



**UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA
FACULTAD DE AGRONOMIA**

**EFFECTO DE LA FERTILIZACION N - P
SOBRE LA PRODUCTIVIDAD DE UN
CAMPO NATURAL DE LA REGION BASALTICA**

FACULTAD DE AGRONOMIA

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES
AGROPECUARIAS Y
GANADERAS

por

Santiago E. BRUM GALLERO

Andrés J. DE STEFANI MENDILAHARSU

TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo
(Orientación Ganadero-Agrícola)

**Montevideo
URUGUAY
1998**

Tesis aprobada por:

Director: _____

Ing. Agr. Elbio J. Berretta

Ing. Agr. Juan C. Millot

Ing. Agr. Juan J. Bologna

Ing. Agr. Diego F. Risso

FECHA: _____

Autores: _____

Santiago E. Brum Gallero

Andrés J. De Stefani Mendilaharsu

AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro profundo agradecimiento a:

- Ing. Agr. Elbio J. Berretta, por su constante ayuda y apoyo en la dirección de éste trabajo y participación en el Tribunal de Aprobación.
- Ing. Agr. Diego F. Risso, por la planificación inicial y participación en el Tribunal de Aprobación.
- Ing. Agr. María Bemhaja, por la colaboración prestada en la realización del presente trabajo.
- Ing. Agr. Juan C. Millot e Ing. Agr. Juan J. Bologna, por su participación en el Tribunal de Aprobación.
- Ing. Agr. Juan M. Soares De Lima, por la colaboración prestada en la realización del presente trabajo.
- Al personal de la Unidad Experimental “Glencoe”, en especial a los Gestores Agropecuarios Wilfredo Zamit y Juan C. Levratto por su constante colaboración en la toma de registros.
- Al personal del I.N.I.A. Tacuarembó, por la colaboración prestada.
- Al personal de Biblioteca de la Facultad de Agronomía.
- Y a todos aquellos que de una u otra manera contribuyeron a que fuera posible la realización de éste trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
PAGINA DE APROBACION	II
AGRADECIMIENTOS	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES	VII
1. INTRODUCCION.....	1
2. REVISION BIBLIOGRAFICA.....	3
2.1. NITROGENO.....	5
2.1.1. Ciclo del nitrógeno bajo pastoreo.....	6
2.1.1.1. Entradas de nitrógeno.....	6
2.1.1.2. Pérdidas de Nitrógeno.....	8
2.1.2. Balances nitrogenados en sistemas pastoriles.....	11
2.1.2.1. Limitantes en el flujo de N dentro de ciclo.....	11
2.1.3. Efecto del manejo en el ciclo del nitrógeno	13
2.1.3.1. Manejo animal.....	13
2.1.3.2. Factores de la planta.....	14
2.1.3.3. Factores del suelo.....	15
2.1.3.4. Evolución de la dinámica del nitrógeno en sistemas intensivos.....	15
2.1.4. Niveles de N y disponibilidad en suelos bajo pasturas.....	16
2.1.4.1. Mineralización de nitrógeno orgánico en suelos bajo pasturas.....	17
2.1.4.2. Acumulación de nitrógeno orgánico.....	18
2.1.5. Leguminosas y fertilizantes como fuentes de nitrógeno de la pastura.....	19
2.1.6. Nitrógeno en planta.....	20
2.1.7. Respuesta a la fertilización nitrogenada.....	20
2.1.7.1. Respuesta en producción de MS.....	21
2.1.7.2. Respuesta en contenido de proteína	24
2.1.7.3. Efecto de la aplicación de N sobre la digestibilidad.....	25
2.2. FOSFORO.....	26
2.2.1. Dinámica de las formas inorgánicas.....	29

2.2.2. Dinámica de las formas orgánicas.....	30
2.2.3. Absorción por las plantas.....	31
2.2.4. Formas y transformaciones del P en el suelo	33
2.2.5. Fósforo en planta.....	35
2.2.6. Efectos de la fertilización fosfatada sobre la producción de MS	36
2.3. INTERACCION N-P.....	40
2.4. REGION BASALTICA.....	46
2.4.1. Suelos	46
2.4.1.1. Suelos superficiales.....	47
2.4.1.2. Suelos profundos.....	47
2.4.2. Vegetación.....	48
2.4.2.1. Cobertura del suelo.....	50
2.4.2.2. C.E.P. de los tipos productivos.....	51
2.4.2.3. Tipos vegetativos.....	52
2.4.2.4. Ciclo anual.....	52
2.4.2.5. Digestibilidad.....	53
2.4.3. Producción de forraje.....	54
2.4.3.1. Crecimiento	54
2.4.3.2. Forraje disponible.....	57
2.4.4. Calidad del forraje.....	59
2.4.4.1. Porcentaje de materia seca.....	59
2.4.4.2. Fracción verde.....	60
2.4.5. Producción animal.....	60
3. MATERIALES Y METODOS.....	63
3.1. LOCALIZACION Y PERIODO DE EVALUACION.....	63
3.2. CLIMA.....	63
3.2.1. Régimen de heladas.....	63
3.2.2. Condiciones hídricas.....	63
3.3. SUELOS.....	64
3.4. TRATAMIENTOS.....	65
3.4.1. Fertilización N-P. Fuente y dosis utilizada.....	66
3.4.2. Diseño experimental y método de pastoreo.....	66
3.4.3. Categoría animal utilizada.	66
3.4.4. Métodos de evaluación y parámetros analizados.....	67
3.5. ANALISIS ESTADISTICO.....	67
3.5.1. Disponibles y rechazos de forraje.....	68

3.5.2. Crecimiento.....	69
3.5.3. Ganancia de peso de los animales.....	69
4. RESULTADOS Y DISCUSION.....	71
4.1. FORRAJE DISPONIBLE.....	71
4.1.1. Altura de la pastura.....	77
4.1.2. Porcentaje de materia seca.....	79
4.1.3. Proteína cruda y fósforo en planta.....	80
4.2. CRECIMIENTO EN JAULAS.....	81
4.2.1. Altura.....	85
4.2.2. Materia Seca.....	86
4.3. COMPOSICION DEL TAPIZ VEGETAL.....	87
4.3.1. Análisis de la cobertura del suelo.....	88
4.3.2. Tipos productivos.....	89
4.3.3. Ciclo anual de las especies.....	91
4.3.4. Tipos vegetativos.....	92
4.4. GANANCIAS DIARIAS DE PESO DE LOS ANIMALES.....	92
4.5. ANALISIS ECONOMICO.....	95
4.5.1. Análisis de sensibilidad.....	97
5. CONCLUSIONES.....	99
6. BIBLIOGRAFIA.....	101

