojo de arroz, en general no son fertilizadas, lo que podría limitar la producción de forraje y una persistencia adecuada de las leguminosas introducidas.

Luego de la cosecha de arroz existe cierta residualidad del fósforo agregado a la siembra del cultivo, que podría ser suficiente para lograr una buena implantación y producción de forraje de las leguminosas introducidas, sin embargo Hernández et al (2003), encontraron respuestas positivas, aunque variables, al agregado de fósforo en pasturas mixtas sembradas sobre rastrojo.

Antiguamente se pensaba en cierta residualidad del fósforo debido a los menores rendimientos obtenidos en el arroz, actualmente la mayor producción por hectárea hace que el cultivo de arroz extraiga más fósforo dejando menos fósforo residual para la pastura, lo más importante es la retención de P por parte del suelo; también cabe aclarar que antes se usaba más fertilizantes fosfatados en comparación con lo que se está usando actualmente (Deambrosi com. per).

En la UPAG, en donde la rotación es corta (2 años de arroz y 2 años de pasturas), resulta de especial interés conocer la eficiencia del fósforo en la rotación arroz-pasturas por lo que se planteó un experimento de largo plazo que permitiría aportar información en el tema.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar y cuantificar la respuesta a la fertilización fosfatada de diferentes especies forrajeras que componen la mezcla de una pastura mixta sembrada sobre rastrojo de cultivo de arroz.

2- REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 FOSFORO EN EL SUELO

El fósforo (P) se clasifica como macronutriente, pese a que su contenido en las plantas es siempre menor que el de nitrógeno, potasio y calcio. Sin embargo, como factor limitante de la producción vegetal, el P es más importante que el calcio y quizás aún que el potasio (Hernández, 1999).

La alta estabilidad (baja solubilidad) de los compuestos fosfatados es la causa inmediata de la deficiencia de fósforo en los suelos para las plantas. Los suelos son deficientes en fósforo cuando la tasa a la que las raíces de las plantas se abastecen es menor a la tasa a la que lo requieren para un óptimo crecimiento (Costin y Williams, 1983 citado por Ferrés et al, 2003).

La baja solubilidad de los compuestos de P en los suelos trae como consecuencia niveles muy reducidos de fosfatos en la solución del suelo, por lo general menores a 0.05 ppm en suelos sin agregado reciente de fertilizantes fosfatados (Hernández, 1999).

Los suelos del Uruguay presentan contenidos deficientes de fósforo, lo que limita la posibilidad de obtener buenos rendimientos en la producción forrajera, por lo tanto es necesario considerar la fertilización fosfatada para superar esta limitante.

En las pasturas, donde las plantas son un producto intermedio, el déficit de fósforo disminuye las tasas de crecimiento y afecta la concentración de fósforo en el forraje y por tanto su calidad nutritiva (Morón, 1996).

Mengel y Kirkby (1982), mencionan que en general el contenido total de fósforo de los suelos está en el rango de 0.02 a 0.15 % de fósforo. La mayoría de los suelos del Uruguay contienen entre 0.02 y 0.08 % de fósforo, valores considerados bajos e inferiores que las cifras de 0.14 % y 0.8 % comúnmente manejadas para nitrógeno y potasio, respectivamente (Hernández, 1999).

2.1.1 Dinámica, asimilabilidad y formas de fósforo en los suelos.

Una diferencia importante a destacar entre el P y otros macronutrientes como nitrógeno y potasio es en cuanto a las formas predominantes en los suelos. Mientras más del 98% del N ocurre bajo forma orgánica, la totalidad del potasio en los suelos se encuentra bajo forma inorgánica. Con respecto al fósforo, para suelos con vegetación de pradera como los de nuestro país, sin fertilización fosfatada existe una equivalencia cuantitativa de ambas formas (Hernández, 1999).

Con respecto al fósforo en la fase sólida del suelo se puede dividir en una fracción orgánica y otra inorgánica. En ambas categorías las cantidades relativas presentes en los suelos son muy variables. La cantidad de fósforo orgánico varía según la cantidad de materia orgánica; por lo tanto, su contenido es comparativamente bajo en los subsuelos y alto en los horizontes superficiales (Hernández, 1999).

Según Dalal (1977) citado por Morón (1992), el contenido de fósforo orgánico oscila en general entre el 20 y el 80 % del fósforo total en el horizonte superficial del suelo.

Si bien existe poca información para los suelos del país, los contenidos en las diferentes formas de fósforo (P) según Rabuffetti et al (1999), pueden oscilar entre:

P inorgánico total..... 50 a 300 ppm

P lábil (Bray I).....1 a 10 ppm (en suelos fertilizados hasta 100 ppm)

P solución.....0.01 a 0.1 ppm (en suelos fertilizados hasta 0.5 ppm)

P orgánico.....20 a 300 ppm

El fósforo inorgánico se encuentra como fosfatos ocluidos y no ocluidos. La fracción no ocluida contiene fósforo en solución, fosfatos adsorbidos a la superficie del suelo y algunos fosfatos minerales. El fosfato ocluido es retenido por minerales de hierro y aluminio (Mengel y Kirkby, 1982, citado por Ferrés et al, 2003).

La fracción inorgánica del fósforo puede ser clasificada en cuatro grupos principales según Chang y Jackson (1957), citado por Ferrando et al, 1997: fosfato de aluminio (Al-P), fosfato de hierro (Fe-P), fosfatos de calcio (Ca-P), y

fosfatos solubles en condiciones de reducción o fosfatos de Fe y Al ocluidos (SR-P).

La proporción relativa de los compuestos inorgánicos de fósforo con hierro, aluminio o calcio es dependiente del pH y de la cantidad y tipos de minerales existentes en la fracción arcilla. En suelos ácidos con predominio de caolinita y óxidos de hierro y aluminio son más importantes las combinaciones con hierro y aluminio. En tanto, en suelos neutros o alcalinos, tienen más importancia los fosfatos combinados con calcio los cuales forman compuestos de baja solubilidad (Morón, 1992).

Dentro del fósforo inorgánico de la fase sólida, se consideran separadamente dos fracciones: una de ellas denominada fósforo lábil y la otra conocida como fósforo fijado (esta fracción representa el fósforo insoluble) (Mengel y Kirkby 1982; Rabuffetti et al, 1983 citado por Ferrés et al, 2003).

Clásicamente, se entiende por lábil o disponible, aquella fracción de fósforo inorgánico presente en la fase sólida capaz de reponer el fósforo presente en la solución del suelo en la medida que disminuya su valor de equilibrio. La absorción por parte de raíces de plantas en crecimiento disminuye constantemente la concentración de fósforo respecto al valor de equilibrio (Morón, 1992).

Dicha fracción de P lábil del suelo está constituida por compuestos insolubles de fósforo, pero de alta reactividad química, que pueden solubilizarse una vez que las concentraciones de P en la solución del suelo bajan por la absorción de las plantas. La presencia de P bajo forma de compuestos de alta reactividad, es la primera característica de importancia de la fracción lábil. La segunda característica es la de no existir un límite claro entre esta fracción y aquella constituida por compuestos menos reactivos, y más estables (más cristalizados), que constituyen el P fijado. Una consecuencia de no poder establecer un límite claro entre ambas formas es la incapacidad de conocer exactamente cuánto P lábil hay en un suelo (Hernández, 2004).

Las plantas absorben fósforo como iones ortofosfatos primarios y secundarios (H_2PO_4^- y HPO_4^{2-}), los cuales están en la solución del suelo. Las cantidades absorbidas de cada uno dependerá del pH de la solución del suelo; a pH de 7.22 hay similares cantidades de ambos. Por debajo de este pH, H_2PO_4^- es la principal forma y es predominante en muchos suelos agrícolas. Los iones ortofosfatos secundarios son más predominantes a valores de pH por encima de 7.22, siendo consumidos por las plantas en forma más lenta que los primarios. Algunos compuestos del fosfato orgánico soluble pueden ser absorbidos por las plantas, pero generalmente son de menor importancia. La

concentración de iones ortofosfatos en la solución del suelo y su mantención a concentraciones adecuadas es de gran importancia para el crecimiento de las plantas (Ferrando et al, 1997).

Según Ferrando et al, 1997 los niveles de fósforo orgánico en el suelo (a nivel mundial) varían, desde casi 0 a más de 0.2 % (más de 50% del P total del suelo).

La fracción orgánica, se encuentra en el humus y materiales orgánicos que pueden o no estar asociados con el humus. La mayor parte del fósforo orgánico del suelo se encuentra en forma desconocida. Dentro de las formas conocidas, las principales se clasifican en cinco clases de compuestos: inositol-fosfato, fosfolípidos, ácidos nucleicos, nucleótidos, y azúcares fosfatados, de los cuales las primeras tres son las dominantes en el suelo (Ferrando et al, 1997).

Las formas orgánicas no se encuentran disponibles directamente para la planta, pero se vuelve disponible como ortofosfato luego de la descomposición de la materia orgánica. Dado que las cantidades liberadas son pequeñas (2-4 %/año) el fosfato orgánico no es normalmente tan importante para la nutrición de las plantas como lo es la fracción inorgánica (Patrick and Mikkelsen, 1971, citados por Ferrando et al, 1997).

Como forma de esquematizar la dinámica del P, se presenta la siguiente figura:

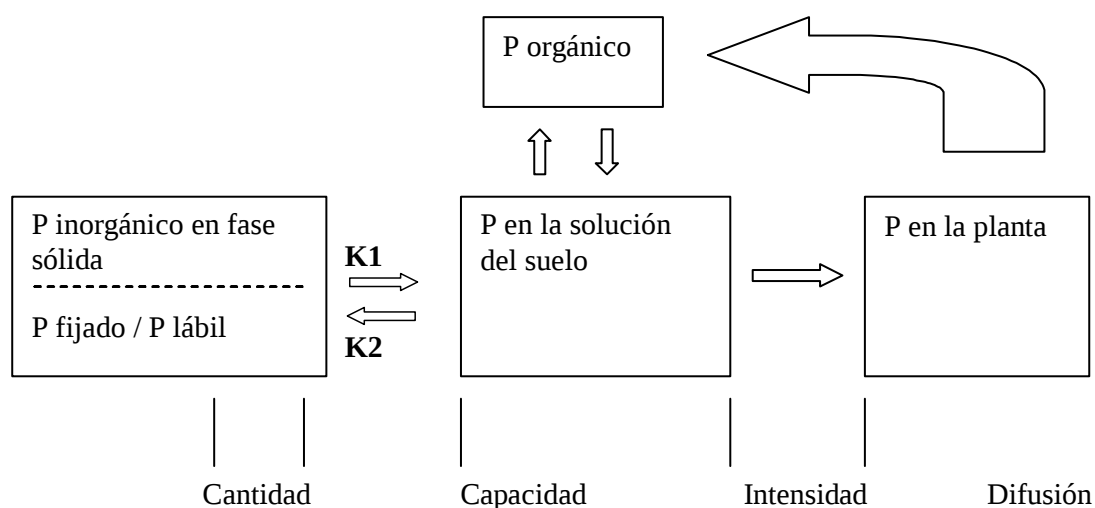


Figura 1. Dinámica del fósforo (Rabuffetti, et al. 1999).

Del mismo se concluye: el fósforo en solución presenta un bajo contenido de P inorgánico (1/1000 a 1/10000), para suelos sin fertilización, esas bajas concentraciones son debidas a la baja solubilidad del P inorgánico por lo tanto podemos afirmar que el equilibrio $K1 \rightleftharpoons K2$ está fuertemente desplazado hacia la fase sólida (Rabuffetti et al, 1999).

En cuanto al fósforo inorgánico está formado por dos fracciones (lábil y fijado), el lábil es aquel que repone el fósforo en la solución cuando este desciende de forma rápida (Rabuffetti et al, 1999). En cambio cuando el fósforo lábil se ha agotado el movimiento de formas no lábiles del suelo es lento (Mengel y Kirkby, 1982; Whitelaw, 2000, citado por Ferrés et al, 2003).

2.1.2 El P en la fisiología de la planta

El P tiene diferentes funciones en la planta, pero una de las más importantes es su rol en el almacenamiento y transferencia de energía obtenida de la fotosíntesis y del metabolismo de los carbohidratos (Hernández, 1999).

El P es también un componente estructural de otros constituyentes biológicos de las plantas, incluyendo los ácidos nucleicos: ácido ribonucleico (ARN) y ácido desoxiribonucleico (ADP) (Hernández, 1999).

El P inorgánico representa la fuente de iones fosfato que entra a la parte orgánica del ciclo metabólico y el depósito de estos iones a medida que salen. Un ión fosfato dado, probablemente no queda por un largo período en forma orgánica o inorgánica, sino que cambia frecuentemente de una a otra (Hernández, 1999).

2.1.3 Efecto de la deficiencia de P

Debido a que el fósforo es un elemento móvil en las plantas y a que las partes jóvenes en crecimiento tienen prioridad, en situaciones deficitarias, los síntomas de carencia se presentan en las hojas viejas, generalmente se traduce en un amarillamiento en las hojas viejas. En las pasturas, donde las plantas son un producto intermedio, el déficit de P disminuye las tasas de crecimiento y afecta la concentración de P en el forraje y su calidad nutritiva (Morón, 1996). Hernández (1999), corroboró lo ante dicho por Morón, y agrega que una deficiencia de P da como resultado plantas pequeñas, con reducido sistema radicular y tallos delgados.

Las plantas que sufren deficiencias de P reducen la expansión foliar, determinando una menor superficie foliar y un menor número de hojas, juntamente con un amarillamiento y senescencia prematura de las hojas maduras. En contraste el contenido de proteínas y de clorofila por unidad de área foliar no es muy afectado. Frecuentemente el contenido de clorofila es aún mayor en plantas deficientes lo que les da a las hojas un color verde oscuro, sin embargo la eficiencia fotosintética por unidad de clorofila es mucho menor. El crecimiento aéreo se deprime más que el radical destinando las plantas una proporción mayor de carbohidratos hacia las raíces. Todo esto resulta en una subutilización de los recursos del ecosistema como la radiación y el agua, lo que determina inferiores producciones de forraje (Quintero y Boschetti, 1997).

2.1.4 Método de caracterización de fijación de fósforo

2.1.4.1 Isotermas de adsorción.

Según Zamalvide et al, (1978) una Isoterma de Adsorción describe la relación de equilibrio entre las cantidades de compuesto adsorbido y disuelto a una temperatura dada. La información primaria que brinda, es el conocimiento de la cantidad de fósforo que debe existir adsorbido en la fase sólida del suelo, para que en solución se mantenga determinada concentración. El procedimiento experimental usado para la determinación de las Isotermas, consiste básicamente en tomar varias muestras de un mismo suelo, agregarle soluciones con concentraciones de fósforo creciente, y permitir que se alcance el equilibrio en un tiempo determinado y a temperatura constante. Finalmente se determina el fósforo remanente en la solución y por diferencia se calcula el fósforo que fue retenido por el suelo. Es posible estimar la capacidad aproximada de fijación de fósforo midiendo otros parámetros del suelo. En este sentido la propiedad que por sí sola explica más la capacidad de fijación es el contenido de Fe_2O_3 libre. Alternativamente a esto pero con menor capacidad de predicción podría usarse el contenido de arcilla.

Dado que la concentración de fósforo en la solución del suelo normalmente es inferior a lo necesario la misma se torna un factor limitante en el proceso de absorción. La necesidad de conocer su relación con la fase sólida ha llevado a desarrollar técnicas como las isotermas de solubilidad y de adsorción (Morón, 1992).

Las isotermas de solubilidad de diversos minerales fosfatados en función del pH han sido presentadas por Lidsay (1979) y Olsen & Khsawneh (1980), citados por Morón (1992). Las isotermas de solubilidad son útiles para conocer los minerales fosfatados que pueden estar controlando la concentración en la

solución. Su mayor limitación es que su construcción se basa en asumir la presencia de componentes cristalinos puros en equilibrio con la solución, cuando es difícil que ocurra en un medio heterogéneo como el suelo (Olsen & Khsawneh, 1980, citados por Morón, 1992).

2.1.5 Estimación de la disponibilidad de fósforo en los suelos

Una de las herramientas utilizadas para estimar la disponibilidad del P para las plantas es a través del análisis de suelo (Hernández, 2004).

En relación al método de análisis su capacidad de estimación está estrechamente relacionada a las características de los suelos (Casanova et al, 1975).

Según Hernández (2004) en nuestro país han sido evaluadas muchas metodologías, a la vez que han sido ensayados nuevos métodos, con el objetivo de mejorar el poder predictivo en términos de estimar la disponibilidad de P para situaciones específicas de suelos. Los análisis de suelo para P generalmente están basados en la estimación del P presente en la fracción inorgánica lábil. En condiciones de poca historia de fertilización de los suelos, los niveles de P en solución presentan una escasa variación. Esto ha llevado a que generalmente las investigaciones han sido dirigidas a determinar el P presente en aquella fracción responsable de mantener los niveles de P en la solución, que es la fracción inorgánica lábil. Los diferentes métodos que procuran estimar el P del suelo, realmente realizan una "estimación" de cuánto P hay presente en la fracción lábil, dando por lo general resultados diferentes, ya que los mecanismos de extracción difieren entre ellos. En otras palabras, lo que realizan las diferentes metodologías es una estimación proporcional del P presente en la fracción lábil, y no la totalidad de la misma, ya que difícilmente pueda evaluarse el contenido de una fracción de la cual no se conocen sus límites. No es tan importante que un método extraiga más o menos del P lábil del suelo, sino que las cantidades extraídas sean proporcionales a lo que se encuentra presente en dicha fracción, y que guarden relación con lo que las plantas van a tomar.

Casanova et al (1975), menciona que el P orgánico en general es una medida no adecuada del P disponible, por lo que en general no se evalúa. Esto se debería a que desde el momento en que las plantas no absorben el P

orgánico directamente su acumulación en el suelo sería un hecho no deseable considerando que su origen es la fracción soluble del P inorgánico de la fase sólida.

Esto comprueba el hecho observado de que la suma del P orgánico más el P inorgánico es casi la misma en suelos no fertilizados, y que la mineralización de P a partir de materia orgánica del suelo ocasiona una disminución del P orgánico total y un aumento del P inorgánico extractable a través de los años, (Black, 1967, citado por Casanova et al, 1975)

Los diferentes métodos utilizados para evaluar disponibilidad de P estimarán las fracciones más reactivas de los fosfatos de aluminio, hierro y calcio o podrán estimar proporciones diferentes de P dentro de cada fracción (Hernández, 2004).

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

a) utilización de extractantes químicos que solubilizan o forman complejos con los cationes que retienen al P. Tal es el caso del método Bray I, utilizado en nuestro país. Algunos otros métodos utilizados en otros países son Olsen, Mehilich 1 y Mehilich 3.

b) utilización de resinas de intercambio aniónico/catiónico, capaces de retener aniones (como el fosfato) y/o cationes que retienen al P (como hierro, aluminio y calcio). Este último es el caso del método de resinas catiónicas utilizado por INIA La Estanzuela (Hernández, 2004).

El objetivo de un análisis de suelo es medir el fósforo del suelo en 2 fracciones en base a su reactividad (P en la solución y P lábil, siendo la segunda la más importante), esto está basado en el hecho comprobado de que no todo el P puede hacerse disponible para la planta (Casanova et al, 1975).

2.1.5.1 Métodos de Estimación de P

2.1.5.1.1 Bray I

El mecanismo de extracción de este método es el siguiente: el flúor se compleja al hierro y al aluminio liberando de esta forma la fracción más reactiva de los fosfatos de hierro y aluminio. El pH ácido en el cual trabaja el método solubiliza la fracción más reactiva de los fosfatos de calcio. La solución

extractiva de este método es HCl 0.025N + FNH₄ 0.03N. Este método ha demostrado tener buen comportamiento en suelos ligeramente ácidos, con excepción de los extremadamente lixiviados (Casanova et al, 1975).

El método Bray I presenta limitantes para estimar la disponibilidad de P en suelos de pradera sobre rastrojo de arroz, al contrario de su mejor aptitud para hacerlo en cultivo de arroz. Una explicación a lo observado estaría relacionada con la permanencia o no de las condiciones de reducción, o su alternancia con procesos de oxidación. En el cultivo de arroz luego de inundar el suelo, la disponibilidad de P aumenta y teóricamente presentaría pocas variaciones hasta fin de ciclo, cuando la chacra es drenada para la cosecha. Este aumento sería proporcional a lo que había antes de inundar. En el caso de los suelos bajo pasturas, ocurrirían oscilaciones frecuentes en el régimen hídrico, pasando de períodos de anegamiento (reducción del suelo y aumento de la disponibilidad de P) a períodos en los cuales el suelo se seca (oxidación del suelo y reducción en la disponibilidad de P). La absorción de P por las plantas es de esperar que muestre también variaciones, acumulando más P en los momentos de aumento de la disponibilidad (Hernández, 2004).

2.1.5.1.2 Resinas catiónicas.

Según Casanova et al, (1975) el mecanismo de extracción estaría dado por la fijación de cationes de hierro, aluminio y calcio por parte de la resina, lo que favorece una solubilización por parte del fósforo del suelo. En los suelos arenosos muy lixiviados ninguno de los métodos demostró un buen comportamiento en la evaluación de la disponibilidad de P en el suelo. Sin embargo de los datos obtenidos surge como tendencia, un mejor comportamiento del método de las resinas catiónicas. Este método da las mayores correlaciones en el conjunto de todos los suelos estudiados, con los índices de disponibilidad. Extrae cantidades más significativas de P-Ca que los otros métodos y algo menores de P-Fe. Teniendo en cuenta que la fracción P-Ca no tenía una alta significación en la disponibilidad para la planta, es probable que la extracción de este método en esa fracción sea algo excesiva.

2.1.5.1.3 Ácido cítrico

Es uno de los métodos más antiguos, consta de la extracción con solución de ácido cítrico al 1 % en una relación suelo-solución 1:10 y determinación colorimétrica con molibdato de amonio y ácido ascórbico (Morón com. pers. citado por Ferrés et al, 2003).

2.1.5.1.4 Olsen

La diferencia principal que presenta este método respecto al Bray es una extracción mayor de P-Ca, aunque poco importante. Este método está altamente correlacionado con los demás métodos siendo su correlación más baja con resinas (Casanova et al, 1975).

Concordando con lo observado por otros autores Casanova et al, (1975) afirma que los métodos Olsen y Bray I parecen extraer fundamentalmente el P-Al, aunque el primero extrae más P-Fe que el segundo, siendo muy poca la diferencia en correlación.

Algunos autores observaron que la variación en otras propiedades del suelo tales como textura, pH y material madre afectaba la relación entre métodos y fracciones. En términos generales algunos métodos tales como Bray I, Olsen, resinas aniónicas y P isotópicamente intercambiable dan buenos resultados en tipos de suelos bastante variables. Las diferencias más notorias en el comportamiento de los métodos se aprecian entre los suelos arenosos muy lixiviados por un lado, y los suelos pesados o menos lixiviados por el otro (Casanova et al, 1975).

2.1.5.2 Poder predictivo de los métodos para suelos del Uruguay

En nuestro país el método más utilizado para evaluar el P disponible es el método Bray I. Dicho método se adapta a la mayoría de los suelos de uso agrícola del país, como son los suelos de texturas medias y pesadas del sur y del litoral oeste Bordoli, (1998) citado por Hernández (2004). De esta manera ha sido posible elaborar calibraciones del método, principalmente para diferentes especies forrajeras (Cuadro 1)

Cuadro 1. Rango crítico de P estimado por el método Bray I para diferentes especies forrajeras (Mallarino, A.P.; Casanova, O.N. 1984).

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

En suelos de lomadas de la zona este del país, si bien no han sido realizados estudios específicos para evaluar el poder predictivo del método, no es de esperar diferencias muy marcadas respecto a los suelos de texturas medias del sur del país. Otra limitante observada respecto al método Bray I radica en la dificultad de evaluar adecuadamente la disponibilidad de P en situaciones en las cuales se han hecho grandes aplicaciones de fertilizantes fosfatados insolubles (de tipo fosforitas para uso directo). Esta limitante se podría considerar relativa, dado que hasta el momento no existen situaciones de producción en las cuales se haga un uso frecuente y en grandes dosis de fosforitas (Hernández, 2004).

La utilización de indicadores de disponibilidad de P, como el método Bray I, presenta limitantes para evaluar la disponibilidad de P frente a cambios frecuentes en las condiciones de oxidación-reducción. Sin embargo, en la actualidad, en los sistemas de rotaciones de cultivo de arroz con pasturas, el uso del insumo P es reducido, ya que el cultivo de arroz presenta escasa respuesta al agregado de P, lo cual determina que las dosis agregadas sean reducidas. Por otro lado, en la etapa de pasturas tampoco es frecuente el uso del P, por lo menos en la instalación. Esto determina que las situaciones más frecuentes son de una baja disponibilidad del nutriente en el suelo. Esto determina una alta probabilidad de respuesta al agregado de P en pasturas con leguminosas de altos requerimientos del nutriente (Hernández, 2004).

El método Bray I evalúa bien la disponibilidad de P en la mayoría de los suelos planteándose problemas importantes en dos casos: suelos arenosos y suelos basálticos. Los problemas pueden ubicarse en dos aspectos: calibración

(significado de un dato de análisis de suelo en término de expectativa de respuesta) y correlación (capacidad predictiva de la disponibilidad del nutriente por parte del método). En los suelos arenosos se incluyen Acrisoles, Luvisoles, Argisoles y Planosoles, existen dudas si sólo cambiando la calibración, lo cual sería una mejora notoria en el uso del método en estos suelos, es suficiente o si además existe poco poder predictivo del mismo y sería necesario utilizar otros métodos (Zamalvide, 1992).

El método de extracción por ácido cítrico reveló en muchos casos mayores niveles de disponibilidad, sobre todo en chacras de cultivo de arroz que tenían una historia anterior de fertilización (Aguirre y Ríos, 1984).

Hernández (2004), realizó un muestreo previo a la siembra de arroz de potreros con diferentes situaciones de manejo e historia previa a las que se le realizaron estimaciones del contenido de fósforo por distintos métodos, concluyó que las diferentes situaciones de manejo previo de los suelos marcaron diferencias en los niveles de P asimilable de los suelos evaluados por los diferentes métodos. Los valores promedios encontrados fueron campo natural/regenerado < retomo largo < pradera < retorno corto < rastrojo. Dicho orden guarda relación con la frecuencia y/o cercanía de la última fertilización con fósforo. Dentro de los extractantes clásicos, el ácido cítrico y la solución de Mehlich 3 mostraron valores con una mayor amplitud que los extractantes Bray I y Olsen. Esto indica una mayor capacidad de ambos para estimar las diferencias en residualidad de fósforo. Otro aspecto importante a destacar es que para los suelos y situaciones consideradas, los valores analíticos encontrados fueron bajos. Esto puede ser explicado en parte por lo mencionado anteriormente, en cuanto a la disminución de los valores de disponibilidad con el secado de los suelos. No obstante también debe considerarse que las situaciones de estudio comprenden sistemas de rotaciones con baja entrada de P vía fertilización, por lo cual no es de esperar alta residualidad del P. Para los suelos estudiados, todos los métodos se correlacionaron significativamente entre sí, siendo los métodos clásicos (Bray, Olsen y Mehlich 3) y el método por el Ácido Cítrico los que mostraron las más altas correlaciones entre sí, lo cual indicaría que están estimando cantidades proporcionales de P de los suelos. Las correlaciones entre las cantidades de P extraídas por los diferentes métodos y algunas características de suelo (contenido de hierro, arcilla y carbono orgánico) no mostraron tendencias claras. Sólo el Índice de Actividad del Fe (proporción de Fe en formas reactivas para retener P) mostró correlaciones significativas con los métodos por incubación y Oxalato de Amonio, y una tendencia con el Ácido Cítrico, lo cual significa que éstos métodos extraen P adsorbido a las fracciones más reactivas de óxido de hierro.

Por lo tanto Hernández (2004), concluye sobre las evaluaciones realizadas

en suelos de planicies, que la estimación de la disponibilidad de P para pasturas en suelos de la zona este del país, presenta particularidades relacionadas con el tipo de suelo, cultivo y régimen hídrico. Para el cultivo de arroz se dispone de evaluaciones de varias metodologías, de las cuales surgen los métodos del Acido Cítrico, Bray I y Mehlich 3 como los más aptos para estimar la disponibilidad de P para el cultivo. Para pasturas sobre rastros de arroz en suelos de zonas planas sólo se dispone de la información del método Bray I, la cual ha mostrado un bajo poder predictivo del mismo para estimar disponibilidad de P. El poder predictivo de los métodos podría mostrarse incierto, como consecuencia de la alternancia frecuente en el régimen hídrico de los suelos (excesos de agua y secado posterior del suelo).

Cubas y Ferreira (2005), realizaron un trabajo evaluando relaciones entre índices de disponibilidad de P en el suelo y parámetros de rendimiento, del mismo resumen que 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 I. Los restantes métodos (Cítrico, Mehlich, Bray Incubado 3 días, Bray Incubado 7 días) no mostraron correlaciones significativas con los índices de planta (índices de asimilabilidad), excepto Bray I con el porcentaje de P en la planta.

2.1.6 Comportamiento del fósforo bajo condiciones de anegamiento.

El cambio más importante en el suelo como resultado del anegamiento es la conversión en la zona radicular del suelo de un ambiente aeróbico a uno anaeróbico o casi anaerobio donde el oxígeno está ausente o es limitante. Bajo las condiciones anaerobias varios sistemas de oxidación-reducción que usualmente están presentes en las formas oxidadas son reducidas como resultado de la actividad de los microorganismos anaerobios facultativos y verdaderos (Patrick y Mahapatra, 1968).

Cuando el suelo es inundado el intercambio de gas entre el suelo y el aire es drásticamente cortado. El O_2 y los otros gases atmosféricos pueden entrar al suelo solamente por difusión molecular en el agua intersticial (Taylor, 1949; Lemon and Kristensen 1960; Kristensen and Enoch, 1964; Ponnampetuma, 1972, citados por Ferrando et al, 1997).

La diferencia química más importante entre suelos sumergidos y bien drenados está en que los primeros están en estado de reducción. Los suelos inundados presentan un bajo potencial de oxido-reducción. La oxidación-reducción es una reacción química con transferencia de electrones desde un

dador hacia un aceptor (Ferrando et al, 1997).

La inundación del suelo produce una variedad de cambios electroquímicos. Esto incluye: disminución del potencial redox, incremento en el pH de suelos ácidos y disminución del pH en suelos alcalinos, cambios en la conductividad específica y fuerza iónica, drásticos cambios en el equilibrio mineral, reacciones de intercambio de cationes y aniones, y adsorción y liberación de iones (Ferrando et al, 1997).

Con respecto al pH el drenaje y exposición al aire revierten los cambios del mismo en suelos de arroz y en suelos anaeróbicos (Starkey and Wight, 1946, IRRI, 1965 citados por Ponnampereuma, 1972 citados por Ferrando et al, 1997).

Según Ponnampereuma (1972), citado por Ferrando et al, (1997), el incremento del pH en suelos ácidos es uno de los beneficios de la inundación de suelos de arroz, porque elimina la toxicidad del Al, minimiza la toxicidad del Fe e incrementa la asimilabilidad del P.

La conductividad específica en las soluciones tiene un mayor incremento luego de la inundación, tendiendo a un máximo y declinando hasta un valor estable, variando con el tipo de suelo (Ferrando et al, 1997).

Tradicionalmente ha sido reconocido el hecho de que una baja en el potencial de oxido-reducción del suelo provocado por la reducción del mismo aumenta la disponibilidad de P. Una causa de esto es a través de una disminución en la energía de retención del fósforo por el pasaje de Fe^{+++} a Fe^{++} . Es sabido que la Kps de los productos de reacción del anión fosfato con el Fe^{+++} es mucho más baja que los que forma con Fe^{++} . Este mecanismo es una explicación del hecho de que suelos cultivados con arroz en áreas donde en la primera etapa del cultivo (aerobia) presentan poco suministro de P, luego de la inundación, suministran en muchos casos todo lo necesario para el cultivo (Zamalvide, 1992).

Según Goswami y Banerjee (1978), De Datta (1975) y Ponnampereuma (1968) citados por Aguirre y Ríos, (1984), indican que los incrementos en la disponibilidad del P soluble en agua, al ser inundado el suelo, pueden atribuirse a:

- liberación desde la materia orgánica, particularmente fitatos.
- incremento en la solubilidad de los fosfatos asociado a un descenso en el pH causado por acumulación de CO_2 en los suelos calcáreos.

- incremento en el factor difusibilidad del fósforo.
- incremento en la solubilidad, por hidrólisis del $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y $\text{AlPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, causada por un aumento en el pH que acompaña la reducción de los suelos ácidos, corroborado también por (Patrick y Mahapatra, 1968)
- reducción del $\text{FePO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ a una forma más soluble, $\text{Fe}(\text{PO}_4)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, corroborado también por (Islam et al, 1954, Patrick y Mahapatra, 1968).
- desplazamiento de los fosfatos desde las fracciones Fe-P y Al-P por aniones orgánicos, corroborado también por Bradley et al, (1953) citados por Patrick y Mahapatra, (1968).

A las anteriores menciones Chang et al, (1958), Mahapatra, (1966), Patrick y Mahapatra, (1968), citados por Ferrés et al, (2003) agregan:

- liberación de fósforo ocluido desde las arcillas revestidas con óxido férrico hidratado.

2.1.7 Efecto de la alternancia de períodos de humedecimiento del suelo y secado en la retención y disponibilidad de P para las plantas.

Los ciclos alternos de humedecimiento y secado de los suelos determinan una mayor adsorción de fósforo que los que fueron incubados húmedos. Olsen & Court, (1982); Guilherme et al. (1993), citados por Hernández (1996).

Sah & Mikkelsen (1986c), citados por Hernández (1996), confirman que la duración del drenaje tiene un efecto marcado en la adsorción de fósforo asimilable.

En condiciones de óxido-reducción de los suelos, al retornar las condiciones de oxidación (secado) de un suelo que previamente estuvo sujeto a condiciones reductoras (exceso de agua), se produce una disminución en la disponibilidad de P. En tal caso ocurre la oxidación del hierro (solubilizado durante el período reductor), y su precipitación bajo forma de óxidos finamente divididos, de gran superficie específica, y con una elevada reactividad por el P. Esto determina que los fosfatos presentes en forma soluble en el suelo reaccionan con estas superficies, disminuyendo su solubilidad y por consiguiente, su disponibilidad para la planta. En el cuadro 2 se indica este comportamiento (Hernández, 2004).

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

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

Los valores del cuadro muestran que cuando los suelos son llevados a un período de exceso de agua, la disponibilidad de P aumenta. Cuando luego de este período de exceso de agua ocurre el secado del suelo, dicha disponibilidad disminuye. Estos procesos generalmente ocurren más rápidamente y con mayor intensidad cuando el contenido y/o proporción de formas activas de hierro es mayor. Por lo general es la situación donde los suelos, por estar sujetos a períodos frecuentes de reducción y oxidación presentan compuestos de hierro poco cristalizados, altamente reactivos. El Solod de la Unidad La Charqueada del cuadro 2 es un ejemplo de esta situación, donde la tercera parte del hierro presente en óxidos se encuentra bajo formas de alta reactividad (Hernández, 2004).

Paul et al, (1949), citados por Patrick y Mahapatra (1968), Ferrando et al, (2002) y Hernández (2004), citan que la ocurrencia de períodos cortos y frecuentes de anaerobiosis en los suelos condujeron a variaciones en la disponibilidad de P. Durante el período de exceso de agua de los suelos se establecieron condiciones reductoras, las cuales determinaron un aumento en los contenidos y proporciones de óxidos de hierro de baja cristalinidad (Fe ox). Luego de la oxidación del suelo, dichos niveles se mantuvieron altos, lo que indicaría su permanencia bajo formas poco cristalinas durante las condiciones de oxidación posteriores. En la etapa de reducción del suelo, se observó un aumento en los niveles de P asimilable de los suelos, en relación con el aumento de solubilidad de los compuestos con Fe por reducción a Fe⁺⁺.

Durante la sequía se produce la conversión de los fosfatos solubles a formas más difícilmente extraíbles y se produce un descenso en la fracción del fósforo orgánico. La reducción biológica de hierro durante la fase de inundación seguido por la reoxidación durante el período seco resulta en un incremento de la capacidad de fijación de fósforo y por esto se produce una disminución en la solubilidad del fósforo (Patrick y Mahapatra, 1968).

El retorno de las condiciones de oxidación, determinó una disminución en dichos niveles, a valores aún por debajo de los iniciales antes de inundar. Esto surge como consecuencia de la re-adsorción del P en superficies de óxidos de Fe recientemente precipitados. El aumento en el índice de actividad del Fe estuvo asociado a esta disminución en los niveles de P asimilable de los suelos. Esta menor disponibilidad de P fue también evidenciada en menores contenidos de P en planta, respecto a las situaciones donde no hubo exceso de agua previo (Ferrando et al, 2002).

El agregado de fertilizante fosfatado a posteriori de un período de exceso de agua mostró una pérdida de asimilabilidad del P agregado por adsorción del P del fertilizante en las superficies altamente reactivas de óxidos de Fe recientemente precipitados. Esto fue constatado por una menor absorción de P por las plantas. Los resultados obtenidos confirmarían la importancia de los cambios en la reactividad del Fe en los suelos, frente a oscilaciones periódicas en las condiciones de oxidación-reducción. La disponibilidad de P en los suelos puede mostrar variaciones a lo largo del año, las cuales no sólo estarán restringidas a los suelos de posiciones topográficas planas (Ferrando et al, 2002).

En las rotaciones de cultivo de arroz con pasturas los procesos de humedecimiento y secado son de natural relevancia en determinar la disponibilidad de fósforo en las diferentes etapas de la rotación (Hernández, 1999).

Befani et al (2005), concluyeron de sus resultados que existe una relación negativa entre las fracciones de P total, P orgánico y el P residual y la proporción en que participa el arroz en la rotación. Resulta así, que el incremento en el pool inorgánico lábil en una situación de monocultivo de arroz, producido por procesos de mineralización y aumento de la disponibilidad bajo condiciones de anaerobiosis, es logrado a expensas de una alteración permanente de la reserva del nutriente con disminución de las formas orgánicas y residuales, y el consiguiente agotamiento del suelo, aún en las situaciones en que el arroz fue fertilizado.

De acuerdo con investigaciones anteriores (Ferrando et al., 2002) el

secado de suelos que estuvieron con exceso previo de agua conduce a la precipitación del hierro en formas de mayor reactividad por el P.

En los sistemas de producción de arroz, donde se alternan situaciones de inundación y secado actúan dos procesos diferentes y opuestos como son la liberación (bajo condiciones de inundación) y la fijación (en condiciones de secano) del fósforo del suelo (De Datta, 1981; Sah and Mikkelsen, 1986, citados por Ferrando et al, 1997). Estas reacciones son, en principio responsables de la falta de respuesta al agregado de P en el arroz, cultivados bajo condiciones de inundación en suelos donde otros cultivos e incluso el arroz de secano responden muy bien. La reducida demanda por fertilizante no es debida al bajo requerimiento de la planta, sino a la liberación del P del suelo como resultado de la liberación (Basak and Bhattacharya, 1962, citados por Ferrando et al, 1997) (Patrick y Mikkelsen, 1971 citado por Aguirre y Ríos, 1984), y por incrementos de la difusión por el alto contenido de humedad (De Datta, 1981, citado por Ferrando et al, 1997).

Cuando la inundación es continua: el incremento en la disponibilidad de fósforo ha sido atribuido a la reducción del fosfato férrico a una forma más soluble como lo es el fosfato ferroso y a la hidrólisis de los compuestos fosfatados (Patrick y Mahapatra, 1968). Estos autores concluyeron que los efectos benéficos de la inundación en la disponibilidad del fósforo dependen de la intensidad de la reducción y del contenido de hierro de los suelos.

Suelos con cultivos de arroz con ciclos de inundación-drenaje, retienen P más fuertemente que suelos que no son de arroz (Sah and Mikkelsen, 1986, citados por Ferrando et al 1997). Esto fue explicado por un sucesivo aumento en la transformación de los óxidos de Fe hacia formas amorfas y con gran área superficial, debido a los ciclos de inundación del arroz (Kuo and Mikkelsen, 1979 citados por Ferrando et al, 1997).