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

CUADRO Nro.	Pág.
1. Destino de los nutrientes ingeridos por vacas lecheras en producción.....	4
2. Respuesta de la producción anual de forraje (kg MS/ha) de campo natural al agregado de N, P y K. (N = 320 kg N/ha/año)	23
3. Producción total de materia seca (g/maceta) en dos especies de <i>Paspalum</i> y efecto de tres dosis de N.....	23
4. Producción total de proteína (g/maceta) en dos especies de <i>Paspalum</i> y efecto de tres dosis de N.....	25
5. Efecto del sistema de pastoreo y el fertilizante residual sobre las ganancias de peso vivo. Media de 7 años (período 1961 - 1968).....	37
6. Rendimiento de forraje, kg de MS/há de dos cortes para tres dosis y tres fuentes de fosfatos.....	40
7. Rendimientos promedio y % en kg/ha de MS por tratamientos para un Litosol sobre Basalto.....	42
8. Respuesta de la pastura en kg/ha de MS por kg de N aplicado según intervalos utilizados.....	42
9. Rendimientos promedio y % en kg/ha de MS por tratamientos para una Pradera negra sobre Basalto.....	43
10. Respuesta de la pastura en kg/ha de MS por kg de N aplicado según intervalos utilizados.....	44
11. Suelo desnudo, piedras y cubierta vegetal.....	51
12. Análisis de la vegetación en los distintos tipos de suelos y superficie no recubierta por la vegetación (SNRV).....	52
13. Evolución de la contribución al recubrimiento del suelo (%) según los tipos productivos predominantes, promedio de cinco tratamientos.....	52
14. Contribución estacional a la vegetación (%).....	53
15. Digestibilidad de la materia orgánica de la fracción verde (%) para los tratamientos rotativo y continuo.....	53
16. Crecimiento estacional en Kg Ms/ha.....	54
17. Distribución estacional de crecimiento entre los años 1979-1985.....	55
18. Producción anual de forraje en cinco suelos de Basalto (Salto).....	56
19. Disponibilidad estacional y anual de materia seca. (Kg de MS/há).....	58

20. Porcentaje de la fracción verde según el sistema de pastoreo.....	60
21. Ganancias de peso vivo de vacunos (grs/día).....	61
22. Producción de carne vacuna y equivalente.....	62
23. Indicadores de dispersión del forraje disponible.....	71
24. Resultados del análisis de varianza para el forraje disponible.....	72
25. Contraste de medias de forraje disponible por tratamiento.....	73
26. Forraje disponible estacional en función de la fertilización.....	75
27. Forraje disponible estacional y anual de materia seca (kg de MS/ha).....	75
28. Efecto de la carga sobre el forraje disponible estacional en tratamientos con fertilización.....	76
29. Resultados del análisis de varianza para la variable altura.....	77
30. Efecto de la fertilización sobre la altura del forraje disponible.....	78
31. Efecto de la carga sobre la altura del forraje disponible.....	78
32. Porcentaje de Materia Seca por estación y por tratamiento para disponible de forraje.....	79
33. N como proteína cruda y P en planta.....	80
34. Indicadores de dispersión de la variable crecimiento.....	81
35. Resultados del análisis de varianza.....	81
36. Tasas de crecimiento estacional por tratamiento.....	83
37. Producción estacional (total y %) y anual por tratamiento.....	84
38. Composición específica presencia por tratamiento.....	87
39. Recubrimiento del suelo (%) en los tratamientos.....	89
40. Indicadores de dispersión de las ganancias diarias de peso.....	92
41. Resultados del análisis de varianza para ganancias diarias de peso.....	92
42. Producción de carne/ha por tratamiento.....	93
43. Producción e ingreso por venta de los animales para los cuatro tratamientos.....	95
44. Resultados económicos del ensayo.....	96
45. Variación del MB/ha frente a modificaciones en el precio del novillo gordo.....	97
46. Variación del MB/ha frente a modificaciones en el precio de la urea.....	97

FIGURA Nro.	Pág.
1. Fertilización nitrogenada en campo natural. Forraje total anual.....	21
2. Proteína Cruda en Campo natural y CN más diferentes dosis de N en Basalto profundo.....	24
3. Efecto del sistema de pastoreo y de la fertilización sobre la ganancia de peso vivo (Media de 11 años; 1957 - 1968).....	36
4. Respuesta de las pasturas naturales a la fertilización con fosfatos en % de la producción de forraje de CN sin fertilizar.....	38
5. Porcentaje de leguminosas en las pasturas naturales sobre dos suelos de Basalto fertilizados con fosfatos.....	39
6. Porcentaje de gramíneas y leguminosas de pasturas naturales fertilizadas sobre suelos profundos de Basalto.....	39
7. Respuesta en producción anual de forraje de campo natural al agregado de N, P y K bajo dos frecuencias de defoliación.....	41
8. Rendimientos totales de Materia Seca según dosis de N y P en dos suelos sobre Basalto.....	44
9. Producción de MS de una pastura de CN sobre Basalto profundo según tratamientos de fertilización.....	46
10. Precipitación mensual. Período Jun 95-May 96 (GLENCOE).....	64
11. Efecto de la interacción bloque x tratamiento sobre el forraje disponible.	73
12. Producción de forraje estacional según fertilización.....	74
13a. Evolución de la dotación por tratamiento.....	76
13b. Efecto de los tratamientos sobre la altura del forraje disponible.....	77
14. Correlación entre disponible de forraje y altura del mismo.....	79
15. Efecto de la fertilización N-P y la carga sobre la tasa diaria de crecimiento de forraje.....	81
16. Tasa de crecimiento diaria y precipitaciones durante el período evaluado.....	82
17. Tasas diarias de crecimiento de forraje por estación según tratamiento de fertilización.....	83
18. Altura del forraje en jaulas en función de tratamientos.....	85
19. Correlación entre disponible de forraje en jaulas y altura del mismo.....	85
20. Evolución del contenido de M.S. en jaulas.....	87
21. Contribución específica por presencia según tipos productivos en los tratamientos.....	90

22. Contribución específica por presencia por ciclo anual en los tratamientos.....	91
23. Ganancias diarias de peso por mes según tratamientos de fertilización.....	93
24. Evolución del peso vivo de los novillos por tratamiento.....	94

1. INTRODUCCION

A nivel nacional el campo natural constituye la base forrajera principal de la ganadería de tipo extensiva que se practica. Por esta razón resulta de gran importancia conocer el rendimiento potencial de las pasturas naturales frente a mejoras en la nutrición mineral (Ayala y Carámbula, 1994).

La producción de forraje de las pasturas naturales está relacionada fundamentalmente con las condiciones climáticas, el tipo de suelo y su nivel de fertilidad. Un camino para incrementar la producción de forraje es elevar la fertilidad del suelo.

Este aumento del nivel de nutrientes puede lograrse por medio de la aplicación de fertilizantes que aporten nitrógeno (N) y fósforo (P). Estos son nutrientes básicos para mejorar la cantidad y calidad del forraje producido por el campo natural, que no permite la intensificación de la producción ganadera. Por lo general estos nutrientes se encuentran en bajos niveles en la mayoría de los suelos del país. Con el aumento de la fertilidad se espera obtener un incremento en la frecuencia de especies más productivas y de mayor calidad. Si bien la máxima producción de forraje continuará siendo en primavera, la mayor fertilidad permitiría que las especies (estivales) entraran en reposo más tarde en el otoño y rebrotaran más temprano en primavera, e incrementar el macollaje de las especies activas en invierno, reduciéndose de esta manera el período de bajo crecimiento invernal (Berretta *et al.*, 1996).

El uso de fertilizantes nitrogenados se presenta actualmente como una alternativa más para la intensificación de la producción. Esta opción permitiría lograr determinados objetivos estratégicos dentro de sistemas de producción más intensivos, como por ejemplo el aumento de la disponibilidad de verde en periodos forrajeros críticos y puede en muchos casos presentarse como una alternativa económica, rápida, segura y de fácil manejo para el productor (Rebuffo, 1994).

La respuesta a la fertilización dependerá de la dosis y momento de aplicación, y estará determinada por la tasa potencial de crecimiento de la pastura (condicionada por estado y composición botánica de la misma). La puesta en practica de esta opción estará sujeta a las fluctuaciones de precio del fertilizante y precio del producto animal. El uso rentable del nitrógeno dependerá tanto del precio como de la respuesta obtenida en la pastura y cambios en la eficiencia en el uso del nutriente.

Con el objetivo de estudiar el efecto de la aplicación de N y P sobre la evolución de pasturas naturales, comenzó en 1995 un experimento con animales en tres dotaciones buscando determinar el potencial productivo del campo natural. A través del presente ensayo se buscó evaluar la respuesta en producción (cantidad y calidad) de una pastura natural, a la fertilización nitrogenada y fosfatada soportando diferentes cargas animales.

También fue medida la performance animal (evolución del peso vivo) de los animales que pastorearon los distintos tratamientos.

2. REVISION BIBLIOGRAFICA

Los vegetales necesitan para el crecimiento y formación de sus tejidos la contribución de varios elementos químicos, llamados elementos esenciales. Los nutrientes considerados como tales son: carbono (C), oxígeno (O), hidrógeno (H), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), azufre (S), calcio (Ca), magnesio (Mg), boro (B), zinc (Zn), cobre (Cu), manganeso (Mn), molibdeno (Mo), hierro (Fe) y cloro (Cl) (Werner, 1984).

Arnon y Stout (1939) definieron tres criterios para determinar el carácter de “esencial” de un elemento en particular:

- a) el elemento debe ser esencial para el normal crecimiento y reproducción; ninguno de estos fenómenos puede cumplirse en ausencia total de dicho elemento.
- b) el requerimiento debe ser específico, no pudiendo ser sustituido por otro elemento.
- c) el elemento en cuestión debe tener una acción directa y no simplemente actuar en forma antagónica o sinérgica con otros elementos (Cátedra de Fisiología Vegetal, Fac. de Agronomía, 1988).

La forma en que son tomados por las plantas, es variable según el tipo de nutriente. Carbono y oxígeno son obtenidos directamente del aire, a través del proceso de fotosíntesis, realizado por los tejidos verdes de los vegetales, con la contribución de la luz solar. El Hidrógeno es obtenido del agua, así como parte del Oxígeno. Los demás elementos son extraídos directamente del suelo. El Nitrógeno puede también ser obtenido directamente del aire, en el caso de plantas de la familia de las leguminosas, a través del proceso de fijación biológica, realizado por bacterias del género *Rhizobium*. Carbono, Oxígeno e Hidrógeno constituyen cerca del 95% del peso de las plantas y los elementos restantes cerca del 5%.

Los elementos que las plantas extraen del suelo se pueden clasificar de acuerdo a las cantidades absorbidas en macroelementos (nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, calcio y magnesio) y microelementos (boro, zinc, cobre, manganeso, molibdeno, hierro y cloro), absorbidos en cantidades menores que los anteriores, pero no de menor importancia ya que la falta de uno de ellos limita ó hasta podría paralizar el crecimiento de la planta.

El suelo no es una fuente inagotable de los elementos mencionados. Es importante que exista un equilibrio armónico entre los diferentes elementos para una perfecta nutrición de la planta, con su consecuente desarrollo normal. Surge entonces la importancia de la fertilización, que sería una forma de “devolución” al suelo de los

elementos que las plantas “retiran” (se exportan del suelo en forma de carne, lana, leche), o de aquellos elementos que fueron lixiviados o perdidos por otros medios (volatilización, denitrificación u otros procesos). También puede ser utilizada para elevar tenores de nutrientes, en suelos con niveles originales muy bajos (Werner, 1984).

En Uruguay la mayor parte de la producción ovina y bovina se realiza bajo pastoreo, ya sea sobre campo natural o pasturas con mezcla de gramíneas y leguminosas. La dinámica de nutrientes en dichas situaciones es muy compleja porque no solo se trata del sistema suelo-planta sino que además presenta un componente animal de marcada incidencia en el sistema. Este componente, al que está dirigida la producción de forraje, retiene una muy baja proporción de los nutrientes consumidos, en tanto que los nutrientes exportados en productos varían con la intensidad y tipo de producción, siendo generalmente cantidades menores a las que retornan en forma de heces y orina (**cuadro 1**). Como consecuencia de lo anterior, la mayor parte (por lo menos dos tercios) de los nutrientes consumidos son reciclados (During, 1984; citado por Del Pino, 1997). También son reciclados los nutrientes provenientes de restos de plantas (parte aérea o raíces), los que son descompuestos por los microorganismos así como la fauna del suelo. El destino de los nutrientes liberados durante el ciclaje puede ser: absorción por la pastura, inmovilización por los microorganismos, retención por minerales del suelo, o pérdida del sistema en forma gaseosa o por lixiviación.