Con el tiempo se observa una gradual y natural desaparición de la deficiencia de P en cultivos creciendo en el segundo y tercer año y luego de la inundación-drenaje, en ausencia de fertilización fosfatada. Aparentemente las transformaciones del suelo que reducen la asimilabilidad del P para los cultivos creciendo luego de arroz, seria naturalmente reversible con el tiempo (Brandon and Mikkelsen (1979), citados por Ferrando et al, 1997).

Otro factor que influye en los procesos de adsorción-desorción de fósforo en condiciones de anegamiento y secado es la temperatura. Un aumento en la temperatura de 10 a 30 °C disminuye el fósforo en la solución del suelo previamente anegados, por aumento de la tasa de reacción del fósforo (Sah & Mikkelsen, 1986d, citados por Hernández, 1996).

2.2 RESPUESTA AL AGREGADO DE FOSFORO EN PASTURAS CON LEGUMINOSAS EN LAS PLANICIES DEL ESTE

Tradicionalmente el cultivo de arroz en el Uruguay ha sido realizado como monocultivo, aunque en los últimos años, debido principalmente a los bajos precios del arroz, ha ocurrido un aumento en la diversificación, aumentando el área en rotación con pasturas para producción de ganado de carne. En el momento actual, si bien ha ocurrido una mejora en los precios del cereal, surge importante considerar la realización del cultivo dentro de un esquema de rotaciones con pasturas, con el objetivo de una mayor sustentabilidad del sistema. La incorporación de pasturas con leguminosas permite aumentar la productividad del suelo, en la medida de la ganancia de materia orgánica y N en el sistema, lo cual redundará en beneficios, no sólo en la etapa de pasturas, sino en el efecto residual de los nutrientes para la etapa de cultivos (Hernández, 2004).

Resultados obtenidos por Befani et al (2005), mencionan que la rotación arroz pasturas presentó los valores más altos de P orgánico, residual y total. Observaron que el monocultivo de arroz produjo una pérdida considerable de P total. Las fracciones inorgánicas lábiles se incrementaron a medida que el arroz aumentó su participación. Esta mayor disponibilidad actual de P se dio a expensas de las formas orgánicas y de reserva, por lo que la fertilización debe ser una práctica cotidiana para evitar el deterioro del P total del suelo.

La práctica habitual es no fertilizar la pastura y aprovechar la residualidad de P proveniente del cultivo de arroz. No obstante existen dos factores a tener en cuenta:

- 1- Las pasturas instaladas sobre rastrojos generalmente están compuestas de una mezcla de especies forrajeras, dentro de las cuales se incluyen especies con altos requerimientos de fósforo, como trébol blanco, trébol rojo y lotus.
- 2- Las dosis de P aplicadas al cultivo de arroz son reducidas, en virtud de la escasa respuesta al P agregado (Hernández et al, 2003, citados por Hernández, 2004). Esta escasa respuesta se relaciona, además de sus menores requerimientos en relación con las leguminosas, al aumento de la disponibilidad de P durante el período de inundación, y a la mejora de la tasa de difusión en tales condiciones (Hedley et al, 1994, citados por Hernández, 2004).

Sin embargo, en la etapa de pasturas el secado del suelo aumenta la

retención de P por parte del suelo, con lo cual disminuye su disponibilidad para las plantas (Ferrando et al, 2002).

2.2.1 Respuesta en producción de forraje al agregado de fósforo

Desde el comienzo de la utilización de leguminosas forrajeras en los mejoramientos en cobertura sobre rastrojos de arroz, la siembra de pasturas se realizaba sin el agregado de fósforo, utilizando la residualidad de la aplicación del P al cultivo de arroz (Mas, 1978).

El agregado de P en la instalación y en refertilizaciones de las pasturas con leguminosas permitió aumentar la productividad de la pastura, aunque los experimentos que proporcionaron estos resultados no fueron concebidos con el objetivo de evaluar la respuesta a P, por lo que no se conoce en tales situaciones la magnitud del incremento de rendimiento alcanzado por fertilización respecto a la situación sin agregado de P (Cardozo et al, 1978, citados por Hernández, 2004).

Bordoli (1998), citado por Hernández (2004), realizó determinaciones de la producción de invierno y primavera, por ser este período donde se magnifica la respuesta al agregado de P. Observó una mayor respuesta en invierno estando explicada por una menor disponibilidad de P del suelo (por una menor tasa de difusión y mineralización de formas orgánicas), relacionado esto a las bajas temperaturas, las cuales limitan no sólo el crecimiento de las plantas con menores condiciones de desarrollo, sino también la disponibilidad de fósforo. Al aumentar la temperatura se da un aumento en la disponibilidad de P del suelo, junto con la presencia de plantas de mayor desarrollo radicular.

El trébol blanco presentó respuesta en kg de P absorbido en forma global, mientras que el trébol rojo y el lotus solamente respondieron en el invierno. El orden decreciente de absorción de P fue trébol rojo-lotus-trébol blanco, aunque no hay que olvidar que está directamente relacionado con los rendimientos obtenidos. En las condiciones de trabajo de los autores mencionados, el trébol blanco fue la especie que presentó menor eficiencia de utilización del P absorbido, Gayaralde y Morton (1983) citados por Cubas y Ferreira (2005),

Cubas y Ferreira (2005), observaron un aumento en la producción de forraje con el agregado de P. En praderas donde la mezcla forrajera utilizada presentaba un alto porcentaje de leguminosas encontraron respuesta significativa, mientras que en praderas con bajo porcentaje de leguminosa las respuestas encontradas fueron menores.

En praderas de trébol blanco, lotus y raigrás, hubo una respuesta importante para la primera dosis de P agregado (40 kg de P_2O_5 /ha), luego de la cual la producción de materia seca por unidad de P agregado mostró pocas variaciones, mientras que en las praderas de trébol rojo se encontró generalmente una respuesta lineal, mostrando un aumento de 8.2 kg de MS por kg P_2O_5 agregado (Cubas y Ferreira, 2005).

La eficiencia de utilización del P agregado por la planta osciló entre 4 y 20%, con valores promedio del orden de 7-9%. Esta baja eficiencia de utilización estaría relacionada a la existencia de estos mecanismos de retención, relevantes para estos suelos, dada la alta reactividad de los óxidos de hierro (Hernández, 2004).

La instalación y desarrollo de plantas se ve favorecida al aumentar la disponibilidad de P por fertilización, lo cual permite no sólo un adelanto en la producción de fin de invierno - principio de primavera, sino también en mejorar las posibilidades de sobrevivencia de las plantas frente a condiciones que limiten la absorción de P (sequía) (Hernández, 2004).

2.2.2 Calidad del forraje

Gayaralde y Morton (1983) citados por Cubas y Ferreira (2005), encontraron que la fertilización fosfatada incrementó significativamente los niveles de P foliar en todas las especies, principalmente en el trébol blanco y más aún en el período invernal.

Según Hernández (2004), otro de los efectos de la fertilización fosfatada es la calidad de forraje, realizó un experimento en trébol rojo comprobando que existe una tendencia al aumento en el contenido de N (proteína) y P del forraje al aumentar la dosis de P aplicada, en especial en las dosis de 40 y 80 kg de P_2O_5 ha⁻¹. Esta tendencia es similar a la observada para producción de forraje.

El efecto positivo del agregado de P no sólo resulta en la producción de materia seca, sino también en la calidad del forraje obtenido. Se encontró alta respuesta al agregado de P en producción y calidad de forraje, siendo este último aspecto el que explicó mayormente los aumentos en la producción de carne por hectárea (del Pino y Andino 2003, citados por Hernández, 2004)

Hernández (2004), concluye que la respuesta a P en pasturas está condicionada a niveles bajos de disponibilidad de P del suelo y a la presencia importante de leguminosas en las pasturas. En pasturas dominadas por

gramíneas sólo es de esperar respuesta significativa a P en la fracción leguminosa, aunque ésta es un componente menor de la mezcla.

El agregado de P en la instalación de especies con altos requerimientos de P, como las leguminosas, tiene un efecto positivo tanto en el aumento de los rendimientos de forraje, así como en la calidad del mismo (contenido de N y P) (Hernández, 2004).

2.3 COMPORTAMIENTO DEL ARROZ CON RESPECTO AL FÓSFORO

2.3.1 Absorción de P por las plantas de arroz

La eficiencia del uso interno de P por el arroz, depende del suplemento de este nutriente y de la condición general de nutrición de la planta. Con una nutrición balanceada y con óptimas condiciones de crecimiento, se puede esperar una eficiencia interna de 385 kg de grano por kg de P absorbido, lo que equivale a la remoción de 2.6 kg de P por tonelada de arroz a rendimientos económicos (70 – 80 % del rendimiento máximo) (Quintero y Boschetti, 1997).

Para producir una tonelada de arroz, las plantas deben absorber 2.8 kg de P, de los cuales 2.0 kg son retirados con el grano y sólo 0.8 kg vuelven al suelo con la paja; esto es una importante diferencia con los otros nutrientes mayores, N y K, fundamentalmente este último, en los cuales una importante cantidad del nutriente absorbido vuelve al suelo con la paja (De Datta, 1981, citado por Aguirre y Ríos, 1984).

Quintero et al. (2004), citados por Befani et al. (2005), encontraron que el cultivo de arroz afecta las formas en que se encuentra el fósforo del suelo, produciendo una marcada disminución de P orgánico lábil y moderadamente lábil, como así también de la fracción residual de este nutriente en el suelo.

2.4 FERTILIZANTES FOSFATADOS

2.4.1 Terminología de fertilizantes fosfatados

2.4.1.1 P soluble al agua

Representa la fracción de la muestra del fertilizante que es soluble en agua, expresada como porcentaje en peso de la misma.

2.4.1.2 P soluble al citrato

Corresponde al P de la muestra soluble al citrato de amonio 1N, luego de la extracción con agua, expresada como porcentaje del peso total de la muestra.

2.4.1.3 P insoluble al citrato

Corresponde al P remanente en la muestra luego de las extracciones anteriores.

2.4.1.4 P asimilable

La suma del P soluble al agua y del P soluble al citrato de amonio, constituye una estimación de la fracción rápidamente disponible para las plantas y se denomina P asimilable.

2.4.1.5 P total

La suma de P asimilable y del P insoluble al citrato de amonio representa la cantidad total de P presente en el fertilizante.

2.4.1.6 P soluble en ácido cítrico al 2%

En fertilizantes que contienen fosforita natural, como una o la única fuente de fósforo se cuantifica el contenido de P soluble en ácido cítrico al 2%, en lugar de hacerlo con una solución de citrato de amonio, o con agua. Este contenido es referido también como fósforo asimilable, aunque tiene un significado diferente al P extraído con agua y citrato de amonio (Hernández, 1999).

2.4.2 Tipos de fertilizantes fosfatados

2.4.2.1 Rocas Fosfatadas o Fosforitas

Básicamente el compuesto dominante en los mismos es la apatita. Este mineral ocurre en distintas formas, tales como fluorapatita, cloroapatita, o hidroxiapatita. La más comúnmente extraída de las minas es la fluorapatita, es el mineral primario en la mayoría de las rocas fosfatadas. Estas rocas son tratadas ya sea con calor, o con ácido, a efecto de aumentar la solubilidad del fósforo de la misma (Hernández, 1999).

2.4.2.2 Fertilizantes Fosfatados Solubles

Bajo este término se conocen a aquellos materiales fertilizantes donde se ha aumentado la solubilidad del P a través de un tratamiento ácido o térmico. El material resultante presenta la característica general de presentar un contenido muy elevado de P soluble al agua y citrato de amonio 1N (Hernández, 1999).

2.4.2.2.1 Acido Fosfórico (H_3PO_4)

El H_3PO_4 de uso agrícola contiene 55% de P_2O_5 (24% de P) y se utiliza fundamentalmente para acidificar la roca fosfatada y obtener así el superfosfato triple. Cuando se lo utiliza para la fabricación de fosfato de amonio y fertilizantes líquidos, se lo neutraliza con NH_3 (Hernández, 1999).

2.4.2.2.2 Ortofosfato de calcio [$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$]

Los superfosfatos triples, contienen entre 44-53% de P_2O_5 del cual más del 90% es soluble en agua y se clasifica como asimilable. Químicamente es esencialmente [$\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$] y se obtiene tratando el fosfato de roca con (H_3PO_4). Los superfosfatos triples son también fuente adecuada de fósforo para una amplia gama de suelos y sistema de cultivos, y pueden ser utilizados también como fuentes de fósforo en la fabricación de fertilizantes compuestos NPK (Hernández, 1999).

Morón (1992), Risso (1992), Ayala y Carámbula (1992), y con similares Mas (1991), citados por Olmos (2001), determinaron que la fuente más insoluble (roca granulada) presenta una respuesta productiva menor frente al superfosfato y la roca molida.

2.4.3 Reacciones y evolución de los fertilizantes fosfatados solubles en agua aplicados al suelo

Según Barrow (1980b), citado por Morón (1992), cuando el P soluble es agregado al suelo existirían dos reacciones entre el P en solución y el suelo: a) rápida, en la cual el P es adsorbido desde la solución, y b) lenta, en la cual el P es retenido en una forma más firme. Uno de los mecanismos que frecuentemente es invocado para explicar las dos reacciones entre el P y el suelo se procesa a través de la reacción inicial de adsorción desde uno de los átomos de oxígeno del ortofosfato. La segunda reacción, lenta y que generalmente involucra un período de varios años, involucra un enlace a un segundo átomo de oxígeno del ortofosfato. Así la proporción de fertilizante

agregado que permanece disponible, disminuye exponencialmente con el tiempo.

Desde el punto de vista de las reacciones que ocurren en el suelo, los fertilizantes fosfatados pueden dividirse en: a) aquellos que contienen una alta proporción de fósforo soluble en agua y b) aquellos insolubles en agua y total o parcialmente soluble en citrato de amonio o ácido cítrico (Hernández, 1999).

2.4.3.1 Disolución del fertilizante

Cuando se agrega al suelo un gránulo de fertilizante fosfatado soluble al agua, lo primero que ocurre es el humedecimiento y disolución de este. El agua del suelo se mueve hacia el gránulo por capilaridad o transporte como vapor.

La solución formada es muy ácida (pH 1.5) y altamente concentrada en fósforo y Ca lo que determina que continúe el movimiento de agua hacia el sitio donde está el gránulo siguiendo un gradiente osmótico y que se produzca un avance de la solución concentrada hacia el suelo circundante.

La difusión de los productos de reacción del fertilizante aumenta con el aumento en el contenido de humedad, (Hernández, 1999).

2.4.3.2 Reacciones de la solución con el suelo.

El avance de la solución ácida altamente concentrada en Ca y P determina inicialmente una acidificación temporal del suelo circundante y la aparición de cantidades de Fe, Al, Mn, Ca y otros cationes.

A medida que la solución se vuelve superconcentrada en Ca, P, Fe, Al, etc, se va produciendo una lenta precipitación de diferentes compuestos fosfatados. Estos compuestos son capaces de mantener una buena concentración de P en el suelo fácilmente disponible para la planta.

Esta alta asimilabilidad comenzará a descender con el tiempo debido a dos procesos simultáneos: a) la adsorción del P de la solución sobre compuestos de Ca, Fe, Al y arcillas; y b) la retrogradación de los compuestos fosfatados neoformados, a formas más estables, y más cristalizadas y menos solubles.

En general, la fracción P-Al del P inorgánico en suelos fertilizados es la fuente de P más importante para las plantas, pese a no ser la fracción más abundante (Hernández, 1999).

2.4.4. Fertilización fosfatada en rotación pastura-cultivo

Partiendo de la base de que la utilización de la pradera es normalmente muy limitada durante el año de implantación, puede ser antieconómico utilizar dosis altas iniciales, teniendo en cuenta que son innecesarias desde el punto de vista estricto de la implantación de la pastura, y que parte del fósforo aplicado se fija de un año para otro (Alvarez et al, 1977).

Según Alvarez et al (1977), sería conveniente refertilizar con dosis más altas a partir del segundo año, cuando la pastura esta en condiciones de expresar su potencial productivo y a su vez dicha producción puede ser aprovechada normalmente.

En el caso de rastrojos de arroz, podrán ser muy frecuentes las condiciones de reducción en el suelo, lo que afectará el comportamiento del fósforo y su disponibilidad para la planta (Mas, 1996).

En suelos muy húmedos inundables y húmedos drenados, se debe considerar también que la disponibilidad de fósforo en los mismos es incrementada cuando se registran situaciones de anaerobiosis (falta de oxígeno). Bajo estas condiciones se produce una disminución en la inmovilización del fósforo del fertilizante mediante la reducción de los compuestos de hierro. Este comportamiento se observa en los suelos arrozados, donde la disponibilidad incrementada de fósforo permite realizar la siembra de pasturas en que la necesidad de aplicar fertilizaciones fosfatadas pueden ser bajas (Carámbula, 2004).

Cuando la pastura rota con el cultivo, lo usual es que utilice el fósforo residual del mismo (Mas, 1996).

La fertilización inicial para la pradera será dependiente de la fertilización aplicada al cultivo previo. Experimentalmente se ha demostrado que se logran buenos niveles de implantación con dosis mínimas de fertilizantes fosfatados, e incluso sin agregado alguno, cuando la siembra de pastura sucede a un arroz convenientemente fertilizado. Se destaca la importancia del concepto integral de arroz-pastura, para otros factores de mutuo beneficio, como lo son, la nivelación, el drenaje, y la presencia de leguminosas. Si bien las recomendaciones variarán con cada tipo de suelo y condiciones de chacra dentro del sistema de Paso de la Laguna se ha utilizado como dosis de implantación 30 unidades de P_2O_5 /ha y anualmente 50 unidades de P_2O_5 /ha como dosis de mantenimiento (Bonilla y Grierson, 1982).

Alvarez et al (1977), hacen las siguientes recomendaciones tentativas de fertilización inicial (Cuadro 3).

Cuadro 3. Recomendaciones tentativas de fertilización inicial (Alvarez et al, 1977).

Fertilización arroz (U.F. P_2O_5)	Fertilización inicial pastura (U.F. P_2O_5)
0	40-60
40	20-30
60	0-20
80	0

En los suelos planosólicos del este del país, la residualidad de fósforo aprovechable por la pastura que deja el cultivo del arroz, es un fenómeno característico y muy destacado (Mas, 1996).

Para ejemplificar Mas (1996), ofrece algunos resultados de respuesta de la pastura al fósforo aplicado al arroz.

- Cuando el cultivo recibió 0, 60 y 120 kg de P_2O_5 ha⁻¹, la pastura en su segundo año, y cuando fue evaluada en términos de producción total, no diferenció el nivel 0 del 60, aunque este produjo 37% más, mientras que el nivel 120 fue significativamente superior al testigo aportando 62 % más forraje que éste.
- La fracción leguminosa mostró una respuesta bien definida al P residual del arroz, siendo los niveles 60 y 120, 40% y 82% respectivamente superiores al 0.
- En otro experimento en que se estudió la pastura a partir de niveles de P aplicados al arroz de 0, 40, 80 y 120 unidades de P_2O_5 ha⁻¹, el comportamiento al segundo año fue similar al descrito anteriormente.

2.4.5 Algunos problemas relacionados con las recomendaciones de fertilización fosfatada en rotación pasturas-cultivos.

Vista la rotación globalmente la decisión de fertilización en su conjunto buscará que la rentabilidad de este insumo se maximice, debiéndose en este caso calcular su rentabilidad tanto en los incrementos de rendimiento en los cultivos directamente fertilizados, como los que se obtuvieron por efectos residuales (Zamalvide, 1992).

Los aspectos que hay que tener en cuenta cuando se va a definir una estrategia de fertilización fosfatada según Zamalvide (1992), son: a) momento de la rotación de máximas aplicaciones de fertilizantes fosfatados y momentos en que los cultivos dependan en gran medida de los efectos residuales; los momentos de máxima aplicación de fertilizante deben coincidir con aquellos cultivos que presentan mayor respuesta económica, considerando respuesta física y relación de precio insumo-producto. b) momento de la rotación en el cual se realiza el análisis de suelo; los momentos ideales de evaluación serían a la instalación de la pastura y eventualmente previo al cultivo que justifica la máxima aplicación de fósforo.