La importancia del ciclaje de nutrientes, ya sea a través de los animales como el producido por descomposición de plantas no consumidas, se acrecienta más aún en el largo plazo y en sistemas de producción de bajos insumos. Un caso extremo de esta situación sería el de producciones sobre campo natural sin fertilizar, basadas en el aporte mínimo de nutrientes y una baja extracción, en las cuales el ciclaje de nutrientes es fundamental para la sustentabilidad del sistema (Del Pino, 1997).

Cuadro 1. Destino de los nutrientes ingeridos por vacas lecheras en producción.

Elemento	Consumo por animal (kg/año)	% en heces	% en orina	% en leche	% retenido
N	130	26	53	17	4
P	12	66	--	26	8
K	90	11	81	5	3
Mg	12	80	12	3	5
Ca	37	77	3	11	9
Na	14	30	56	8	6

Fuente: adaptado de Hutton *et al.*, 1967; citado por Del Pino, 1997.

2.1. NITROGENO

El nitrógeno cumple un rol fundamental en los seres vivos como constituyente esencial de las proteínas y varias sustancias del crecimiento. Por esta razón se le atribuyen importantes efectos anabólicos (Formoso, 1994). En términos generales para la mayoría de los países, se puede afirmar que el nitrógeno es el nutriente mineral más limitante para el crecimiento de las plantas (Morón, 1994).

La productividad de las pasturas va a estar entonces determinada en gran medida, por el suministro de este nutriente que realiza el suelo (Rebuffo 1994). El N de las pasturas naturales, compuestas fundamentalmente de gramíneas, es tomado como N mineral del suelo, mientras que en los mejoramientos con leguminosas una parte muy importante proviene de la fijación simbiótica del N atmosférico por la asociación *Rhizobium-leguminosa*. El aporte de N mineral del suelo bajo campo natural, dependerá del tipo de suelo y vegetación (N potencialmente mineralizable) así como de las condiciones ambientales que promuevan la mineralización del mismo. En el caso del campo natural se debe considerar además la posibilidad de fijación de pequeñas cantidades de N por parte de las leguminosas nativas o por microorganismos del suelo en forma no simbiótica que podrían adquirir importancia como entradas de N al sistema en el largo plazo (Del Pino, 1997).

Para lograr la intensificación de la producción animal en base a pasturas es necesario aumentar la entrada de nitrógeno al sistema suelo-planta-animal. El aumento en las entradas de nitrógeno al sistema lograda a través de aplicaciones de fertilizantes trae aparejado un incremento en las pérdidas (salidas de N del sistema). Estas deben ser minimizadas de forma de no afectar el medio ambiente (contaminación del agua, destrucción de la capa de ozono, efecto invernadero, etc.) (Morón, 1994). En este punto aparece el concepto de eficiencia en el uso de nitrógeno que debe tenerse presente al momento de plantearse la intensificación del sistema de producción a través de esta vía.

Para entender la importancia de este concepto se deben conocer y manejar todas las transformaciones que sufre el nitrógeno en el sistema, dinámica conocida como ciclo del nitrógeno bajo pastoreo.

2.1.1. Ciclo del nitrógeno bajo pastoreo

En los últimos años el ciclo del nitrógeno en sistemas pastoriles ha recibido mucha atención por parte de los investigadores y ha sido objeto de numerosas y exhaustivas revisiones por el reconocimiento generalizado de que:

1. la productividad de las pasturas es severamente restringida por las deficiencias de nitrógeno;
2. las pérdidas de N de los ecosistemas pastoriles como amonio, óxido nitroso y nitratos afectan la salud humana y el medio ambiente;
3. el reconocimiento de que las prácticas de manejo de las pasturas pueden tener grandes efectos sobre el ciclo del nitrógeno afectando la productividad y la magnitud de las vías de pérdida de N.

2.1.1.1. Entradas de nitrógeno

a) Fijación simbiótica

Sobre suelos con bajos niveles de N, la fijación simbiótica en pasturas recién establecidas con dominancia de leguminosas puede superar los 500 kg/ha/año en climas templados. Sin embargo, en pasturas permanentes ya establecidas la fijación simbiótica decrece hasta valores de 100-300 kg/ha/año, lo que representa en Nueva Zelanda aproximadamente el 28% del flujo total de N a través de las pasturas (Hoglund *et al.*, 1979; Hoglund y Brock, 1987; citados por Steele y Vallis, 1988). El descenso en la fijación de N se debe a incrementos en el contenido de N mineral y a la aparición de patógenos que reducen la capacidad de fijación de las leguminosas.

En el Uruguay existen diversas leguminosas autóctonas de valor forrajero. Entre ellas se destacan: el trébol polimorfo (conocido también como trébol del campo o trébol rosado) cuyo nombre científico es *Trifolium polymorphum* y la babosita (*Adesmia bicolor*). A juzgar por la capacidad productiva de la babosita en suelos arenosos o en subsuelo expuesto (en ambos casos con muy baja capacidad de suministro de nitrógeno) debe deducirse que posee una elevada capacidad de fijación de nitrógeno. Las cepas de rizobios aisladas de nódulos radiculares de babosita provenientes de campo natural presentan una efectividad muy variable, pero existe abundancia de cepas muy efectivas. Los suelos no agrícolas del país cuentan con una población natural de rizobios de efectividad variable cuando se asocian con las raíces del trébol polimorfo (Coll y Zarza, 1992).

b) Fijación no simbiótica

La entrada de N vía fijación asimbiótica es generalmente menor a 15 kg/ha/año y son de importancia significativa en sistemas con baja productividad (Weier, 1980; Weier *et al.*, 1981; Lambert *et al.*, 1982; Morris *et al.*, 1985). Se ha visto, sin embargo, que en condiciones similares *Brachiaria humidicola* y *B. decumbens* han obtenido 40-45 kg/ha/año de N por fijación asimbiótica (Boddey y Victoria, 1986).

Millot *et al.* (1987), citan como característica del Centro de origen y diversidad genética del Plata, la existencia de microorganismos altamente eficientes en la fijación de nitrógeno y absorción de fósforo (*Rhizobium spp*, *Azotobacter paspali*, *Clostridium*, *Spirillum*, y *Micorrizas endotróficas*) adaptados a promover nutrientes en ambientes carenciales desde el punto de vista nutritivo para gramíneas y leguminosas. Estos mecanismos de fijación biológica han demostrado ya gran eficiencia, llegando a fijar en potencia, el *P. notatum*+*Az. Paspali*, más de 90 kg. de N/ha/año. Recientemente se han constatado también ambientes favorables a *Clostridium* en la rizosfera de *P. dilatatum*, justificando altas fijaciones de N en pasturas naturales no roturadas.

c) Entradas por fertilización

La gran mayoría de las pasturas del mundo no reciben N por fertilización, pero existen diferencias importantes entre países. En Australia, se ha estimado que se utilizaron 35000 tt de fertilizantes nitrogenados para la producción de pasturas en el año 81-82, comparadas con una entrada de 1,2 millones de tt de N fijado por pasturas de leguminosas. Alrededor de 2/3 de este fertilizante fue usado en pasturas de largo plazo y 1/3 en cultivos forrajeros y rotaciones cortas (Myers y Henzell, 1985). En los últimos años, el incremento en la eficiencia de los tambos en Australia tropical y subtropical ha sido atribuida al aumento en el uso de fertilizantes nitrogenados en pasturas irrigadas (Lowe y Hamilton, 1986). Las dosis recomendadas en pasturas bajo riego superan los 500 kg/ha/año (Chopping *et al.*, 1983). En Nueva Zelanda, podrían usarse aplicaciones estratégicas de fertilizante de forma de complementar la fijación biológica de N y superar déficits alimenticios de corto plazo en el ganado. De cualquier manera, al igual que en Australia, el ingreso de N como fertilizante en las pasturas es bajo (800 tt/año) en relación al N ingresado por fijación biológica (más de 1100 tt/año) (Cullen y Sttele, 1983).

d) Otras entradas

Las entradas de N a través de la lluvia y otras deposiciones atmosféricas oscilan en valores de 0.8 a 22 kg/ha/año, registrándose valores más altos en los trópicos o en zonas cercanas a áreas industriales (Stevenson, 1982).

2.1.1.2. Pérdidas de nitrógeno

Las principales vías de pérdida de N desde las pasturas incluyen:

- a) volatilización de amonio desde el suelo, plantas, deyecciones animales y fertilizantes;
- b) denitrificación biológica y química;
- c) lixiviación;
- d) retención en animales y productos animales;
- e) transferencia hacia áreas improductivas a través de las deyecciones animales (Steele, 1987).

Los herbívoros juegan un rol preponderante al influenciar tanto la magnitud como la vía de pérdida de N de las pasturas. Las pérdidas varían en un rango muy amplio dependiendo del tipo de ganado, la carga, el tipo de suelo, la producción de la pastura y el clima.

a) Volatilización del amonio

La emisión de amonio se da en forma muy importante posterior a una aplicación en superficie de fertilizantes alcalinos frente a cuando los fertilizantes son neutros ó ácidos. La mayor proporción de las pérdidas (aprox. 80%) ocurre dentro de las dos semanas posteriores a la aplicación del fertilizante, éstas pérdidas en pasturas tropicales fertilizadas con urea pueden situarse en el orden del 25% (Harper *et al.*, 1983). Estos estudios demostraron la naturaleza dinámica del intercambio de NH_3 en pasturas. Dentro de las dos semanas posteriores a la aplicación se verificaron flujos relativamente importantes durante el día, siendo reducidos durante la noche.

Ryden y McNeill (1984) monitorearon las pérdidas de N como NH_3 a partir de una pastura pastoreada en forma intensiva con novillos jóvenes (12,2/ha) y fertilizada con 60 Kg N/ha como nitrato de amonio cada 28 días. Se observó un flujo importante de NH_3 , alto durante el día y bajo en la noche, teniendo la lluvia un efecto depresivo del fenómeno. El flujo durante el inicio del verano fue equivalente al 34% del fertilizante aplicado, pero la fuente de N (fertilizante, orina ó heces) no fue identificada.

Las pérdidas totales de N de una pastura tropical luego de la aplicación de urea marcada (N_{15}) fueron del doble de NH_3 con respecto a la pastura no fertilizada (Catchpoole *et al.*, 1975). Esta diferencia no es explicable por el proceso de lixiviación por lo que se ha sugerido que la causa fue probablemente, pérdida de N como $\text{N}_2(g)$ y $\text{N}_2\text{O}(g)$. Solamente trazas de N fueron perdidas como $\text{N}_2\text{O}(g)$ durante la volatilización de NH_3 .

Las pérdidas anuales promedio de NH_3 por volatilización de N desde la orina en las pasturas se encuentran alrededor del 20 al 30% (Ball y Keeney, 1983; Simpson y Steele, 1983).

b) Denitrificación

La denitrificación puede ocurrir tanto a través de procesos biológicos como no biológicos. La magnitud de las pérdidas de N medidas a través de estas vías han sido generalmente pequeñas y la mayor parte son atribuibles a los procesos biológicos. Se han realizado relativamente pocas estimaciones cuantitativas de las pérdidas de N de pasturas por éstas vías, sobretodo por las dificultades para la medición en condiciones de campo.

Existe una gran variación espacial de la denitrificación (medida como emisión de N_2O) pudiendo haber grandes diferencias en unos pocos metros.

Denmead *et al.* (1979) midieron emisiones diarias de 217 mg de N/m^2 en pasturas bajo cortes en Australia, en primavera, en suelos cálidos y húmedos, y de tan sólo 0.05 mg N/m^2 en invierno con suelos fríos y secos.

Similares tasas y patrones de medición han sido reportados en Nueva Zelanda por Limner *et al.* (1982); Limner y Steele (1983) y en Gran Bretaña por Ryden (1981); Webster y Dowdell (1982).

Las emisiones de óxido nitroso posteriores a la aplicación de fertilizantes son usualmente pequeñas: menores al 2% del N aplicado (Ryden, 1981; Webster y Dowdell, 1982), pero han sido reportadas pérdidas mayores (O'Hara *et al.*, 1984).

En la mayoría de los casos la emisión de N_2 gaseoso de las pasturas puede ser mayor a la de N_2O . La relación entre emisión de N_2 (g) y N_2O (g) puede ser reducida por altas concentraciones de nitratos, baja disponibilidad de carbono e incrementos en la presión parcial de oxígeno.

Tanto en suelos bajo pasturas templadas como tropicales, el potencial de denitrificación es mayor en la superficie del suelo en suelos minerales, pero pueden ocurrir en horizontes más profundos en suelos orgánicos. La denitrificación puede ocurrir en suelos en que no existen condiciones de anaerobiosis si hay alta población de cepas denitrificantes de *Rhizobium*, pero generalmente ésta no es de magnitud.

c) Lixiviación

En condiciones climáticas donde por lo menos estacionalmente las lluvias exceden la evapotranspiración, pueden ocurrir pérdidas sustanciales de N por lixiviación.

Los animales que se encuentran pastoreando tienen una gran incidencia en la magnitud de estas pérdidas.