2.4.6 Factores que afectan la asimilabilidad de los fertilizantes fosfatados

Los fertilizantes fosfatados con alta proporción de P soluble en agua son altamente asimilable inmediatamente luego de su aplicación, reduciéndose su disponibilidad con el tiempo (Hernández, 1999).

La mayor o menor eficiencia depende de las características del suelo, factores propios de las fuentes de fertilizantes, tipo de cultivo, forma y época de su aplicación.

2.4.6.1 Características del suelo

El pH del suelo influye en la disponibilidad del P de un material fertilizante a través de: a) su efecto en la solubilidad del material fertilizante y b) su efecto en la asimilabilidad de los productos resultantes de la reacción del fertilizante y el suelo (Hernández, 1999).

La disminución en asimilabilidad de los compuestos formados será más intensa y rápida en suelos con pH extremos (Hernández, 1999).

Los cambios en el pH de la rizósfera afectan la solubilidad y disponibilidad de muchos nutrientes (Casanova y Barbazán, 2002).

Las características del suelo ejercen una gran influencia sobre la profundidad de penetración de las raíces, como lo son suelos con un horizonte B arcilloso, altamente restrictivos. Muchos factores, incluyendo densidad aparente, porcentaje M.O., acidez, contenido de nutrientes, canalículos de raíces viejas y suministro de O₂, causan diferencias entre raíces (Casanova y Barbazán, 2002).

2.4.6.2 Características del material fertilizante

El origen de la roca fosfatada determina en gran medida las posibilidades de utilizarlas o no como fuente directa de P (Hernández, 1999).

El tamaño del grano puede afectar de manera significativa la eficiencia de las diferentes fuentes de P. Cuando el material fosfatado contiene una alta proporción de P soluble en agua, la granulación del material es una manera de disminuir el contacto entre el fertilizante y el suelo. Un tamaño de grano de entre 2 y 4 mm asegura una alta eficiencia del uso de fertilizante, aún cuando este se aplique con mucha anticipación a la siembra (Hernández, 1999).

2.4.6.3 Características del cultivo.

Una adecuada disponibilidad de P es importante al principio del crecimiento de todos los cultivos especialmente en los de corta duración. En cultivos de larga duración (como las pasturas) los requerimientos tienen que estar mejor distribuidos a lo largo de la vida del cultivo, teniendo en cuenta que deben ser cubiertos los requerimientos a la implantación (Hernández, 1999).

El conocimiento de las características tempranas del enraizamiento es útil en la determinación del método más efectivo de localización del fertilizante. Si se produce tempranamente un vigoroso sistema radicular superficial, las aplicaciones de fertilizante pueden ser mejor ubicadas directamente debajo de la semilla. Si muchas raíces laterales son formadas tempranamente, la localización del fertilizante al costado sería lo recomendable (Casanova y Barbazán, 2002).

Cultivos con buen sistema radicular una vez desarrollado, pueden verse beneficiados por aplicaciones de P soluble al principio del crecimiento, o en condiciones que de algún modo limitan el crecimiento radicular (Hernández, 1999).

Wolfe y Lazemby, (op cit), citados por Cubas y Ferreira (2005), sugieren que el fertilizante fosfatado no tiene efecto sobre el proceso de emergencia pero sí en la supervivencia de las plántulas ya emergidas

Casanova y Barbazán (2002), agregan también que una adecuada fertilización de la superficie del suelo estimula, no sólo un mayor crecimiento de la parte aérea, sino también un más vigoroso y extenso sistema radicular. Esta estimulación del desarrollo radicular está relacionada al aumento gradual de N y P en las células que están en activa división y elongación.

2.4.6.4 Forma y época de aplicación.

En cuanto a la disponibilidad de la fertilización residual, Casanova y Barbazán (2002), citan que las aplicaciones de fertilizante tendrán en cuenta la cantidad de nutrientes sobrantes en el suelo después de cosechado el cultivo anterior. La cantidad remanente dependerá de la cantidad aplicada al cultivo previo, del rendimiento obtenido, de la parte cosechada del cultivo y del suelo.

Es tan importante determinar la zona apropiada en el suelo en la cual aplicar el fertilizante, como elegir la dosis correcta del mismo. Las decisiones de localización involucran el conocimiento del crecimiento del cultivo y características del suelo, cuyas interacciones determinan la disponibilidad del nutriente (Casanova y Barbazán, 2002).

Dentro de los factores de manejo deben considerarse la forma y época de aplicación. Desde el momento que la mayor eficiencia de los fertilizantes fosfatados solubles se da con el mínimo tiempo de reacción con el suelo, es lógico pensar que dicha eficiencia se podrá maximizar aplicándolos en el momento de la siembra o lo más próximo posible a ella, de manera de reducir el período de pérdida de eficiencia (Hernández, 1999).

Esta pérdida se da por la conversión de P soluble a formas de P menos solubles (Casanova y Barbazán, 2002).

Un aspecto relacionado con lo anterior relativo a la forma de aplicación. En fertilizantes fosfatados solubles una manera de minimizar también el contacto con el suelo es a través de aplicaciones localizadas en una banda en la línea de siembra (Hernández, 1999).

Casanova y Barbazán (2002), refiriéndose a nutrientes específicos como el fósforo consideran que después de la siembra, las aplicaciones superficiales no ubicarán al fósforo cerca de la zona de actividad radicular, y menos aún en cultivos anuales, sin embargo, cuando el propósito de la fertilización fosfatada es el mantenimiento de especies forrajeras, la aplicación superficial si es un método eficiente de aplicación.

La eficiencia relativa de la aplicación del fósforo en bandas o al voleo está relacionada a los niveles de fósforo en el suelo y a la dosis de aplicación.

Cuando la dosis de P se incrementa, las aplicaciones al voleo pueden ser iguales o superiores a las bandas. Sobre suelos de baja a moderada fijación, la aplicación al voleo es uno de los métodos más efectivos. Sobre suelos de baja y/o alta fijación de P, aplicaciones en bandas tan cerca de la siembra como sea posible será el método más eficiente. En suelos de medio a alto niveles de P en el suelo, el momento y los métodos de aplicación son menos importantes (Casanova y Barbazán, 2002).

2.4.7 Requerimientos y eficiencia del fósforo en las pasturas.

Prácticamente en ninguna de las unidades de suelo, en condiciones naturales, se encuentran los niveles mínimos (10-12 ppm) propuesto por Castro et al, (1981a, b) citado por Olmos (2001), para lograr la instalación y persistencia de las leguminosas forrajeras debiendo por tanto realizarse aplicaciones de fosfatos al mismo (Olmos, 2001).

Comúnmente, la proporción de leguminosas en la producción total de pasturas mezcla de forrajes, aumenta con el suministro de fósforo lo que significa que la habilidad competitiva de las leguminosas es menor bajo condiciones de baja disponibilidad de fósforo en el suelo (Rabuffetti et al, 1983 citados por Ferrés et al, 2003). Las diferencias morfológicas de raíces de gramíneas y leguminosas afectan la capacidad de absorción de fósforo desde el suelo. La mayoría de las gramíneas producen una densa red de raíces finas y fibrosas que se ramifican completamente dentro de los estratos del suelo a profundidades de 24 a 50 cm. Esta red de raíces explora toda la masa del suelo y es capaz de extraer suficiente fósforo desde el suelo ocurriendo lo contrario con las leguminosas u otras plantas con sistemas radicales menos penetrantes. Las leguminosas forrajeras tienen raíz principal o ramificaciones que son de menor extensión y fibrosidad que las raíces de gramíneas (Engelstad y Terman, 1980).

Las deficiencias de fósforo, al limitar el establecimiento de las leguminosas, afectan la nodulación y fijación del nitrógeno. Estos factores son frecuentemente las principales limitantes para obtener buenos resultados en pasturas mezclas de gramíneas con leguminosas (Haynes, 1980, Mays et al, 1980, Mathews et al, 1998 citado por Ferrés et al, 2003). Esto es debido a que la baja disponibilidad del fósforo en los suelos brinda una ventaja competitiva a las gramíneas, dado sus sistemas radicales más extensos, finos y de pelos radicales más largos (Caradus, 1980, Mathews et al, 1998 citados por Ferrés et al, 2003).

La capacidad de respuesta de la leguminosa está condicionada por la especie de leguminosa y sus características diferenciales en cuanto a hábito de

crecimiento, sistema radicular, ciclo vegetativo, potencial de rendimiento, etc. (Alves et al, 1988).

En el caso de la siembra de *Lotus corniculatus* cv San Gabriel también se puede obtener una instalación de plantas importantes con menores aplicaciones iniciales de fósforo (40 kg/ha), pero la productividad forrajera será menor en el primer año frente a fertilizaciones más altas (Olmos, 2001).

Armas y col. (1986) citado por Alves et al (1988), señalan que el Lotus es la especie que presenta menor respuesta al agregado de P en la siembra, además destacan que el Lotus tiene la mayor eficiencia agronómica en el uso del P y por consiguiente altos rendimientos relativos a bajos niveles de P disponible.

Alves et al. (1988), sostienen que el Trébol rojo, es una especie que en términos de respuesta es intermedia entre el Lotus y el Trébol blanco para suelos medios y pesados del sur.

2.5 IMPLANTACION DE LEGUMINOSAS EN EL RASTROJO DE ARROZ

Los suelos muy húmedos inundables corresponden casi en su totalidad a gleysoles, los cuales pasan gran parte del año con exceso de agua y con grandes riesgos de inundaciones, por lo que aún siendo de uso exclusivo ganadero, su uso pastoril es restringido (Carámbula, 2004).

En cuanto a los suelos húmedos drenados, éstos están formados básicamente por planosoles. Ellos presentan exceso de agua en invierno como consecuencia de la presencia de un horizonte B compacto, el cual impide que no sólo se registre un buen almacenaje de agua sino además el desarrollo de sistemas radicales profundos. Estos efectos atentan contra el buen crecimiento y desarrollo de las plantas; lo que conduce a que estos suelos sean particularmente sensibles a las sequías (Carámbula, 2004).

Los suelos arroceros de la Zona Este del país presentan como característica común un horizonte argilúvico de máximo desarrollo y escasa permeabilidad. Esto junto con la topografía plana que también es común a todos los suelos arroceros son los dos factores responsables de las condiciones de pobre drenaje tanto interno como de superficie que los caracterizan fuertemente (Grierson y Mas, 1982).

2.5.1 Consideraciones sobre la implantación de pasturas en rastrojos de arroz

2.5.1.1 Método de siembra

Según Alvarez et al, (1977), la siembra de pasturas en rastrojo de arroz debe ser realizada mediante avión por varios motivos: permite independizarse del estado del terreno; es el método más rápido y más barato; no interfiere en el uso de maquinaria, sobre todo cuando la siembra de la pastura se realiza antes de la finalización de la cosecha del arroz.

La primera decisión consiste en optar por sembrar el año de la cosecha (rastrojo) o bien esperar al otoño siguiente (barbecho), lo que si bien no tiene porque definir necesariamente el método de siembra, por lo menos encamina su elección. En el primer caso se depende mucho de las condiciones climáticas en función del reducido espacio de tiempo entre la cosecha y el invierno salvo casos especiales en el norte, y en general sería recomendable la cobertura sobre el rastrojo. La opción por el otoño siguiente permite todas las posibilidades de siembra desde el punto de vista agronómico (Mas, 1996).

Un buen cultivo de arroz entrega normalmente un rastrojo limpio, que una vez drenado, constituye una buena cama de germinación (Mas, 1996).

Cuando se siembra una cobertura dentro de una rotación de dos años de arroz y cuatro de pasturas, en términos prácticos el período de pastoreo se reduce en un 25%, debido al manejo de la implantación y al laboreo previo al siguiente cultivo. En un esquema como el planteado y en el caso de hacer una convencional, el período útil de pastoreo de la pradera se reduciría a la mitad (Mas, 1996).

Esta limitación de la convencional se constituye en una de las ventajas del método cobertura, y puede ser en muchos casos el factor decisivo (Mas, 1996).

De acuerdo con resultados obtenidos por Grierson y Mas (1982), queda de manifiesto el importante potencial productivo que presentan las praderas en los suelos de planicie arroceras, el método convencional fue claramente superior a la cobertura en producción total.

Son relativamente frecuentes las opiniones que sostienen que el pisoteo y enterrado de parte del material es beneficioso para la implantación de la pradera. Lo más importante a tener en cuenta cuando se registra un pastoreo con cargas altas sobre el suelo húmedo o encharcado del rastrojo, es el porcentaje de suelo perdido a los efectos de la implantación, ya que cada

pezuña marca un hundimiento del terreno donde posteriormente se estaciona el agua que impide la germinación de la semilla o el pasaje de plántula a planta. Otros aspectos negativos derivados de esta práctica es el deterioro importante de las propiedades físicas de la parte superior del suelo y un atraso en la fecha de siembra (Mas, 1996).

Los mejoramientos tradicionales suponen esperar un año después de la cosecha de arroz para realizar la siembra de leguminosas. Durante ese año de barbecho, se puede obtener un pastoreo interesante de la paja de arroz, estando condicionado por la fecha de cosecha y las primeras heladas. Dicho espacio de tiempo suele ser muchas veces muy corto, y para aprovecharlo se usan a menudo dotaciones altas (vacas de cría), que hacen un uso ineficiente del forraje por el efecto del pisoteo. El suelo queda prácticamente desnudo hasta la primavera, durante la cual prosperan una gran cantidad de malezas. Durante el verano comienza a aparecer gramilla (*Cynodon dactylon*) y en lugares húmedos principalmente, se encuentra arroz rojo y capín (*Echinochloa sp.*). Como las malezas, o por lo menos muchas de ellas, no son comidas por el ganado, además de semillar profusamente dificultan la siembra al segundo otoño, particularmente cuando el verano se presenta lluvioso. Durante el primer año, debido al proceso de implantación y desarrollo inicial normalmente lento y al manejo cuidadoso que conviene aplicar a la pastura, el rendimiento de ésta es aproximadamente un 30% de su potencial (Mas, 1978).

Es importante que la paja permanezca erecta, de manera que pueda cumplir una función protectora para la pradera en su primera etapa de crecimiento. En este sentido, no es recomendable pastorear los rastros que vayan a ser sembrados, salvo en casos especiales (Alvarez et al, 1977).

A los efectos de alcanzar la máxima eficiencia, la preparación de tierra para el arroz conviene que incluya labores de nivelación (Land plane). Después de la cosecha (puede ser antes o inmediatamente después de la siembra), se debe abrir drenajes que permitan la salida del agua, evitando períodos de inundación demasiado prolongados, que comprometan el éxito de la implantación (Mas, 1978).

De esta manera, y por encima de las grandes diferencias que se registraran con respecto a profundidad del horizonte superior, textura, estructura, pH, contenido de materia orgánica, etc., las condiciones de drenaje actúan como un factor homogeneizante, limitando fundamentalmente las posibilidades de diversificación en la explotación de estos suelos (Grierson y Mas, 1982).

En suelos muy húmedos inundables y húmedos drenados, el drenaje pobre es probablemente el factor más importante que afecta a la fertilidad y a todas las especies forrajeras. Sin embargo, se debe tener presente que normalmente las leguminosas son más afectadas que las gramíneas (Carámbula, 2004).

Por lo tanto, resulta importante enfatizar algunas medidas que deberían aplicarse para atenuar los efectos nocivos del exceso de agua, particularmente sobre los sistemas radiculares. Para lograr este objetivo se tendrá que facilitar el drenaje tanto superficial como interno del suelo, sembrar especies tolerantes al exceso de agua y optar por cultivares resistentes a enfermedades (Carámbula, 2004).

Considerando las siembras sobre rastrojo de arroz, y más allá de las propiedades físicas y químicas del suelo, el drenaje será el elemento de mayor importancia en la adaptación de la especie introducida (Mas, 1996).

En la medida que el drenaje mejora, aumentaran las posibilidades productivas de la pastura implantada. La experiencia indica como muy aconsejable el uso de la zanjadora rotativa o “valetedeira”, debiendo además conectarse los “desgotes” de taipa con las zanjas trazadas Chevataroff (1982) citado por Bonilla y Grierson (1982).

El método empleado para la implantación de praderas en rotación con arroz depende primariamente del esquema de rotación propuesto y más concretamente de la secuencia en que se incluyen tales labores de nivelación y drenaje respecto del cultivo de arroz y de la siembra de pasturas (Grierson y Mas, 1982).

Si la rotación es encabezada por una pradera, las tareas de recuperación del suelo condicionan su siembra a métodos convencionales, en tanto que la siembra en cobertura (cero o mínimo laboreo) sólo es aconsejable siguiendo al arroz cultivado con medidas de nivelación y drenaje previas (Grierson y Mas, 1982).

Dependiendo de la fertilización que haya tenido el arroz, la pastura se implanta y produce normalmente durante el primer año sin el agregado de fertilizante. Además, este tipo de siembra permite implantar raigrás en cobertura al primer año con un comportamiento productivo que no se logra en años sucesivos (Mas, 1978).

La producción promedio del barbecho de arroz se situó en los 1500 -1700 kg/ha de materia seca siendo aproximadamente la mitad aportada por la

maleza. El 85% del forraje fue producido entre la primavera y el verano, un 10% en el otoño, mientras que el invierno contribuyó con sólo 5% del total. La estación más productiva fue el verano por el mayor crecimiento de las gramíneas nativas y la menor producción de malezas con respecto a la primavera. Se estimó que la producción de la cobertura podría ser aproximadamente 3.5 veces superior a la del barbecho en materia seca (Grierson y Mas, 1982).

2.5.1.2 Epoca de siembra

Las condiciones en las cuales se llega a la cosecha, son la base del éxito o fracaso de la posterior pastura. Una buena planificación de cuáles serían las chacras de arroz en las que posteriormente a la cosecha se sembrarán las praderas del establecimiento, es un punto de partida fundamental (Stirling, 2005).

La conveniencia de siembras tempranas que permitan la germinación y desarrollo inicial de las plantas antes de la entrada del invierno, es un conocimiento incorporado desde los inicios de la pradicultura en el país (Mas, 1996).

Dentro de las ventajas que esto supone, se puede mencionar la disminución en la pérdida inicial de semillas y plántulas; la posibilidad de una mejor nodulación de las leguminosas; la utilización de nutrientes, particularmente el P, cuya disponibilidad y utilización por la planta disminuye con la caída de la temperatura; un mejor crecimiento otoñal, que si bien no es utilizable en el momento, permite pastoreos más tempranos al final del invierno; posible control de malezas por mejor condición de competitividad; etc. (Mas, 1996).

Si es posible que las primeras chacras cosechadas sean a su vez las primeras praderas a implantarse, se podrían estar sembrando a fines del mes de marzo o abril, garantizando una temperatura del suelo ideal para el nacimiento de la pradera (Stirling, 2005).

De los estudios realizados para conocer el efecto de distintas épocas de siembra en la implantación y posterior comportamiento productivo de una mezcla forrajera compuesta de raigrás, lotus y trébol blanco, se obtuvieron resultados coherentes con la hipótesis que propone la siembra temprana como la más adecuada (Mas, 1996).

Según Olmos (2001), en un estudio realizado para *Lotus corniculatus* variedad San Gabriel la época de siembra en el mes de abril coincide en

promedio con el momento en que se combinan mejor las variables ambientales con las climáticas para la instalación de las plantas; en este momento el riesgo de sequía luego del nacimiento de las plántulas es menor y las temperaturas medias no son muy bajas durante el mes siguiente como para detener el crecimiento, en cambio sí lo son a partir de los primeros días de junio.

Otro aspecto a considerar es el aprovechamiento del P aplicado a la siembra, porque si el crecimiento es temprano (siembra de abril) la planta lo utilizará rápidamente en los meses siguientes cuando esté más disponible. En cambio en la siembra más tardía (fin de mayo-junio) determinará una menor eficiencia por un menor crecimiento de la planta y el fósforo comenzará a ser fijado por el suelo y sería menor la cantidad disponible cuando se instalen las plantas (Olmos, 2001).