En el Reino Unido la pérdida anual de nitratos de una pastura sometida a pastoreo, recibiendo 420 kg de N/ha/año fue 5.6 veces mayor que las pérdidas registradas en una pastura bajo cortes en las mismas condiciones de fertilización.

Las mayores pérdidas por lixiviación en pasturas bajo pastoreo fue atribuida al retorno de N en excretas animales (orina y heces), en condiciones que excedieron largamente los requerimientos de la pastura.

Pérdidas por lixiviación mayores a 100 kg de N/ha/año han sido registradas en Nueva Zelanda (Steele *et al.*, 1984) donde las pasturas no irrigadas han sido identificadas como las que tienen mayor impacto en la contaminación de aguas subterráneas. Se han medido concentraciones por encima de 58 mg de N por litro en acuíferos bajo pasturas manejadas intensivamente (Baber y Wilson, 1972).

d) Retención en animales y en sus productos

Henzell y Ross (1973), calcularon la retención de nitrógeno en animales, utilizando valores publicados de contenidos de N en animales y sus productos, de digestibilidad aparente en dietas con distintas concentraciones de N y datos de excreción de N. Concluyeron que el porcentaje de N retenido es diferente para los diferentes tipos de animales siendo los rangos encontrados de:

- 4 - 10 % en ganados de carne
- 5 - 13 % en lanares
- 13 - 28 % en ganado lechero

e) Transferencia en excretas

La transferencia de N desde las pasturas hacia áreas no productivas depende del tipo de stock animal y del manejo que se realice. En vacas lecheras de un 10 - 15% de la excreta es depositada en sitios no productivos (During, 1972).

Transferencias de N se dan también en campos de topografía acentuada (quebrados). Gillingham y During (1973) encontraron transferencias de N entre

estratos (diferentes sitios en la topografía) donde en algunos de ellos se registran ganancias de 271 kg de N/ha/año y en otros pérdidas de 71 kg/ha en el mismo período.

2.1.2. Balances nitrogenados en sistemas pastoriles

Para mantener un nivel de producción de la pastura es necesario realizar un balance de N a largo plazo.

$$\text{Entradas de N} - (\text{pérdidas de N} + \text{ganancias en el ecosistema de N}) = 0$$

Desbalances entre ganancias y pérdidas de N en el corto plazo pueden determinar variaciones en la magnitud del pool de N orgánico del suelo.

Cualquier cambio en un parámetro tal como presión de pastoreo ó entradas de N resultarán en un movimiento del sistema hacia un nuevo nivel de equilibrio del N total del ecosistema.

La magnitud de las pérdidas de nitrógeno de ecosistemas pastoriles generalmente se incrementan al aumentar las entradas de N al sistema y al incrementarse los niveles de productividad.

Las mayores vías de pérdida de N en ecosistemas pastoriles son por los propios animales (productos, retención, transferencia), volatilización de amonio y lixiviación.

La proporción relativa de pérdidas por volatilización y lixiviación dependerá fundamentalmente de las condiciones climáticas pero pueden ser modificadas por parámetros del suelo y de la pastura.

2.1.2.1. Limitantes en el flujo de nitrógeno dentro del ciclo

La productividad de las pasturas sin aplicación de fertilizantes nitrogenados está generalmente muy por debajo de su rendimiento potencial a pesar de que existan grandes cantidades de N total en el sistema suelo-planta.

Esto indica que la productividad se ve limitada por la baja tasa de ciclaje del N en el sistema hacia formas disponibles para la absorción por parte de las plantas.

El deterioro de pasturas en la zona central subhúmeda de Queensland es más influenciada por la reducción en la disponibilidad de formas minerales de N que por cambios en las reservas de N del suelo (Graham *et al.*, 1985).

En esta sección se discutirán los factores que limitan el reciclaje de N en la pastura y el aporte de N mineral hacia las plantas.

Cuando la pastura es quemada ó cortada el reciclaje de N es pequeño. En pasturas templadas sometidas al pastoreo el retorno de N hacia el suelo como hojas muertas varía entre un 10 a un 20% del N tomado anualmente por las plantas.

La composición química del mantillo determina el balance entre mineralización e inmovilización de N y la tasa de descomposición. Entre un 10 y un 33% del N presente en el mantillo se hace disponible para las plantas dentro del primer año posterior a la deposición, en los años siguientes solo se hace disponible menos de un 5% del N residual presente en la superficie del suelo (Vallis, 1983).

Al aumentar la utilización de la pastura se reduce el ciclaje de N a través del mantillo (hojas muertas) y se incrementa la dependencia de las plantas de la mineralización de la materia orgánica del suelo y las excretas animales para cubrir sus requerimientos de N.

El pasaje a través de los animales incrementa la tasa de ciclaje de N en pasturas hacia formas minerales pero a expensas de mayores pérdidas del N total del ecosistema (Vallis y Gardener, 1984).

A pesar de las pérdidas de N sustanciales que ocurren a partir de las excretas animales, particularmente orina, éstas son importantes para mantener altas productividades de la pastura. La productividad es mayor en aquellas pasturas sometidas a pastoreo que en aquellas bajo régimen de corte.

Al aumentar la productividad de la pastura y las cargas animales con que se trabajan, las excretas contribuyen proporcionalmente más al N tomado por las plantas. Por ejemplo en granjas lecheras de N.Z. utilizando sistemas de pastoreo rotativo con 4 vacas por ha un promedio del 45% del área es afectada por excretas animales y ésta produce el 70% del total de la producción de MS (Steele y Brock, 1985). Las raíces pueden también contribuir con cantidades importantes de N hacia el suelo durante su descomposición pero dada su alta relación C/N la descomposición de raíces esta más bien asociada a procesos de inmovilización de N mineral durante las fases iniciales. Los microorganismos del suelo son un componente clave en el estudio del ciclo de N en pasturas ya que además de ser mediadores en las transformaciones de N actúan como reservorio y constituyen un componente dinámico con una alta tasa de turnover.

En una granja lechera de alta producción en la zona central de la isla norte de Nueva Zelanda los niveles de N microbiano tuvieron fluctuaciones estacionales en rangos de 240 a 330 kg N/ha. Un incremento gradual en los niveles de N microbiano fueron registrados en otoño e invierno indicando la acumulación de nitrógeno con la biomasa. Esto fue seguido de una declinación en los niveles de N microbiano de alrededor de 100 kg N/ha, durante un corto periodo en primavera que coincidió con el máximo crecimiento de la pastura (Saratchandra *et al.*, 1987). La biomasa del suelo puede actuar tanto como reservorio de N mineral en años en que las condiciones favorecen un crecimiento en su dimensión, ó como fuentes de N mineral cuando las condiciones determinan una caída en la misma.

2.1.3. Efecto del manejo en el ciclo del nitrógeno

Aparece como inevitable que las prácticas de manejo que incrementan la tasa de ciclaje de nitrógeno en pasturas, automáticamente incrementaran la tasa de pérdidas de N. Esta conclusión asume que el incremento en la toma de N por las plantas es acompañada por una mayor toma y excreción de N por los animales que pastorean y las pérdidas de N de las áreas afectadas por excretas son también incrementadas. Si se pretende mantener un aumento en la productividad la implementación de prácticas de manejo para incrementar el ciclaje de N deben ir acompañadas por prácticas que incrementen las ganancias de N en la pastura (fertilización, fijación biológica) para que el balance del sistema esté en equilibrio o sea positivo. También es importante tener en cuenta el impacto ambiental al incrementarse las pérdidas de N.

2.1.3.1. Manejo animal

El impacto del manejo en el ciclo del N y la productividad de las pasturas necesita ser considerada tanto en el corto como en el largo plazo. Por ejemplo el aumento de la presión de pastoreo puede determinar un aumento en la tasa de ciclaje de N en el corto plazo pero esto resultará en un aumento de las pérdidas y cambios en la composición botánica que eventualmente pueden llevar a una menor productividad posterior (Bromfield y Simpson, 1974*b*). El monto total de N en ecosistemas pastoriles en el Oeste de los EE.UU. aumenta en condiciones de pastoreos livianos o no pastoreos, es casi constante con pastoreos moderados y decrece con pastoreos intensos (Wodmansee *et al.*, 1979). Pérdidas netas de N han sido también reportadas en áreas de pastoreo intensivo en pasturas templadas en N.Z. (Ball y Keeney, 1983).

En muchos ambientes la producción de la pastura es estacional. En N.Z. más de las tres cuartas partes de la producción total anual de la pastura se da entre primavera e inicio del verano, período que coincide con el momento de mayor producción animal, deposición de excretas, fijación de N y actividad de la microflora del suelo. Las prácticas de manejo durante este periodo serán las que pueden tener mayor impacto en el balance de N anual.

El pastoreo rotativo determina pasturas de menor densidad que el método de pastoreo continuo. Este último mantiene las pasturas en un estado fisiológico más uniforme y existe un retorno menos intenso de las excretas animales, además de tener menores concentraciones de nitrato en planta durante la mayor parte del año. Las pérdidas de N como volatilización de NH_3 y lixiviación son menores bajo pastoreo continuo por el efecto de cobertura de la pastura que limita la volatilización, y por la mayor habilidad de éstas en utilizar el N de las excretas. La cantidad de N ciclado a través del mantillo del suelo tiene un impacto importante en la dimensión del pool de materia orgánica del suelo. Al mejorar la utilización de la pastura se reduce la cantidad de mantillo y se incrementa la dependencia de las plantas a la mineralización de la materia orgánica estable del suelo y de las excretas para cubrir sus requerimientos de N. Cuando las entradas de N al sistema son insuficientes para igualar las pérdidas pueden darse balances negativos (Field y Ball, 1982).

2.1.3.2. Factores de la planta

En raíces con una relación C/N por debajo de 20-25 se da una rápida descomposición, mientras que con raíces que presenten una relación C/N más elevada se da inmovilización (Whitehead *et al.*, 1970). Cuando las pasturas están compuestas por una alta proporción de leguminosas se promueve el reciclaje del N, ya que los tejidos de estas presentan relaciones C/N menores a 2, mientras que los valores para gramíneas son generalmente mayores a 30. Plantas de especies con altas relaciones C/N reducen las pérdidas de N ya que habrá una mayor proporción del N que es incorporado a la materia orgánica estable del suelo.

Aumentos sustanciales en la productividad de la pastura y en la productividad animal pueden ser logrados a través de la introducción de leguminosas capaces de adaptarse a pasturas indisturbadas. Aumentos en la producción pueden también lograrse eliminando las limitantes existentes para el proceso de fijación biológica.

2.1.3.3. Factores del suelo

Los labores en suelos arcillosos con contenidos altos en nitrógeno total, pero con bajos contenidos de N disponible para las plantas, pueden estimular el ciclaje del N. El rendimiento anual de MS/ha y el contenido de N de una pastura de *Panicum maximum* fue incrementado de 8 a 10 tt. y de 90 a 120 kg. respectivamente con un laboreo superficial anual. El crecimiento de la pastura fue afectado en una primera instancia por el daño provocado a las raíces resultado del laboreo, pero a pesar de esto fue estimulado posteriormente.

En pasturas con mucho tiempo de instalación, en suelos con bajo contenido de N orgánico y donde mucho del N se encuentra formando parte de las raíces de las plantas, el laboreo puede no determinar un aumento en el ciclaje del N.

El mantenimiento de la actividad de la fauna del suelo, promueve el ciclaje del N a través del mantillo y de residuos orgánicos tales como excretas animales y remociona estos materiales de la superficie del suelo.

La investigación de los factores que controlan el contenido de N en la biomasa microbiana del suelo es necesaria para determinar como el pasaje de nitrógeno de ésta puede ser manipulada para cubrir los requerimientos de las plantas.

Un manejo del suelo para mejorar su estructura, permitirá que la orina penetre en el perfil, lo cual determinaría disminuciones en las pérdidas por volatilización de NH_3 . Asimismo la prevención de anegamientos, manteniendo adecuadas condiciones de drenaje reducirá las pérdidas por denitrificación.

2.1.3.4. Evolución de la dinámica del nitrógeno en sistemas intensivos

Incrementos en la productividad en ecosistemas pastoriles por medio de la manipulación del ciclo del N pueden ser logrados al incrementar tanto las entradas de nitrógeno como la eficiencia en el uso ó ambas.

Ambas deben ser consideradas conjuntamente ya que el uso ineficiente de las entradas de nitrógeno al sistema puede ser costosa e inaceptable desde el punto de vista ambiental.

Las principales limitantes para la fijación biológica de N_2 y las principales vías de pérdida de N han sido identificadas en numerosas pasturas. Incrementos en la fijación N_2 podría ser lograda a través de la obtención de especies ó variedades de leguminosas de mejor adaptación al ambiente de introducción.

Con los niveles de conocimientos actuales parece difícil poder reducir el impacto que producen los animales sobre las pérdidas de N, podría ser necesaria la alteración del patrón de excreciones animales ó la forma de nitrógeno excretada.