Los resultados confirman que cuanto más se atrasa la siembra hacia el inicio del invierno, menor es la cantidad de plantas que se instala dentro de la comunidad vegetal (Olmos, 2001).

Cuando las diferencias encontradas se expresan en producción de materia seca total, la siembra de abril supera a las demás en la primer primavera, siendo igualada por la siembra de mayo al cabo del primer año que incluye el aporte del segundo otoño. Las diferencias desaparecieron al cabo del segundo ciclo productivo (Mas, 1996).

Las siembras del mes de mayo y junio enfrentan condiciones más adversas para el nacimiento (baja temperatura y exceso de humedad) y no se podrán pastorear en forma temprana en la primer primavera (Stirling, 2005).

Cuando se analiza la fracción «especies sembradas», en el primer año se complica la comparación entre épocas porque interacciona con la densidad de siembra, que es la otra variable en estudio (Mas, 1996).

2.5.1.3 Densidad de siembra

Después de alcanzado un número mínimo de semillas viables por unidad de superficie, hay otras medidas o decisiones que adquieren mayor importancia y que no siempre son utilizadas correctamente, entre las que se mencionan: elección de la especie o variedad; calidad de la semilla; preparación de la cama de siembra; época de siembra; manejo de los nutrientes vegetales; manejo de utilización inicial; manejo de la semillazón y resiembra en el primer ciclo productivo; etc. (Mas, 1996).

Al hablar específicamente de la siembra en cobertura sobre un rastrojo de

arroz recién cosechado, puede parecer que el factor «cama de siembra» no sea manejable (Mas, 1996).

Como el rastreo es lógicamente producto de la operación anterior, el tema debe ser abordado a través de la tecnología aplicada al cultivo, al que se le debería exigir obras previas de nivelación y drenaje, época de siembra correcta que permitirá una cosecha temprana, fertilización adecuada y buen control de malezas (Mas, 1996).

Cuando se estudió dentro de una mezcla de leguminosas el comportamiento del raigrás sembrado en densidades crecientes de 5 kg/ha desde 0 hasta 20, se vio que la gramínea mostró una respuesta clara sólo hasta los 10 kg ya que no hubo diferencia entre 10 y 15 ni entre 15 y 20. La inclusión de raigrás en la mezcla significó un 34% de incremento en el rendimiento de la mezcla y la fracción leguminosas no se vio afectada por la participación del raigrás ni por la densidad a la que fue sembrado. Los resultados fueron coherentes entre años confirmando por un lado que ni la producción total ni la fracción leguminosas son afectadas en grado importante por las densidades a que es sembrado el raigrás y por otro que la gramínea puede ser exitosamente establecida con cantidades menores de semilla a las tradicionalmente utilizadas (Mas, 1996).

Una siembra de 3 kg/ha de raigrás fue suficiente en todos los casos para tener un stand de plantas aceptable, habiendo sido superada significativamente la producción de la dosis mínima en uno de los experimentos a partir de los 9 kg, en otro a partir de los 15 kg, en un tercero fue superada sólo por el tratamiento 30 kg y en una cuarta oportunidad no hubo diferencias entre 3 y 30 kg/ha (Mas, 1996).

2.5.2 Ventajas de la siembra sobre rastreo

El primer indicio de la necesidad de manejar las pasturas surge de las evaluaciones que se enumeran a continuación:

a) Rastrojo: Su productividad durante el primer año a partir de la cosecha depende fundamentalmente de la fecha en que se realice la misma, y a su vez de la fecha en que se registren las primeras heladas. Estos factores estarán determinando la utilización del remanente de forraje que deja el cultivo, incluyendo un posible rebrote. Esto corresponde al período del otoño. Durante el invierno la producción de forraje es nula, y la primavera y verano inmediatos, se caracterizan por una altísima incidencia de malezas, siendo la regeneración del tapiz muy lenta.

b) Barbecho: Las posibilidades de producción de forraje del barbecho, van a estar influenciadas fundamentalmente por el tiempo transcurrido desde la última cosecha. A partir del segundo año, y a su vez dependiendo del manejo y de las condiciones de drenaje entre otros factores, las malezas disminuyen progresivamente (fundamentalmente las de porte mediano), y la gramilla (*Cynodon*) pasa a ser la gramínea más importante del tapiz (Alvarez et al, 1977).

Según Mas (1978), las ventajas que se han podido comprobar para este método de siembra son:

- permite ganar un año en la utilización del barbecho.
- utiliza el P_2O_5 residual del cultivo de arroz.
- los rendimientos del año de implantación son normalmente superiores a los de cualquier otro tipo de siembra en cobertura.
- se puede incluir gramíneas en coberturas.
- se controla mejor la maleza.

Bonilla y Grierson (1982), también mencionan como ventaja de la siembra de praderas inmediatamente a la cosecha del cultivo de arroz, la seguridad de implantación. En esta etapa los restos de paja de arroz ayudan a mantener la humedad del suelo y disminuir los efectos de bajas temperaturas. La competencia de pastos y malezas es mínima.

Los mejoramientos derivados de este método de siembra, presentan la tendencia de ser más productivos que los otros en los años sucesivos al de implantación (Mas, 1978).

Es evidente la imposibilidad de mejorar la producción ganadera mediante el uso de los rastrojos y barbechos de arroz, que presentan las limitantes de cantidad, calidad y distribución de forraje, con la simple aplicación de fertilizante (Alvarez et al, 1977).

La Estación Experimental del Este, ha desarrollado una técnica de implantación de especies forrajeras productivas en los rastrojos de arroz, que permite cubrir los siguientes objetivos:

- Solucionar las deficiencias de producción presentadas por el rastrojo y barbecho de arroz.
- Aprovechar al máximo el lapso de tiempo destinado a las pasturas entre dos cultivos (Alvarez et al, 1977).

Según Alvarez et al (1977), agrega a las ventajas mencionadas anteriormente, las siguientes: no se necesita ningún tipo de maquinaria agrícola y es el método más sencillo y más económico.

Tanto los resultados experimentales como los obtenidos a nivel de producción en el este del país, indican que la siembra de pasturas sobre rastrojos de arroz ofrecen la posibilidad de desarrollar una explotación ganadera de altos índices productivos con costos relativamente bajos (Mas, 1996).

En este sentido, la siembra de una pastura vigorosa, además de la productividad mencionada, actuará como agente estabilizador del suelo, agregando fertilidad que será utilizada por el siguiente cultivo, pudiendo significar mejores rendimientos y reducción de insumos con especial referencia al fertilizante nitrogenado (Mas, 1996).

A modo de ejemplo Mas (1996), considera la opción de instalar una pradera convencional al otoño siguiente a la cosecha, debidamente nivelada, para establecer el cultivo siguiente por el método de siembra directa, eliminando la vegetación implantada con herbicida.

2.5.2.1 Elección de la mezcla forrajera.

Existen diferencias tan marcadas en la emergencia, vigor inicial y comportamiento de las especies forrajeras, que muchas veces el éxito o fracaso en la implantación de una pastura artificial depende de la elección de las especies (Dowling et al, 1971 citados por Arechavaleta y Bervejillo, 1980).

La elección de las especies que formarán la mezcla forrajera es decisiva tanto para su productividad como para su longevidad, en dicha elección es indispensable considerar tres factores fundamentales: suelo, clima y propósito (Carámbula, 1977).

2.5.2.2 Suelos

Los caracteres del suelo que más interesan en la elección de plantas forrajeras, son el drenaje, la profundidad, la fertilidad, la textura y el pH (Carámbula, 1977).

2.5.2.3 Clima

En este sentido es importante considerar la luz, la temperatura y la humedad.

i) Luz. Varias especies como trébol rojo, alfalfa, el dactilis y la cebadilla soportan bien la sombra, algunas como lotus son intermedias, mientras que otras como el trébol blanco, la festuca y el falaris disminuyen notablemente su crecimiento cuando se ven enfrentadas a una alta competencia por luz (Carámbula, 1977).

Black (1957) y Harris et al, (1973) citados por Arechavaleta y Bervejillo, (1980) encontraron que los regímenes de luz del otoño tardíos e invierno eran menos óptimos para el trébol blanco que para el raigrás.

ii) Temperatura. Si bien en general los tréboles blanco y rojo germinan bien a temperaturas más bajas que las gramíneas perennes, otras como el lotus requieren temperaturas algo mayores (Carámbula, 1977).

Mitchell (1956) y Harris et al, (1973) citados por Arechavaleta y Bervejillo, (1980), encontraron un mayor crecimiento del raigrás bajo temperaturas bajas que en trébol blanco. Estas limitan la fijación de nitrógeno por parte de las leguminosas, Harris et al, (1973) citados por Arechavaleta y Bervejillo, (1980).

iii) Humedad. Las leguminosas requieren niveles de humedad menores que las gramíneas para germinar, ya que no sólo la imbibición es más rápida, sino que alcanzan en menor tiempo un contenido más alto de agua, Mc William et al, (1970) citados por Arechavaleta y Bervejillo, (1980).

Según Blaser et al. (1952), citados por Arechavaleta y Bervejillo (1980), las gramíneas son generalmente menos vulnerables, a los daños ocasionados por excesos o deficiencias de agua que las leguminosas.

La gramínea que exige menos niveles de humedad es el raigrás anual, que germina con niveles muy bajos. Con respecto a las leguminosas, los tréboles en general requieren mayores niveles de humedad que lotus y alfalfa (Carámbula, 1977).

2.5.2.4 Propósito

El tipo de necesidad a cubrir por la pastura es también determinante fundamental a considerar en la elección de las especies.

2.5.2.5 Especies

Bermúdez (2002), realizó una evaluación de especies y cultivares de leguminosas sobre rastrojo de arroz en la zona baja de la Región Este del país, de la misma concluyó que la producción total de materia seca del mejoramiento en el otoño-invierno del año 2000 no mostró diferencias significativas entre las

diferentes especies evaluadas. Considerando el aporte de la fracción especie sembrada, el ranking fue (de mayor a menor producción) trébol Alejandría cv INIA Calipso, lotus común cv INIA Draco, trébol rojo cv E116, lotus anual cv El Rincón, lotus tenuis, lotus común cv San Gabriel, trébol rojo cv INIA Mizar, trébol blanco, cv INIA Kanopus, trébol blanco cv Zapicán, lotus rizomatoso cv LE627, trébol blanco cv Regal, totus rizomatoso cv Maku y trébol vesiculosum cv Zulu. Se destacan los altos aportes del trébol Calipso y del lotus Draco en este período del año y los muy bajos aportes de los tréboles blancos Zapicán, Kanopus y Regal así como de los lotus Maku y LE627 del trébol Zulu.

La producción total de materia seca del mejoramiento en el total del año 200-2001 no mostró diferencias significativas entre las diferentes especies, mientras que para el aporte de la fracción especie sembrada el ranking fue (de mayor a menor producción) Draco, Calipso, LE116, Mizar, Zapicán, Maku, San Gabriel, Kanopus, El Rincón, tenuis, Regal, LE627 y Zulu. Se destaca el alto aporte del lotus Draco con un 60 % más de producción que el Calipso especie que le siguió en rendimiento y los bajos aportes de El Rincón, tenuis, Regal, LE627 y Zulu, (Bermúdez, 2002).

La producción total de materia seca del mejoramiento en el total del año 2001-2002 no mostró diferencias significativas entre las diferentes especies a pesar de que se registraron diferencias de 2000 kg MS/ha entre la especie que más produjo (Draco) y la de menor producción (Mizar). El ranking (de mayor a menor producción) para el aporte de la fracción especie sembrada fue Maku, San Gabriel, Draco, LE627, LE116, Zapicán, tenuis, Kanopus, Mizar y Regal. Se puede resaltar el buen comportamiento de los lotus Maku, San Gabriel, Draco y LE627 (Bermúdez, 2002).

Eliminado el trébol subterráneo (*Trifolium subterraneum*) que tuvo su importancia en los inicios de la década del 70, Mas (1996) cita que las leguminosas que mejor se adaptan a la siembra sobre el rastrojo de arroz son trébol blanco (*Trifolium repens*), trébol rojo (*Trifolium pratense*) y lotus (*Lotus corniculatus*).

2.5.2.5.1 Trébol Blanco

Debe ser considerada la más importante y desde el punto de vista de las condiciones actuales de la “ganadería arrocerá” insustituible en la mezcla. Puede considerarse la opción de su siembra pura (Alvarez et al, 1977).

En cuanto a la implantación de pasturas sobre rastrojo de arroz, el trébol blanco es considerado generalmente como el principal componente de la mezcla por su contribución a la misma en cantidad y calidad de forraje, por su

aptitud colonizadora particularmente durante el otoño siguiente a la implantación y por su aporte probablemente superior de nitrógeno al sistema (Mas, 1996).

El trébol blanco es responsable de la parte más importante del rendimiento de la pastura para situaciones normales (Mas, 1978).

Como aspecto negativo debe destacarse que causa problemas de meteorismo, que pueden llegar a ser graves en algunos períodos del año (Alvarez et al, 1977).

Cuando se comparó el comportamiento productivo de distintos cultivares y procedencias en un ambiente que permitiera la mejor expresión productiva de los mismos, drenaje mejorado, preparación convencional y alta fertilización, los cultivares nacionales Zapicán y Bayucúa junto con la variedad Pitau superaron al resto. Cuando la prueba se realizó en condiciones de rastrojo, con siembra en cobertura sobre el barro, compitiendo con otras forrajeras, y sin fertilización inicial, los cultivares Zapicán y Bayucúa fueron claramente superiores (Mas, 1996).

Produce buenos rendimientos en la mayoría de los suelos, prosperando en suelos fértiles, particularmente arcillosos (Carámbula, 1977). También puede crecer y producir en suelos de drenaje imperfecto, Blaser et al. (1952) citado por Arechavaleta y Bervejillo (1980).

En cuanto a la competencia, un sombreado de las gramíneas sobre esta leguminosa produce un efecto negativo en su crecimiento y producción, Donald (1963); Harris et al. (1973) citados por Arechavaleta y Bervejillo (1980).

Esta leguminosa es utilizada en aquellos lugares donde las temperaturas del verano son moderadas y donde la humedad del suelo no se considera limitante, así como niveles adecuados de P, ya que esta especie sufre enormemente la falta de agua y muchas plantas pueden morir en el verano (Carámbula 1977).

2.5.2.5.2 Lotus

Es una especie no exigente en cuanto a requerimientos de suelo, ya que es sumamente plástica, desarrollándose satisfactoriamente tanto en suelos arenosos como arcillosos. Puede crecer en suelos demasiados secos para el trébol blanco. Subsiste en suelos moderadamente ácidos o alcalinos y aún con bajos porcentajes de fósforo. Sin embargo, responde muy bien a la fertilización fosfatada y al encalado (Carámbula, 1977).

Blaser et al, (1952) y luego Chevrette (1960) citado por Arechavaleta y Bervejillo (1980), comprobaron que esta leguminosa se comportaba como muy resistente en condiciones de anegamiento, corroborando que el lotus crece y se desarrolla en suelos de drenaje imperfecto.

En el caso de ser incluida en la mezcla, cumple con la función de alargar el ciclo productivo de la misma hacia el verano. Una vez implantada, presenta una persistencia destacadísima. Produce forraje en las primaveras secas que limitan la producción del trébol blanco, y responde productivamente a las lluvias de verano. Una de sus ventajas es la de no producir meteorismo (Alvarez et al, 1977).

Según Mas (1996), el lotus es otra leguminosa que puede ser de gran importancia, dependiendo de los objetivos en la utilización del forraje producido a considerar en la implantación sobre rastrojo de arroz. Estudiando el rendimiento de diversas mezclas forrajeras en distintos ciclos productivos, se observó que las que incluían lotus produjeron en promedio 30% más forraje que el resto, y que la mencionada leguminosa fue responsable de más del 40% de la materia seca total producida por la mezcla forrajera. Muestra buena adaptación al medio ofrecido por el rastrojo, a pesar de la ocurrencia de enfermedades a hongos que aparecen en forma errática y que pueden ser de incidencia negativa importante en la producción de algunos años.

Cuando se comparan variedades tanto en las mejores condiciones como en el rastrojo, los cultivares San Gabriel y El Boyero se destacaron sobre el resto, siendo iguales entre sí (Mas, 1996).

2.5.2.5.3 Trébol Rojo

Prefiere suelos fértiles, bien drenados, con buena capacidad de retención de agua, textura media a pesada y profundidad media a profunda. Tolerancia a suelos de baja fertilidad, así como ácidos y es poco productivo en suelos arenosos o lixivianos (Carámbula, 1977).

Según Mas, (1996) la implantación de trébol rojo sobre rastrojo de arroz, podría tener importancia en pasturas de corta duración, con una alta frecuencia del cultivo en la rotación. En las evaluaciones realizadas comparando distintos materiales genéticos, muestra un potencial muy importante durante el primer año, destacándose los cultivares Estanduela 116 y Kenland.

Debe sembrarse temprano en el otoño, dado que sus plántulas son sensibles al frío. En siembras oportunas, compite fuertemente con otros pastos y leguminosas particularmente bajo condiciones favorables de humedad y

temperatura y producen altos volúmenes de forraje en su primer año. Esta característica compensa su vida corta y justifica su inclusión en mezclas para praderas permanentes, las cuales normalmente no son muy productivas en el primer año y principios del segundo (Carámbula, 1977).

La respuesta a la fertilización fosfatada por parte de la leguminosa se traduce directamente en un mayor rendimiento e indirectamente en la mayor disponibilidad de N que este efecto produce en la pastura (Alves et al, 1988).

2.5.2.5.4 Raigrás anual

El raigrás es una forrajera relativamente poco exigente en cuanto a suelos, viviendo en una gama amplia de textura, desde arcillosos a arenosos y bajo situaciones donde otras forrajeras anuales no pueden prosperar, su productividad es tanto mayor cuanto más alta es la fertilidad del suelo (Carámbula, 1977).

Es una gramínea anual de abundante producción de forraje, muy buen rebrote, gran resistencia al pastoreo y a los excesos de humedad. Soporta altas dotaciones y sus características alimenticias y de apetecibilidad son excelentes. Se resiembraba muy fácilmente (Carámbula, 1977).

2.5.2.6 Competencia

Una siembra en cobertura sobre el tapiz es afectada en su establecimiento, principalmente por la competencia ejercida por éste. Douglas (1967) citado por Arechavaleta y Bervejillo (1980) encontró que la acción competitiva del tapiz vivo, posteriormente a la emergencia, determinó niveles bajos de sobrevivencia. Este comportamiento no se da en la siembra sobre rastrojo de arroz, dado que al no haber tapiz, la competencia en el establecimiento es principalmente entre las especies que se implantan (Arechavaleta y Bervejillo, 1980).

2.6 INFLUENCIA DE MICRORELIEVE EN EL DESARROLLO DE LA PASTURA.

Un rastrojo de arroz presenta en el primer año distintos microambientes principalmente resultantes de la labor de cosecha mecánica sobre terreno húmedo o inundado. Estos son: rastrojo y paja (cola de cosecha), huella y agua.

2.6.1 Rastrojo

Está constituido por los tallos erectos del arroz cosechado, los que determinan la característica de dicho micro ambiente. Estos ofician como elemento protector contra adversidades climáticas durante todo el ciclo de la pastura, de las especies implantadas. Es por esto, que tanto el establecimiento como la producción de materia seca de la pastura, puede ser superior en este microambiente con respecto a los demás. Un factor importante en el establecimiento de semillas sembradas en superficie, es la necesidad de cobertura (Campbell, 1963; Cullen, 1964; Dowling et al. ,1971 citados por Arechavaleta y Bervejillo, 1980) y reducción de incidencias de heladas (During, 1963; Dowling et al, 1971 citados por Arechavaleta y Bervejillo, 1980).

Cualquier condición que reduzca la pérdida de humedad de la semilla, como ser la protección dada por la vegetación, ayudaría a un mejor establecimiento de la pastura, debido a un aumento de humedad relativa a su alrededor (Brougham, 1960; Cullen, 1966; Mc William y Dowling, 1970; Dowling et al., 1971; Campbell, 1973; Evans y Young, 1970; citados por Campbell, 1974 citado por Arechavaleta y Bervejillo, 1980).

La observación y la experiencia acumulada, indican que el rastrojo constituye un ambiente favorable para el establecimiento y desarrollo inicial de las especies introducidas, fundamentalmente por el efecto de protección que teóricamente debería ejercer. Sin embargo, en un experimento realizado con el objetivo de medir el efecto del rastrojo sobre el rendimiento en el primer año, como estimador del grado de implantación, mostró resultados y tendencias opuestas según la fracción de la vegetación considerada (Mas, 1996).

El volumen que ofrece un rastrojo recién cosechado, en un momento de escasez de forraje en términos relativos a las necesidades de la época, ha convertido en una práctica común el pastoreo del rastrojo, inclusive en los casos en que el mismo va a ser sembrado (Mas, 1996).

2.6.2 Paja

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 microambiente tenga un comportamiento especial respecto al “rastrojo” (Cubas y Ferreira, 2005).

Arechavaleta y Bervejillo (1980), obtuvieron una mortalidad de plántulas de 64% producto del déficit de radiación solar, y una menor producción de

materia seca que en la situación “rastroy” como consecuencia del menor número de plantas establecidas.

Cuando se habla de sembrar en cobertura inmediatamente después de la cosecha, hay que considerar la paja del rastroy, que variará en función del rendimiento del cultivo, de la variedad de arroz sembrada, del año, del manejo aplicado y de la cosechadora utilizada (Mas, 1996).

Según Mas (1996), el volumen del rastroy en términos de cantidad de paja erecta no debería ser problema, pero la cosechadora tradicional con el «desparramador de paja» desactivado, deja un cordón de material amontonado que oficia de barrera, dificultando la llegada de la semilla al suelo.

La presencia o ausencia de paja no diferenció la producción de materia seca total ni la contribución de las malezas (Mas, 1996).

Las leguminosas trébol blanco y lotus, aportaron significativamente más cuando fueron sembradas en el ambiente donde se había eliminado la paja, al contrario del raigrás que fue superior en el rastroy (Mas, 1996).

La presencia de la paja erecta como ambiente protector de la semilla sembrada, depende del uso que se haga del rastroy poscosecha (Mas, 1996).

Una tendencia de las leguminosas es a presentar un mejor crecimiento inicial cuando no tienen el sombreado de la paja, pero debe tenerse en cuenta que los efectos desaparecen en el comportamiento posterior de la pastura y que pueden haber diferencias entre años (Mas, 1996).

2.6.3 Huella

Este micro-relieve no ofrece protección a las plántulas, las que quedan expuestas a desecación y heladas. El encostramiento y compactación son factores importantes en los suelos arroceros, dado que éstos en general tienen un elevado contenido de arcilla y un bajo contenido de materia orgánica, destacándose que en la depresión producida por los equipos de cosecha, se reduce sensiblemente el horizonte de suelo superficial. A esto se 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, citado por Arechavaleta y Bervejillo, 1980).

2.6.4 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 (Carámbula, 1977).

Blaser et al, (1952) citado por Arechavaleta y Bervejillo (1980), concluyeron que las gramíneas generalmente son menos vulnerables a los daños ocasionados por exceso de agua que las leguminosas.

Chevrette (1960), encontró que el *Lotus corniculatus* se comportó como muy resistente en condiciones de anegamiento, citado por Arechavaleta y Bervejillo (1980).

Takeuchi y Hashimoto (1977), citado por Arechavaleta y Bervejillo (1980) sembrando raigrás en un rastrojo de arroz húmedo sin laboreo previo encontraron que cuando había agua encharcada la germinación era pobre.

En los suelos saturados, en ciertas oportunidades podrían favorecer el movimiento libre de los rizobios en el agua hacia los horizontes inferiores, ya que ellos no son transportados por las raíces (Carámbula, 2004).

El principal efecto nocivo del exceso de agua en un suelo es el desplazamiento del oxígeno. Este elemento resulta vital para que las raíces de las especies forrajeras puedan absorber los nutrientes disueltos en el agua del suelo, entre otros el fósforo. Ello se debe a que el proceso de absorción requiere de energía, la cual debe proceder de la respiración de las raíces (Carámbula, 2004).

La experiencia y los estudios realizados, indican que los problemas de implantación generados por impedimentos de contacto suelo-semilla, o pérdida de ésta por encharcamiento u otros motivos, son generalmente localizados y quedan solucionados al segundo período, cuando se hace un buen manejo de semillazón a fines de primavera, y de limpieza al final del primer verano (Mas, 1996).

Se vio que hubo una clara tendencia deprimente del agua sobre la emergencia del trébol blanco. El número de plantas fue muy superior sin exceso hídrico (rastrojo, paja y huella) que en lo anegado (Arechavaleta y Bervejillo, 1980). Si bien la falta de humedad impide la germinación un exceso de agua puede promover muerte de semillas fundamentalmente por falta de oxígeno (Carámbula, 1977).

2.7 EMERGENCIA Y ESTABLECIMIENTO DE ESPECIES SEGUN MICRO-RELIEVE

Stirling (2005), la instalación de una pradera en los meses del otoño-invierno en suelos en general de topografía plana, lleva consigo un paquete de acciones que son necesarias de realizar antes de la siembra del arroz (por ejemplo nivelación y drenajes principales). Si estas dos prácticas se efectúan, no solamente redundarán en una mejora para el cultivo de arroz, sino que serán fundamentales para la posterior siembra de semillas de gramíneas (raigrás, festuca) y leguminosas (lotus y tréboles) que componen la pradera. Es importante remarcar que debido al pequeño tamaño de las semillas a sembrar, cuanto mejor sea la cama de siembra más semillas nacerán y las plántulas iniciarán su vida en condiciones que le permitirán su evolución hacia la formación de una buena pradera. Si la cosecha es realizada en seco, es decir que se retiró el agua de la chacra por lo menos 20 días antes del comienzo de la cosecha, se pudieron romper las taipas en forma inmediata y se abrieron los drenajes principales y secundarios para que los excesos de agua escurran hacia fuera de la chacra, tenemos un porcentaje importante de la implantación ganado. Si enfrentamos un otoño lluvioso debemos de alguna forma tener elementos para mejorar las condiciones de los rastros que queden huelleados, ya que sino un porcentaje importante del área a mejorar (10-20%) quedará sin la posibilidad de que las plántulas crezcan y se desarrollen en forma adecuada. Existen formas de lograr una cama de siembra aceptable a pesar del huelleado de las cosechadoras y carretones, que es pasar un rolo de forma de emparejar el terreno. Si el suelo está húmedo y anegado por el agua, los rolos hacen un buen trabajo y el rolo faca (rolo con paletas cortas), que entierra la paja o el rolo liso bien manejado, cambian sustancialmente el terreno. Este método ha dado buenos resultados y a medida que el terreno se seca, hay que llenarlo más de agua, para que la superficie del suelo quede lo más pareja posible. La otra ventaja del uso de este tipo de implemento es que, cuando se vuelva al ciclo del arroz luego de la pradera, el suelo está plano y facilita el laboreo primario de las rastras. Cuando pensamos en la siembra de una pradera algunas veces se descuida el aspecto del uso de esparcidor o picador de paja, que facilita mucho el nacimiento de las semillas, tanto de las gramíneas como de las leguminosas. Algo que siempre se pregunta el productor es si pastorea o no el rastrojo de forma de hacer comer la paja por parte del ganado y pisarla de forma de incorporarla al suelo. En este aspecto hay que ver bien como viene el otoño y a que altura se está del mismo, ya que puede atrasarse mucho la fecha de siembra si nos descuidamos en el pastoreo por muchas semanas. Creemos que un pastoreo con alta carga y de pocos días es mucho más efectivo que uno de baja carga y largo en el tiempo, ya que es primordial adelantar cuanto antes la siembra. Tenemos que tener en cuenta siempre que el piso del rastrojo debe tratar de conservarse siempre y por lo

tanto es preferible, si el otoño viene lluvioso, no pastorearlo para evitar que el ganado deje huellas con las pezuñas, que luego perjudican el correcto nacimiento de las semillas. Algunos productores antes de la siembra de la pradera prefieren enfardar la paja de arroz y de esa forma retiran el material, para después en el invierno darlo al ganado.

El manejo de la vegetación por el rolo faça, puede ser realizado por corte total de masa vegetal o simplemente por el acamamiento y seccionamiento, resultando la muerte de las plantas en ambos casos. En el primer caso, el material pierde humedad y se descompone con mayor rapidez y la operación de preparación primaria del suelo (arado) queda facilitada. En el segundo caso es recomendado para el manejo de abonos verdes, cuando se desea realizar siembra directa, pues la paja seca incorporada al suelo reduce los problemas de arrastre de la cobertura vegetal por la sembradora (Araújo et al., 1993 citado por De Pontes et al., ca.1998)

En cuanto a las diferencias dentro de los microrelieves (rastroy, paja y huella) Arechavaleta y Bervejillo (1980), concluyeron que no hubo una tendencia clara por lo que parecería indiferente el número de plántulas/ m² emergidas del trébol blanco del lugar donde cayó la semilla, exceptuando el agua.

Al analizar el establecimiento de trébol blanco se observó el mismo fenómeno que en la emergencia de la misma especie (Arechavaleta et al, 1980).

Arechavaleta y Bervejillo (1980), demostraron una disminución significativa de plantas establecidas, tanto en la huella como en la paja con respecto al rastroy.

En cuanto al número de plántulas de lotus por metro cuadrado, Arechavaleta y Bervejillo (1980), llegaron a las mismas conclusiones que para trébol blanco, pero menos marcadas.

Se aprecia en esta especie nuevamente la disminución de su establecimiento en plantas/m², en los microrelieves paja y huella en cada una de las parcelas.

Para el raigrás se vio que no se modificaba la tendencia observada en emergencia y establecimiento con respecto a las leguminosas (Arechavaleta y Bervejillo, 1980).

Se vio que el porcentaje de emergencia promedio de todas las especies fue marcadamente superior en el rastrojo, huella y paja que en el agua dado que un exceso de esta puede promover muerte de plántulas y semillas fundamentalmente por falta de oxígeno (Carámbula, 1977).

Arechavaleta y Bervejillo (1980), analizaron el porcentaje de mortalidad según microrelieve para trébol blanco, lotus y raigrás, como resultado obtuvieron que en el primer estadio de crecimiento no hubieron diferencias significativas en cuanto a número de plántulas, entre los microrelieves, rastrojo, paja y huella, siendo significativas en el establecimiento.

Al analizar la mortalidad del trébol blanco y del lotus se vio claramente que esta fue superior en la paja y la huella (Arechavaleta y Bervejillo 1980). En cuanto al microrelieve paja, fue la ausencia de luz el principal factor (Blazer et al, 1952; Donald 1963; Sears, 1975 citados por Arechavaleta y Bervejillo, 1980). Con respecto a la huella fueron principalmente dos los factores que pudieron haber incidido en el porcentaje de mortalidad estos fueron: anegamiento en la emergencia y ocurrencia de heladas (Carámbula, 1977).

3- MATERIALES Y METODOS

3.1 UBICACION Y CARACTERISTICAS DEL SUELO

El ensayo fue realizado en INIA Treinta y Tres, Unidad Experimental “Paso de la Laguna” (UPAG) (Latitud 33° 54 Sur, Longitud 54° 38 Oeste), en el período 2003 al 2004. La siembra en cobertura se realizó sobre un suelo de la Unidad “La Charqueada”, cuya característica más sobresaliente es el drenaje imperfecto, siendo su fertilidad de media a baja. Mas (1978).

Las características del suelo se presentan a continuación:

Solod Melánico/Ocrico, L. paráuico (hidromórfico, húmico)
Solonez

Horizonte A: Espesor: 7 a 30 cm
Color: pardo grisáceo oscuro, gris muy oscuro
Textura: Fr L
Estructura: bloques subangulares medios, débiles
Transición: clara
pH: 5.3 a 5.8
% M.O.: 3.5 a 5.4
C.I.C.: 15 meq/100g
%S.: 80

Horizonte B-A: Espesor: 10 a 20 cm
Color: gris oscuro a gris muy oscuro
Textura: Fr L
Estructura: bloques subangulares medios, débiles
Transición: clara y gradual
pH: 6.1
% M.O.: 1.3 a 0.8
C.I.C.: 21 meq/100g
%S.: 90

Horizonte B_{2t}: Espesor: 30 a 70 cm
Color: gris oscuro a gris muy oscuro y pardo grisáceo
Textura: Fr Ac L/Ac L
Estructura: bloques subangulares grandes, moderados y fuertes
Transición: gradual

pH: 6.8 a 7.8
 % M.O.: 0.5
 C.I.C.: 21 a 26 meq/100g
 %S.: 100

Horizonte C: Color: gris parduzco claro y gris oliva
 Textura: Ac L/Fr Ac L

3.2 ANTECEDENTES

Desde el año 1970 el potrero estuvo en rotación de cultivos y praderas siendo fertilizado con fósforo y/o nitrógeno en los diferentes años. Las dos últimas fertilizaciones recibidas fueron en el cultivo de arroz en la zafra 2000-01 con 182 kg/ha de 15-15/16-15 micronutrientes y 100 kg/ha de urea en cobertura (se cosecharon 130 bolsas de arroz), en la zafra 2002-03 con 170 kg/ha de 15-30-15 y con 100 kg/ha de urea en cobertura (se cosecharon 113 bolsas).

El análisis químico del suelo se presenta en el cuadro 4. Los muestreos fueron realizados en el mes de setiembre de cada año.

Cuadro 4. Análisis químico del potrero en el que se instaló el experimento.

Año	Uso previo	pH	MO	Bray I	Ac. Cítrico	K
1998	Pradera	5.4	1.55	5.1	13.2	0.13
1999	Pradera	5.3	1.97	6.2	23.6	0.09
2000	Pradera/Arroz	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
2001	Arroz/Raigrás	5.7	2.31	3.7	12.6	0.19
2002	Raigrás/Arroz	6.1	1.62	2.4	4.5	0.19
2003	Arroz	5.9	2.12	2.9	5.9	0.18

En la zafra 2000-2001 se sembró con EP144, debido a la Aftosa no se tomaron muestras de suelo.

En la zafra 2002-2003 se volvió a sembrar con EP144 sobre un raigrás sembrado en el otoño 2001 sobre el rastrojo del arroz cosechado.

3.3 ANALISIS DEL SUELO

El muestreo de suelo se realizó tomando 3 muestras por parcela con un calador a 10 cm de profundidad. Cada muestra se dividió en los primeros 5 cm de profundidad (0-5 cm) y en los segundos 5 cm (5-10cm). Los resultados se presentan en el cuadro 5.

Cuadro 5. Análisis de suelo (2003).

Prof. (cm)	Bray I μ P/g	Cítrico μ P/g	pH (H ₂ O)	C.Org %	K meq/100g
0-5	14.7	23.9	5.5	1.52	0.22
5-10	4.2	7.5	5.7	1.02	0.06

3.4 CARACTERIZACION CLIMATICA

El experimento realizado abarca los años 2003-2004, por lo que es necesario considerar las condiciones climáticas en que fue evaluado el mismo. En el cuadro 6 y 7 se presentan las precipitaciones (mm) y temperaturas medias (°C) para la Unidad Experimental Paso de la Laguna.

Cuadro 6. Precipitaciones (mm) en los años 2003-2004, y promedio de la serie histórica 1973-2004, en la U.P.A.G.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Suma
2003	60	315	57	68	326	153	292	114	217	51	151	49	1594
2004	102	48	27	181	180	53	96	61	146	92	67	59	1118
Prom	122	153	106	109	120	114	133	99	113	98	103	98	1368

Cuadro 7. Temperatura (°C) en los años 2003-2004, y promedio de la serie histórica 1973-2004, en la U.P.A.G.

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Prom
2003	23	22,9	21	16,1	14,2	11	10,2	10,7	12,8	16,5	18,6	19,6	16,4
2004	23,2	21,7	21,1	19,6	12,9	12,2	11	13,3	14,4	15,1	18,2	21,1	17,0
Prom	22.7	22.1	20.8	17.4	13.8	11.0	10.7	11.9	13.4	16.5	18.7	22.4	16.7

El diseño experimental consistió en 4 bloques con parcelas al azar, los tratamientos consistieron en cinco niveles de fertilización inicial (0, 40, 60, 80 y 120 kg/ha de P₂O₅).

El fertilizante utilizado fue Superconcentrado (0-46/47-0) aplicado al voleo el 5 de junio del 2003. El potrero fue sembrado por avión el 7 de mayo de 2003 con una mezcla de diferentes especies, las mismas y sus respectivas densidades de siembra fueron *Trifolium repens* cv. Zapicán (3 kg/ha), *Trifolium pratense* cv. INIA Mizar (3 kg/ha), *Lotus corniculatus* cv. San Gabriel (6 kg/ha) y *Lolium multiflorum* cv. LE 284 (15 kg/ha).

3.5 DETERMINACIONES EN LA PASTURA

3.5.1 Implantación

Se realizaron dos conteos de plantas (6/08/2003) y (3/09/2003), que consistieron en registrar el n° de planta/m², de trébol blanco, trébol rojo, lotus y raigrás.

Los registros se realizaron arrojando 10 veces por parcela un aro de 16 cm de diámetro y contando las plántulas de las distintas especies en el interior del mismo.

Luego se sacaron al azar 10 plantitas de cada especie y se contó el n° de hojas expandidas/planta para trébol blanco y trébol rojo; n° de tallos /planta en lotus; y n° de macollos/planta en raigrás. Posteriormente se llevaron las muestras a la estufa a 105 °C para determinar peso/planta (g/pl) en balanza con una precisión de 0.0001 g para las dos fechas de muestreo.

3.5.2 Producción de Forraje

Se realizaron tres cortes (11/11/03), (19/12/03) y (12/05/04) para determinar la producción de forraje.

Para efectuar los cortes se utilizó un tractor experimental Valpadana con barra de corte recíprocante, cortando a 5 cm de altura, con un ancho operativo de 1.27 y 6 m de largo.

En el campo las muestras cortadas se pesaron para determinar el peso verde de las mismas.

Luego se procedió a llevar las muestras al laboratorio y separar dos submuestras representativas de 150 g cada una para posterior determinación del porcentaje de materia seca y análisis botánico, este procedimiento fue el mismo para las tres fechas de corte.

Con los 150g utilizados para hacer análisis botánico se separó: trébol blanco, trébol rojo, lotus, raigrás, restos secos, otros restos (gramíneas naturales) y malezas, se pesó cada fracción y luego se juntaron fracciones del mismo nivel de fertilización y se llevaron a la estufa durante 24 hs a 105°C para calcular el porcentaje de materia seca de las mismas.

3.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico se realizó mediante el programa SAS, las variables analizadas fueron:

- materia seca en el 1º corte, 2º corte, 3º corte y total de cortes
- nº plantas/m² de T.R, T.B, L, Rg para 1º conteo y 2º conteo
- nº hojas expandidas/planta para T.R y T.B y nº de tallos/planta y macollos/planta para Lotus y Raigrás respectivamente, para el 1º y 2º conteo
- peso/planta para el 1º y 2º conteo de todas las especies en estudio.

El modelo estadístico utilizado fue:

$$X_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma$$

X_{ij} = variable analizada

μ = media experimental

α_i = bloque

β_j = tratamiento

γ = error experimental

i = bloque (1-4)

j = tratamiento (1-5)

RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 IMPLANTACIÓN

Se evaluó el efecto de la fertilización fosfatada en la implantación de las diferentes especies, mediante el conteo del número de plantas/m² y peso de plantas, mientras que para trébol blanco y trébol rojo se midió a su vez número de hojas expandidas/planta; para lotus y raigrás se midió el número de tallos y macollos respectivamente.

4.1.1 Trébol Blanco

Cuadro 8. Efecto de la fertilización fosfatada sobre el número de plantas/m², peso/planta y número de hojas expandidas/planta de trébol blanco para la primera evaluación (6/08/2003) y segunda evaluación (3/09/2003).

	Primera evaluación (91 días)			Segunda evaluación (119 días)		
P ₂ O ₅ kg/ha	Nº pl./m ²	Peso/pl (g/pl)	Nº hojas/pl.	Nº pl./m ²	Peso/pl (g/pl)	Nº hojas/pl.
0	48.5	0.017	2.3	62.2	0.080	5.2
40	65.9	0.027	3.1	62.2	0.13	6.5
60	55.9	0.027	2.7	62.2	0.100	6.8
80	53.5	0.022	2.7	50.9	0.150	6.8
120	52.2	0.030	2.7	69.6	0.130	5.6
Sign.	0.85	0.13	0.13	0.88	0.25	0.39
C.V %	128.2	29.1		126.7	33.5	
Tratamiento	ns	ns		ns	ns	
Bloque	ns	0.032		ns	ns	
P0 vs Fert.	ns	0.029		ns	0.074	
Lineal	ns	0.031		ns	0.089	
Cuadrático	ns	ns		ns	ns	

El número de plantas/m² de trébol blanco no fue afectado significativamente por la fertilización fosfatada en ninguno de los dos conteos realizados (cuadro 8). Esto puede ser consecuencia de los elevadísimos coeficientes de variación, lo cual indica que hubo otros factores diferentes a los tratamientos aplicados, que afectaron los resultados. Esos factores pueden ser: irregularidades de las parcelas dada por los desniveles del terreno, situación de rastrojo (rastrojo parado, paja, huella y agua) y el método de siembra por avión, determinando esto que la distribución de las semillas no sea homogénea.

Se detectó un aumento en el número de plantas/m² entre el primer y segundo conteo de un 11% (cuadro 8).

Para las dos evaluaciones la variable peso/planta mostró una tendencia de tipo lineal-plateau, dada la mayor significación del contraste P0 vs fertilizado frente al contraste lineal, lo cual indica que hubo aumento en el peso de plantas a la fertilización con fósforo, pero no hubo diferencias significativas entre las distintas dosis de P agregado. Las plantas que recibieron fósforo pesaron en promedio un 56 % más que el testigo en la primera evaluación y un 59 % en la segunda evaluación.

Resultados similares fueron aportados por Morón (1996) y Hernández (1999); los cuales afirman que el peso/planta aumenta al fertilizarse, esto puede explicarse debido a que la deficiencia de P en las pasturas disminuye las tasas de crecimiento, afecta la concentración de P en el forraje y su calidad nutritiva; Hernández agrega que una deficiencia hace reducir el sistema radicular y los tallos son más delgados.

El peso de las plantas entre la primer y la segunda evaluación se multiplicó por 4.7 veces en promedio de todos los tratamientos (cuadro 8).

El número de hojas/planta de trébol blanco no fue afectado significativamente por la fertilización en ambas evaluaciones sin embargo los tratamientos que recibieron fertilización fosfatada presentaron 22 % más hojas que el testigo en la primera evaluación y 24 % en la segunda evaluación.

El trébol blanco tiene una respuesta a la fertilización fosfatada muy alta, imprescindible para su implantación y persistencia, respondiendo siempre al agregado de este nutriente. El período de implantación se desarrolla durante el invierno, estación en la cual la tasa de crecimiento es mínima debido a las deficiencias lumínicas y bajas temperaturas, lo que se vio agravado por las excesivas precipitaciones registradas en el mes de mayo (cuadro 6).

Quintero y Boschetti, (1997) afirman que una deficiencia de P disminuye la expansión foliar, determinando una menor superficie foliar y un menor número de hojas que se puede apreciar en los resultados obtenidos (2.3 vs 2.8 para el primer conteo y 5.2 vs 6.4 para el segundo conteo).

Bordolli, citado por Hernández (2004), sostiene que en el invierno es cuando se magnifica la respuesta al agregado de P, la cual es mayor porque hay una menor disponibilidad en el suelo de P, relacionado también a que las bajas temperaturas limitan el crecimiento así como también una menor

disponibilidad de este elemento. Esto se tendría que reflejar en los resultados obtenidos, en los cuales solo fue afectado significativamente el peso/planta que aumentó al aumentar la dosis de fertilizante, siendo los demás componentes evaluados (Nº pl/m² y Nº hojas/pl) no significativos, pero con una tendencia al incremento cuando se aumenta la dosis de fertilizante.

4.1.2 Trébol Rojo

Cuadro 9. Efecto de la fertilización fosfatada, sobre el número de plantas/m², peso/planta y número de hojas expandidas/planta de trébol rojo para la primera evaluación (6/08/2003) y segunda evaluación (3/09/2003).

	Primera evaluación (91 días)			Segunda evaluación (119 días)		
P ₂ O ₅ Kg./ha	Nº pl./m ²	Peso/pl (g/pl)	Nº hojas/pl	Nº pl./m ²	Peso/pl (g/pl)	Nº hojas/pl.
0	47.3	0.025	4.2	29.8	0.090	7.6
40	49.8	0.036	4.5	28.6	0.170	9.7
60	53.5	0.037	4.2	53.5	0.130	10.4
80	46.0	0.046	4.4	50.9	0.160	9.1
120	47.3	0.050	4.6	39.8	0.180	10.1
Sign.	0.99	0.01	0.75	0.11	0.12	0.58
C.V %	127.2	21.3		129.3	32.5	
Tratamiento	ns	0.009		ns	ns	
Bloque	ns	ns		0,062	ns	
P0 vs. Fert.	ns	0.002		ns	0.031	
Lineal	ns	0.001		ns	0.025	
Cuadrático	ns	ns		ns	ns	

En el cuadro 9 se puede observar que no existe respuesta significativa a la fertilización en el número de plantas/m² de trébol rojo en ambos conteos, si bien en el segundo conteo se vio un incremento del 87% en el número de plantas/m² de trébol rojo al pasar de la dosis 40 kg/ha a 60 kg/ha de P₂O₅. Se observó una pérdida de plantas del orden del 40% entre el primer y segundo conteo en los niveles de 0 y 40 de kg/ha de P₂O₅.

Al igual que lo que sucedía en los resultados para trébol blanco, los coeficientes de variación son muy altos y los factores que lo podrían estar alterando son los mismos que antes se mencionaron.

Estos resultados muestran que la fertilización fosfatada no afecta el número de plantas establecidas pero sí el desarrollo de las mismas tanto en trébol blanco como en trébol rojo. Este desarrollo siguió un modelo de respuesta lineal al agregado de fósforo en trébol rojo, a diferencia de lo que pasaba con trébol blanco que respondió a un modelo lineal-plateau.

La causa de esta reducción en el N° pl/m² en el segundo conteo (nivel 0; 40), podemos suponer que se debió a muertes, si lo comparamos con el N° pl./m² en el primer conteo (47,3; 49,8 vs. 29,8; 28,6), estas pueden ser debidas a que el trébol rojo no se implantó bien y no desarrolló su sistema radicular profundo. El trébol rojo necesita para su implantación suelos fértiles y bien drenados (Carámbula, 1977), ya que sino puede ser atacada su raíz pivotante por enfermedades de raíz y corona (Moliterno, 2002, datos no publicados). Seguramente tuvo algún problema en la implantación ya que es una especie de muy buen vigor inicial, siendo una planta muy precoz. Esto lo podemos corroborar si comparamos el número de hojas expandidas/planta de trébol rojo y trébol blanco en las dos evaluaciones, según los datos obtenidos en la primera evaluación el n° de hojas expandidas/planta promedio para las situaciones testigos fueron para trébol blanco 2.3 y para trébol rojo de 4.2, en la segunda evaluación fueron de 5.2 para trébol blanco y 7.6 para trébol rojo.

Para el caso de hojas expandidas/planta no se encontraron diferencias significativas en ninguno de los dos conteos realizados.

4.1.3 Lotus

Cuadro 10. Efecto de la fertilización fosfatada, sobre el número de plantas/m², peso/planta y número de tallos/planta de lotus para la primera evaluación (6/08/2003) y segunda evaluación (3/09/2003).

	Primera evaluación (91 días)			Segunda evaluación (119 días)		
P ₂ O ₅ Kg./ha	Nº pl./m ²	Peso/pl (g/pl)	Nº tallos/pl	Nº pl./m ²	Peso/pl (g/pl)	Nº tallos/pl
0	106.9	0.009	1.9	113.2	0.030	2.7
40	73.4	0.011	2.0	58.4	0.025	3.2
60	83.4	0.009	1.9	93.3	0.035	3.1
80	69.6	0.009	1.9	75.9	0.033	3.2
120	78.3	0.011	1.6	63.4	0.032	2.9
Sign.	0.40	0.07	0.04	0.09	0.27	0.31
C.V %	112.3	14.4		125.0	20.6	
Tratamiento	ns	0.069		0,098	ns	
Bloque	0,018	0.002		0,003	0.044	
P0 vs. Fert.	0,061	0.078		0,025	ns	
Lineal	ns	0.052		0,067	ns	
Cuadrático	ns	ns		ns	ns	

En el cuadro 10 se puede observar que el número de plantas/m² mostró una respuesta lineal-plateau, quedando sujetos los resultados a los altos coeficientes de variación obtenido.

En el primer conteo se registró una reducción del número de plantas/m² del orden del 29% entre el tratamiento sin fertilizar y los fertilizados. En el segundo conteo la reducción fue del orden del 36%. En promedio no se detectó un cambio en el número de plantas/m² entre el primer conteo y el segundo conteo. Estos resultados corroboran lo ante dicho por Armas y col. (1986) citado por Alves et al (1988), que señalan que el lotus es la especie que presenta menor respuesta al agregado de P en la siembra, destacando que tiene la mayor eficiencia agronómica en el uso de P y por consiguiente altos rendimientos a bajos niveles de P disponible.

Con respecto al peso de plantas, en la primera y segunda evaluación, no se encontró un efecto importante de la fertilización. Cabe resaltar que se registró un incremento del peso/planta entre la primera y segunda evaluación del orden del 216% en promedio de los tratamientos.

Para número de tallos/planta se encontraron diferencias significativas en el primer conteo, con la mayor dosis de fósforo (120) se dio el menor número de tallos/planta, en el segundo conteo esta diferencia no se registró.

Se debe considerar también que por características genéticas de las especies sembradas las especies anuales y bianuales (como es el caso del raigrás y trébol rojo específicamente) son más precoces que especies las perennes (lotus), por lo tanto estas compiten mejor por recursos como nutrientes, espacio, etc, lo que llevaría a una menor implantación de estas especies en una siembra asociada.

4.1.4 Raigrás

Cuadro 11. Efecto de la fertilización fosfatada sobre el número de plantas/m², peso/planta y número de macollos/planta de raigrás para la primera evaluación (6/08/2003) y segunda evaluación (3/09/2003).

	Primera evaluación (91 días)			Segunda evaluación (119 días)		
P ₂ O ₅ Kg./ha	Nº pl./m ²	Peso/pl (g/pl)	Nº mac/pl.	Nº pl./m ²	Peso/pl (g/pl)	Nº mac/pl.
0	74.6	0.05	2.1	80.8	0.21	4.3
40	78.3	0.05	1.9	101.9	0.16	3.9
60	80.8	0.03	1.4	123.1	0.14	3.2
80	108.2	0.03	1.6	93.3	0.14	3.6
120	106.9	0.03	1.6	109.4	0.17	3.5
Sign.	0.19	0.43	0.37	0.28	0.49	0.08
C.V %	92.9	55.6		87.9	36.8	
Tratamiento	ns	ns		ns	ns	
Bloque	0,024	ns		0,0001	ns	
P0 vs. Fert.	ns	ns		ns	ns	
Lineal	0,033	ns		ns	ns	
Cuadrático	ns	ns		ns	ns	

El nº de plantas de raigrás mostró una respuesta lineal al agregado de P en el primer conteo, perdiéndose esta respuesta en el segundo conteo.

Con respecto al peso/planta no tuvieron diferencias significativas para ninguna de las variables en estudio, pero igualmente para las dos evaluaciones realizadas, los mayores pesos registrados no se dieron con las dosis más altas de P agregado.

En la segunda evaluación las plantas pesaron 4.3 veces más que en la primera evaluación.

Se puede ver que se dio una buena implantación de raigrás (Nº plantas/m² y Nº mac/pl) para los dos conteos ya que esta especie sembrada es muy macolladora y muy agresiva por ser anual (cuadro 11). Esto corrobora lo mencionado por Carámbula (1977) que el raigrás es de productividad mayor cuánto más alta es la fertilidad del suelo.

4.2 PRODUCCION DE FORRAJE

Para determinar materia seca producida se realizaron tres cortes, cuyos resultados se presentan en los siguientes cuadros con su correspondiente análisis.

4.2.1 Primer Corte

Cuadro 12. Efecto de la fertilización fosfatada en la producción de forraje (kg/ha de materia seca) total (MST) y de los distintos componentes trébol blanco (TB), trébol rojo (TR), lotus (L), raigrás (RG), gramíneas naturales (GN) y malezas (MZ) en el primer corte (11/11/03).

	TB	TR	L	RG	GN	MZ	MST
0	8	61	11	307	2	38	427
40	23	64	4	436	1	62	590
60	31	90	11	527	5	22	686
80	11	100	9	692	1	16	827
120	19	121	7	552	2	21	722
Sign.	0.56	0.61	0.54	0.34	0.43	0.45	0.50
C.V %	114.5	69.8	80.2	50.6	148.6	117.7	49.4
Tratamiento	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Bloque	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
P0 vs. Fert.	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Lineal	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Cuadrático	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

La producción de materia seca total del mejoramiento, como la de todos sus componentes no mostró respuesta a la fertilización fosfatada, siendo el aporte promedio de todos los tratamiento 650 kg/ha de MS. El 77% de la producción de materia seca total promedio de los niveles de P estuvo dado por el aporte del raigrás, siguiéndole en importancia el aporte del trébol rojo con un 13%, el trébol blanco con 3 % y el lotus 1%. La incidencia de malezas fue relativamente importante representando el 5 % del total del forraje producido (cuadro 12).

Los altos coeficientes de variación obtenidos pueden ser los responsables de estos resultados. Aún en casos como el T.R, donde se ve una tendencia hacia la respuesta, esta no llegó a ser significativa, dado que el C.V es de 69.8%, el cual es más bajo que los otros pero aún es un coeficiente alto.

4.2.2 Segundo Corte

Cuadro 13. Efecto de la fertilización fosfatada en la producción de forraje (kg/ha de materia seca) total (MST) y de los distintos componentes trébol blanco (TB), trébol rojo (TR), lotus (L), raigrás (RG), gramíneas naturales (GN) y malezas (MZ) en el segundo corte (19/12/03).

	TB	TR	L	RG	GN	MZ	MST
0	57	250	280	489	18	8	1178
40	91	205	203	515	5	13	1031
60	103	378	179	537	5	56	1257
80	178	455	219	601	7	55	1515
120	159	492	163	546	9	75	1443
Sign.	0.12	0.08	0.88	0.98	0.74	0.30	0.28
C.V %	56.2	43.2	81.2	50.9	179.6	82.5	25.4
Tratamiento	ns	0.085	ns	ns	ns	ns	ns
Bloque	ns	ns	ns	0.045	ns	ns	0.019
P0 vs Fert.	0.063	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Lineal	0.021	0.015	ns	ns	ns	ns	ns
Cuadrático	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

En el segundo corte, que fue realizado el 19 de diciembre, no se encontró una respuesta significativa a la fertilización fosfatada para la producción total de forraje, así como tampoco hubo repuesta significativa en los siguientes componentes de la mezcla: lotus, raigrás, gramíneas nativas y malezas. Sin embargo en lo que respecta a trébol blanco y trébol rojo se registró una respuesta lineal a la fertilización fosfatada, puede deberse esto a que los C.V son menores con respecto al primer corte, esto se lo puede atribuir al clima ya que las precipitaciones ocurridas antes de realizar este corte (19/12) fueron menores (cuadro 6), entonces el efecto del microrelieve no afectó tanto los resultados.

En el caso del trébol blanco la repuesta obtenida fue del orden de los 0.98 kg MS/kg de P agregado y para trébol rojo esta respuesta fue de 2.44 kg MS/kg de P agregado.

En promedio la producción total de MS se mantuvo en el orden de los 1248 kg MS/ha, siendo el aporte del raigrás y trébol rojo los mayores responsables de la producción obtenida aportando un 43% y 28% respectivamente a la producción.

Las leguminosas introducidas aportaron en promedio el 53% del forraje obtenido.

En lo que respecta a la fracción malezas estas no representaron más de un 4% del total en el forraje producido (cuadro 13).

4.2.3 Tercer Corte

Cuadro 14. Efecto de la fertilización fosfatada en la producción de forraje (kg/ha de materia seca) total (MST) y de los distintos componentes trébol blanco (TB), trébol rojo (TR), lotus (L), raigrás (RG), gramíneas naturales (GN) y malezas (MZ) en el tercer corte (12/05/04).

	TB	TR	L	RG	GN	MZ	MST
0	217	148	248	4	113	185	915
40	157	150	275	3	248	140	971
60	219	252	150	3	186	47	856
80	197	182	148	2	94	98	721
120	261	286	248	5	118	44	960
Sign.	0.13	0.05	0.07	0.06	0.03	0.001	0.68
C.V %	24.3	23.8	33.8	32.4	41.9	38.1	30.2
Tratamiento	ns	0.005	0.076	0.065	0.026	0.001	ns
Bloque	0.098	0.086	ns	ns	ns	ns	ns
P0 vs Fert.	ns	0.026	ns	ns	ns	0.0005	ns
Lineal	ns	0.001	ns	ns	ns	0.0002	ns
Cuadrático	0.076	ns	0.087	0.015	0.058	ns	ns

La fertilización fosfatada no afectó significativamente la producción total del mejoramiento, en lo que respecta al tercer corte. En el caso de los demás componentes (trébol blanco, trébol rojo, lotus, raigrás, gramíneas y malezas), sí hubo una respuesta significativa a la fertilización.

El trébol blanco respondió a un modelo de respuesta tipo cuadrático, pero cabe aclarar que la ecuación para este modelo presenta el término lineal con signo negativo y un R^2 de 0.6852.

El trébol rojo responde a un modelo de respuesta lineal más que a un modelo lineal-plateau dado el mayor nivel de significancia para el contraste lineal; aumentando la producción en 1.11 kg/kg de P agregado.

El lotus para un nivel de significancia al 10% y el raigrás para un nivel del 5% responden a un modelo de tipo cuadrático, pero al igual de lo que sucedía con el trébol blanco, presentan el término lineal de la ecuación con signo negativo.

Finalmente las malezas mostraron una reducción significativa lineal de su aporte con el aumento de la fertilización fosfatada, siendo en promedio su aporte de un 11%.

En lo que respecta a la producción de forraje total (MST) ésta fue de 885 kg MS/ha, en mayor medida el aporte estuvo dado por las leguminosas, que aportaron el 71 % del forraje, discriminadas por especies este aporte fue del orden del 24 % para trébol blanco y lotus y 23 % para trébol rojo (cuadro 14).

El raigrás al ser una especie anual su aporte quedo reducido al mínimo en este corte (0.4 %).

La fracción gramíneas naturales para el tercer corte aportaron a la producción de forraje un 17 % de la misma (cuadro 14).

4.2.4 Producción acumulada del primer año

Cuadro 15. Efecto de la fertilización fosfatada en la producción anual de forraje (kg/ha de materia seca) total (MST) y de los distintos componentes trébol blanco (TB), trébol rojo (TR), lotus (L), raigrás (RG), gramíneas naturales (GN) y malezas (MZ).

	TB	TR	L	RG	GN	MZ	MST
0	282	459	539	800	134	306	2520
40	271	417	487	954	255	214	2592
60	353	719	340	1067	196	125	2799
80	386	736	376	1296	101	169	3063
120	437	898	418	1102	130	140	3125
Sign.	0.13	0.02	0.75	0.67	0.03	0.01	0.56
C.V %	27.2	30.6	53.6	45.7	39.2	29.6	21.7
Tratamiento	ns	0.023	ns	ns	0.035	0.046	ns
Bloque	ns	ns	ns	ns	ns	0.089	0.033
P0 vs Fert.	ns	0.055	ns	ns	ns	0.0006	ns
Lineal	0.017	0.003	ns	ns	ns	0.0010	ns
Cuadrático	ns	ns	ns	ns	0.098	ns	ns

La fertilización fosfatada no afectó significativamente la producción total anual del mejoramiento. Se pudo observar en los datos promedio del cuadro 15 una cierta tendencia lineal de respuesta al agregado de P.

Los resultados obtenidos concuerdan con datos recabados por Cubas y Ferreira (2005) que observaron un aumento en producción de forraje con agregado de fósforo, mostrando una tendencia lineal positiva.

En el caso de nuestros resultados, más allá de que no haya una respuesta significativa vemos que la producción anual de forraje (kg/ha MST) aumenta 5.7 kg/kg de P agregado en el rango de dosis evaluadas.

Hubo un incremento en el aporte del trébol blanco y del trébol rojo en respuesta a la fertilización fosfatada. El trébol blanco mostró un incremento de 1.45 kg MS/kg de fertilizante agregado, en el caso del trébol rojo el aumento de la producción fue en 4.1 kg MS/kg P agregado. El lotus no mostró una respuesta clara a la fertilización (cuadro 15).

La fertilización fosfatada no afectó significativamente la producción total anual de las leguminosas, no pudiéndose apreciar una respuesta clara (cuadro 16).

Cuadro 16. Producción anual de forraje de leguminosas (LEG) en kg/ha y % de las mismas de materia seca, en respuesta a la fertilización fosfatada.

P ₂ O ₅ kg/ha	LEG kg/ha	LEG %
0	1280	51
40	1173	45
60	1412	50
80	1498	49
120	1481	56
Sign.	ns	-

Cubas y Ferreira (2005), observaron también que cuando la mezcla forrajera usada presentaba mayor porcentaje de leguminosas la respuesta al agregado de P era significativa, mientras que cuando el porcentaje de leguminosas era menor las respuestas eran menores.

El raigrás mostró una tendencia a incrementar su aporte con la fertilización fosfatada pero ésta tendencia no es significativa (cuadro 15).

En lo que respecta a las gramíneas naturales tuvieron una respuesta a la fertilización fosfatada, con un comportamiento de tipo cuadrático (cuadro 15).

Finalmente la fracción malezas también mostró una respuesta significativa a la fertilización fosfatada, siguiendo un modelo de respuesta tipo lineal, donde por cada aumento de kg de fertilizante fosfatado se redujeron 1.3 kg el aporte de las malezas en el mejoramiento (cuadro 15).

En la figura 2 se puede observar las diferentes ecuaciones de regresión para las leguminosas en estudio. El trébol rojo al igual que el trébol blanco mostró un aumento en producción de materia seca, siendo en el rojo más notorio el incremento. En cuanto al lotus no se pudo observar un patrón de comportamiento definido, pero si se observó una leve tendencia a disminuir la producción de materia seca con el aumento de la fertilización.

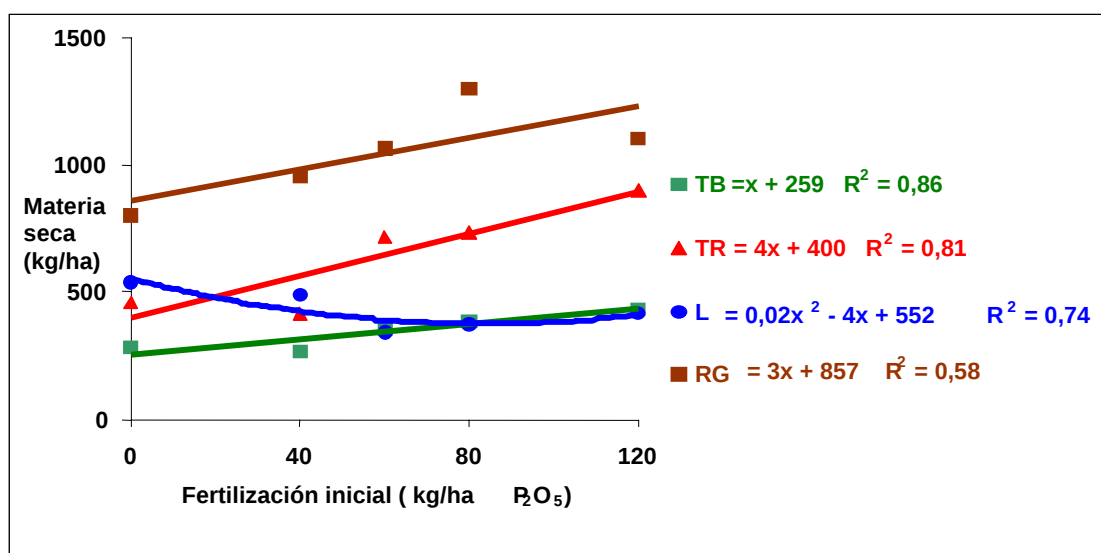
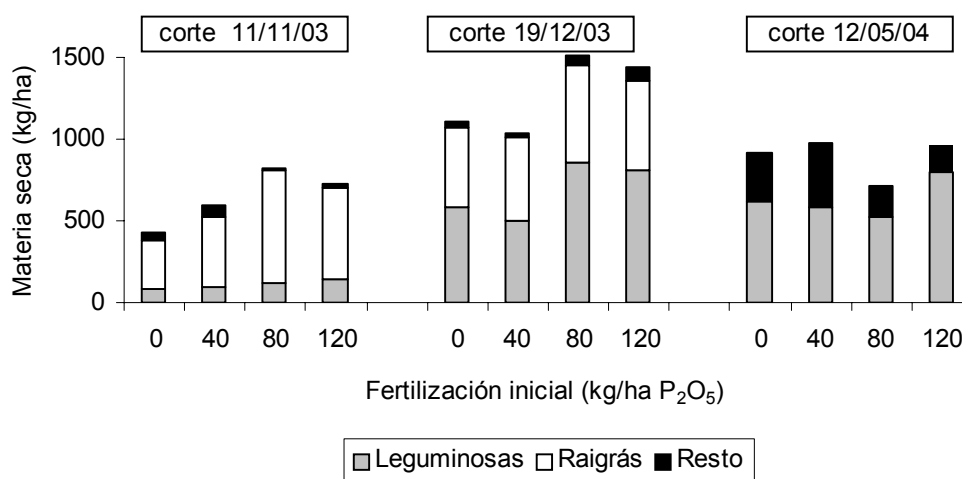


Figura 2. Respuesta a la fertilización inicial de trébol blanco, trébol rojo, lotus y raigrás en respuesta a la fertilización fosfatada.

4.3 EVOLUCION DE LAS DISTINTAS FRACCIONES DEL MEJORAMIENTO

Figura 3. Evolución de la fracción leguminosa, raigrás y resto para diferentes niveles iniciales de fertilización fosfatada.

En el corte del 11/11/03 se puede observar un pobre aporte de las leguminosas (trébol blanco, trébol rojo y lotus) y a su vez con una baja respuesta a la fertilización fosfatada (Figura 3). El aporte más importante a la producción total de forraje estuvo dado por el raigrás, mostrando una respuesta hasta los 80 kg/ha de P_2O_5 al agregado de fósforo.



En el corte del 19/12/03 fue notoria la acumulación de forraje producido entre este y el primer corte, con una diferencia entre ellos de 45 días. Se registró un importante aporte de las leguminosas a la producción total de forraje; como fue mencionado anteriormente esto es a causa de que las leguminosas demoran más tiempo para implantarse, comparativamente con el raigrás que siendo una especie anual la cual se implanta más fácilmente y el aporte en producción comienza antes. El aporte del raigrás sigue siendo importante en este corte sin ser afectado por la fertilización fosfatada.

En el corte del 12/05/04 no se detectó un efecto relevante de la fertilización fosfatada en la producción total de forraje como de la leguminosa, esto se pudo deber a las condiciones climáticas reinantes en ese período, en cuanto a las precipitaciones acumuladas entre el segundo y tercer corte fueron del orden de los 360 mm, el promedio para la serie histórica que va desde 1973 a 2004 fue de 708 mm, estas bajas precipitaciones unido a las altas temperaturas de la época pueden demostrar la baja acumulación de forraje para

este último corte. El aporte del raigrás fue prácticamente nulo y se observa un incremento importante de la fracción resto, compuesta por gramíneas naturales y malezas, respecto a los dos cortes anteriores.

5.-CONCLUSIONES

1- Nº de plantas/ m²

El trébol blanco no mostró repuesta significativa a la fertilización fosfatada en ninguna de las dos evaluaciones realizadas. Se observó sí, para esta especie un aumento en el número de plantas de un 11% entre el primer y segundo conteo, lo que indicaría que hubo más de una tanda de germinación. En el trébol rojo tampoco se vio respuesta significativa en la implantación frente al agregado de fertilizante, siendo notorio en esta especie la disminución en el número de plantas/m² en el segundo conteo, pudiéndose atribuir a la sensibilidad de esta especie a las condiciones de encharcamiento que se dieron entre el primer y segundo conteo. El lotus mostró una respuesta lineal-plateau en el número de plantas/m² en ambos conteos. En cuanto a la implantación del raigrás se observó una respuesta lineal en el primer conteo, no observándose una respuesta clara en la segunda evaluación.

2- Peso/planta

El trébol blanco respondió a un modelo lineal-plateau tanto en la primera como segunda evaluación, pesando las plantas fertilizadas un 56% y 59% más que las testigos respectivamente. El trébol rojo en ambas evaluaciones respondió a un modelo lineal; mientras el lotus no mostró respuesta a la fertilización en ambas evaluaciones, pesando en la segunda evaluación un 216% más que en la primera evaluación. El raigrás no respondió significativamente a la fertilización, pesando las plantas de la segunda evaluación 4.3 veces más que en la primera evaluación.

3- Producción de forraje

La materia seca total (MST) no fue afectada significativamente por la fertilización en ninguno de los tres cortes realizados, ni en la producción total anual. El trébol blanco presentó una respuesta nula, lineal y cuadrática en el primer, segundo y tercer corte evaluado respectivamente, mientras que en el total anual mostró una respuesta lineal. El trébol rojo presentó una respuesta nula en el primer corte y lineal tanto en el segundo como tercer corte, en el total anual respondió a un modelo lineal. El lotus y el raigrás presentaron una respuesta nula en el primer y segundo corte, y cuadrática en el tercer corte, no mostrando respuesta significativa en el total anual.

6-RESUMEN

La intensidad del cultivo del arroz en el Uruguay se ha venido incrementando en los últimos años, por lo que se planteó un trabajo para evaluar la sustentabilidad del incremento en la frecuencia del cultivo del arroz. La fertilización de la pastura aparece como un elemento a estudiar, así como la eliminación del microrelieve a los efectos de potenciar la producción de las pasturas.

En INIA Treinta y Tres, Unidad experimental “Paso de la Laguna” se plantearon dos experimentos I: evaluar la respuesta a la fertilización P de una mezcla de *Trifolium repens* cv. Zapicán, *Trifolium pratense* cv. INIA Mizar, *Lotus corniculatus* cv. San Gabriel y *Lolium multiflorum* cv. LE 284 en el primer año de establecida. El diseño experimental fue en parcelas al azar con 4 repeticiones y los tratamientos consistieron en 5 niveles de fertilización inicial (0, 40, 60, 80 y 120 kg/ha de P_2O_5). El experimento II: evaluar el efecto de la eliminación del microrelieve en la implantación de las especies antes mencionadas.

La fertilización fosfatada no afectó número de plantas/m² en trébol blanco y trébol rojo, disminuyó las de lotus, y en el raigrás fue variable. El peso/planta aumentó en trébol blanco y trébol rojo y no varió en lotus y raigrás. La fertilización fosfatada no afectó significativamente la producción total anual de forraje.

7- SUMMARY

The intensity of rice cultivation has been increasing in Uruguay during the last years, that's why a fieldwork was planned in order to evaluate the sustainable increasing of rice cultivation. The fertility of the grass appears like a studying element as the elimination of the micro relief in order to power the pasture production.

At INIA Treinta y Tres, experimental unit "Paso de la Laguna", experiment was planned in order to evaluate the fertility P in reply of a forage mixture *Trifolium repens* cv. Zapicán, *Trifolium pratense* cv. INIA Mizar, *Lotus Corniculatus* cv. San Gabriel y *Lolium multiflorum* cv. LE 284 during the first year of establishment. The experimental design was in smallholdin choosen by chance with four repetition, and the treatments consisted in five levels of initial fertilization (0, 40, 60, 80, 120 kg/ha P_2O_5).

The phosphated richness did not damage the plant number by metro cuadrado, in the trebol blanco and trebol rojo, and did not change in lotus, but it was different in raigras. The phosphated richness did not affect in a significant way the whole anual forage production.

8- BIBLIOGRAFIA

- 1- AGUIRRE, E.; RIOS, M. 1984. Relevamiento nutricional y de otras variables de producción en el área arrocerá de Tacuarembó. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 249p.
- 2- ALVAREZ, L.; CARDOZO, O.; CHEBATAROFF, N.; GRIERSON, J.; MAS C.; VINAY, H. 1977. Evaluación de las praderas del sistema "arroz-pasturas" con ganado de cría; Producción de pasturas. Estación Experimental del Este-Arozal 33 S.A. Área de recuperación de rastrojos arroceros. 19p. (mimeo).
- 3- ALVES, C. D.; DE SOUZA, D.A. 1988. Efecto del encalado y la fertilización fosfata sobre una pastura de Trébol Rojo-Raigrás en suelos arenosos ácidos. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. Tomo I. 133p.
- 4- ARECHAVALETA, E.J.; BERVEJILLO, P.E. 1980. Establecimiento y producción en el primer año de mezclas forrajeras sembradas sobre rastrojos de arroz. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía, 151p.
- 5- BEFANI, M.; QUINTERO, C.; BOSCHETTI, G.; DE BATISTA, J. 2005. Efecto de las rotaciones de cultivos y pasturas con arroz sobre las fracciones de fósforo en el suelo. Revista Científica Agropecuaria 9(1): 33-37.
- 6- BERMUDEZ, R. 2002. Evaluación de leguminosas sobre rastrojo de arroz. INIA Treinta y Tres. Actividad de difusión N° 293. pp. 46-48.
- 7- BONILLA, O.; GRIERSON, J. 1982. Un sistema de producción de carne en rotación con arroz. In: Centro de Investigaciones Agrícolas "Alberto Boerger". Miscelánea N° 48: pp. 1-13.
- 8- CARAMBULA, M. 1977. Producción y manejo de pasturas sembradas. Uruguay, Montevideo, Editorial Hemisferio Sur. 464p.
- 9- CARAMBULA, M. 2004. Métodos para estimar la disponibilidad de P en los suelos. In: Fertilización fosfatada de pasturas en la región este. INIA Treinta y Tres. Actividad de difusión N° 356. pp.33-45.
- 10- CASANOVA, O.; GENTA, H.; MALLARINO, A. 1975. Evaluación del comportamiento de 5 métodos para estimar fósforo asimilable en suelos del Uruguay. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 55p.

- 11- _____.; BARBAZAN, M. 2002. Fertilizantes. Montevideo, Facultad de Agronomía, 76p.
- 12- _____.; MALLARINO, AP. 1984. Fertilización fosfatada de leguminosas forrajeras en suelo de texturas medias y finas. Revista de la Asociación de Ingenieros Agrónomos del Uruguay 2: 196-203.
- 13- CUBAS, G.; FERREIRA, D; 2005. Respuesta al agregado de fósforo en la producción y en la calidad de forraje sobre rastrojo de arroz. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía, 86p.
- 14- DE PONTES, J.R.V.; DA SILVEIRA, G.M.; BENEZ, S.H. ca.1998. Desempenho de equipamientos no manejo mecânico da vegetação espontânea. Energia na Agricultura. Vol. 14 (2): 15-23.
- 15- ENGELSTAD, O.P.; Terman, G.L. 1980. Agronomic Effectiveness of Phosphate Fertilizers. In: The role of phosphorus in agriculture. Eds. Khasawneh, F. E.; Samplé, E.C.; Kamprath, E. J. pp. 311-332.
- 16- FERRANDO, M.; MERCADO, G., 1997. Efecto de períodos alternados de exceso de agua y secado de los suelos en la disponibilidad de fósforo. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 82 p.
- 17- FERRANDO, M.; MERCADO, G.; HERNANDEZ, J. 2002. Dinámica del hierro y disponibilidad del fósforo durante períodos cortos de anaerobiosis en los suelos. Agrociencia VI (1). 1-9.
- 18- FERRES, S.; QUEHEILLE, P.; RIET, I. 2003. Fertilización fosfatada en mejoramiento de campo en la región este. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 151p.
- 19- GRIERSON, J.A.; MAS, C.J. 1982. Producción de carne con pasturas sembradas sobre rastrojos de arroz en la zona este. Utilización de pasturas. In: Centro de Investigaciones Agrícolas "Alberto Boerger". Miscelánea N° 39. pp 1-23.
- 20- HERNANDEZ, J. 1996. Dinâmica de P 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.
- 21- _____.; 1999. Fósforo. Montevideo, Facultad de Agronomía, 85p.

- 22- _____, J.; BERGER, A.; DEAMBROSI, E. 2003. Evaluación de métodos para estimar la disponibilidad de fósforo del suelo en cultivo de arroz irrigado en el Uruguay. *In* III Conferencia internacional de arroz de clima templado. Punta del Este, Uruguay, 10 al 13 de marzo de 2003.
- 23- _____; 2004. Métodos para estimar la disponibilidad de P en los suelos. *In*: Fertilización fosfatada de pasturas en la región este. INIA Treinta y Tres. Actividad de difusión N° 356. pp.7-15.
- 24- _____; 2004. Respuesta al agregado de P en pasturas con leguminosas en las planicies del Este. *In*: Fertilización fosfatada de pasturas en la región este. INIA Treinta y Tres. Actividad de difusión N° 356. pp.119-128.
- 25- MAS, C. 1978. Descripción de unidades y resultados correspondientes a la zona 3. CIDE. *In* : Centro de Investigaciones Agrícolas "Alberto Boerger". Miscelánea N° 18. Pasturas IV. pp 55-59.
- 26- _____; 1978. Región Este. *In*: Centro de Investigaciones Agrícolas "Alberto Boerger". Miscelánea N° 18. Pasturas IV. pp 37-64.
- 27- _____; 1996. Consideraciones sobre la implantación de pasturas en rastrojos de arroz. *In* Producción y manejo de pasturas. INIA Tacuarembó. Serie Técnica N° 80. pp. 183-192.
- 28- MORON, A. 1992. El fósforo en el sistema suelo-planta. Revista INIA Investigación Agronómica N° 1. Tomo I. pp. 45-60.
- 29- MORON, A. 1996. El fósforo en los sistemas productivos: dinámica y disponibilidad en el suelo. *In*: Producción y Manejo de Pasturas. INIA Tacuarembó. Serie Técnica N° 80. pp.33-44.
- 30- OLMOS, F. 2001. Mejoramiento de pasturas con lotus en la región noreste. INIA Tacuarembó. Serie Técnica N° 124. 48 p.
- 31- PATRICK J.R WM. H.; MAHAPATRA, I.C. 1968. Transformation and availability to rice of nitrogen and phosphorus in waterlogged soils, *Advances in Agronomy* 20: 323-359.
- 32- RABUFETTI, A.; ZAMALVIDE, J. 1999. Respuesta vegetal al suministro de nutrientes. Evaluación de la fertilidad del suelo. Montevideo, Facultad de

Agronomía, 114p.

- 33- ZAMALVIDE, J.P. 1992. Dinámica del fósforo en los suelos con especial referencia a la disponibilidad en rotaciones de cultivos y pasturas. Revista INIA Investigación Agronómica N°1. Tomo I. pp.85-93.
- 34- ZAMALVIDE, J.P.; ESCUDERO, J.; MORON, A. 1978. Caracterización de la capacidad de fijación de fósforo de suelos del Uruguay. In: Primera Reunión Técnica de la Facultad de Agronomía. Tomo II, Sección Departamento de suelos. pp 1-36
- 35- A.C.A. 2003- 2004. Evolución Area Sembrada de Arroz por Departamento [en línea]. Disponible en http://www.aca.com.uy/datos_estadisticos/area_departamento.htm [Consulta 05-09-2005].
- 36- QUINTERO, C.E; BOSCHETTI, N.G. 1997. Manejo del fósforo en pasturas. Facultad de Ciencias Agropecuarias UNER. [en línea]. Disponible en <http://www.fertilizar.org/articulos/articulos.asp> [Consulta 13-06-2005].
- 37- STIRLING E. 2005. Después del arroz una pradera. [en línea]. Disponible en <http://www.aca.com.uy/revista/index.htm> [Consulta 13-06-2005].