Avances recientes en la comprensión del rol de los microorganismos como intermediarios en las transformaciones del N y como importantes reservorios de N, han mostrado la posibilidad de alterar el aporte estacional del N a la pastura manipulando la población microbiana.

A medida que el manejo de pasturas se intensifica las pérdidas de N se incrementan y éstas se ven acentuadas por el factor animal. La disminución de estas pérdidas sería necesario para reducir los costos de producción y mejorar la aceptación ambiental de las pasturas bajo manejo intensivo.

2.1.4. Niveles de N y disponibilidad en suelos bajo pasturas

La demanda de nitrógeno por las plantas varía mucho según la especie. Las leguminosas obtienen la mayor parte del nitrógeno para cubrir sus requerimientos de la fijación biológica de la atmósfera, mientras que las gramíneas y otras no gramíneas dependen casi totalmente del nitrógeno mineral presente en el suelo.

La fijación por parte de las leguminosas en presencia de altos contenidos de nitratos en el suelo disminuye (Hoglund y Brock, 1978), pero esto ocurre sólo en forma estacional o transitoria en pasturas (Simpson, 1962).

Las gramíneas presentan demandas tan altas de N mineral que generalmente la concentración del N mineral en el suelo es limitante.

Estas requieren N mineral para producir proteína y clorofila suficiente para los procesos de macollaje, elongación de hojas, rebrotes después del pastoreo y reproducción (Vickery, 1981).

Las raíces de las plantas, pueden absorber y efectivamente utilizar amonio, nitrato ó urea para producir rendimientos similares. Su composición química variara según la forma de nitrógeno absorbido, por ejemplo la toma de N bajo forma de nitrato llevará a altos contenidos de Ca y reducidos niveles de carbohidratos en las hojas de algunas especies de gramíneas.

De todas maneras como el nitrato es la forma más fácilmente absorbible de N del suelo y las otras formas se transforman generalmente rápidamente a nitratos, las diferencias provocadas por el suministro de distintas formas de N no son fácilmente detectables. Altas absorciones de N por parte de las gramíneas pueden provocar la acumulación de compuestos nitrogenados en las hojas que pueden ser tóxicos para los animales que pastorean. Estos compuestos pueden ser nitratos, alcaloides y glucósidos cianogénicos (Alberda, 1960).

2.1.4.1. Mineralización de nitrógeno orgánico en suelos bajo pasturas

Las deficiencias de N en pasturas no es debida simplemente a la falta de una adecuada fijación biológica pero es una propiedad inherente a las pasturas mixtas acentuada por ineficiencias en el ciclo del N y por variaciones estacionales climáticas que determinan variaciones en la mineralización y disponibilidad del N orgánico del suelo.

Los suelos sobre pasturas difieren de los suelos bajo cultivos en la magnitud de su masa microbiana que se ve estimulada por la abundancia de sustrato orgánico (Clark y Paul, 1970).

Sin embargo también en presencia de sustratos orgánicos existen otras especies de la microflora del suelo que compiten con las plantas por el amonio presente y lo convierten en proteína microbiana inmovilizando el N hacia una forma orgánica, no disponible (Whitehead, 1970).

El monto neto de N mineralizado disponible para las plantas en distintos suelos sobre pasturas se incrementa con el aumento de N orgánico pero es afectado por factores tales como pH, aireación, salinidad y otros (Allison, 1973).

Los nitratos usualmente se acumulan en suelos bajo cultivos pero los montos en pasturas son pequeños, por lo tanto la cantidad de N tomado por las plantas es pequeño.

Existen muchas razones por las cuales hay escasez relativa de nitratos en pasturas:

- a) la intensa competencia por amonio entre los microorganismos inmovilizadores y las plantas, determina la remoción del amonio antes que la nitrificación pueda ocurrir.
- b) el nitrato es usualmente absorbido y removido por las plantas apenas formado.

- c) la nitrificación puede ser inhibida por las condiciones físicas y sustancias orgánicas que existen en torno a las raíces, donde las concentraciones de oxígeno son generalmente bajas y conducen a la reducción de nitratos y gases nitrogenados por proceso de denitrificación (Woldendorp, 1962).

La cubierta vegetativa de las pasturas en ambientes templados y húmedos mantiene una demanda continua de N por parte de las plantas y de la microflora a lo largo del año, con poca chance de acumulación de N mineral (Richardson, 1938).

2.1.4.2. Acumulación de nitrógeno orgánico

Cuando los niveles originales de N orgánico son bajos, el N se acumula en la superficie del suelo a medida que la pastura se va desarrollando.

La tasa de acumulación de N y el tiempo necesario para alcanzar el equilibrio, dependen de muchos factores aparte de las tasas de entradas y salidas de N al sistema. Entre ellos se pueden mencionar entradas de fósforo, composición botánica, deficiencias de otros nutrientes (Walker *et al.*, 1959) manejo y retorno del forraje de la pastura (Sears *et al.*, 1965).

Cualquier cambio en uno de estos factores puede llevar a un nuevo nivel de equilibrio del N del suelo.

Sistemas de pastoreo intensivo pueden tanto incrementar los niveles de nitrógeno, como reducirlo desde altos niveles previos de equilibrio hacia otros más bajos.

Henzell (1970) sugirió que a pesar de entradas sustanciales al sistema vía fijación biológica de N en el sureste de Queensland, la acumulación de N en pasturas puede haber sido nula ó negativa dado el exceso de mineralización frente a inmovilización, pérdidas subsecuentes de compuestos gaseosos nitrogenados, remoción por animales y lixiviación.

La aplicación de fosfatos a tasas mayores de las necesarias para asegurar un crecimiento adecuado de las leguminosas tiene poco efecto en la acumulación de N orgánico (Simpson *et al.*, 1974).

2.1.5. Leguminosas y fertilizantes como fuentes de nitrógeno de la pastura

El problema de determinar cuando el fertilizante puede remplazar ventajosamente en algunas pasturas a las leguminosas, fue revisado por Simpson y Stobbs (1981). Los efectos de dos distintas fuentes de N en sistemas de producción animal son difíciles de comparar porque determinan distintos patrones de crecimiento de la pastura y composición, requiriendo comparaciones con diferentes métodos de manejo.

El contenido de N de las leguminosas es usualmente mayor al de los pastos fertilizados con N. En adición, cuando ambos componentes están disponibles, las leguminosas son preferidas por los animales frente a los pastos, probablemente por ser retenidas durante menor tiempo en el rumen (Thornton y Hinson, 1973).

Las proporciones óptimas de leguminosas para la producción animal no han sido determinadas en experimentos utilizando animales pastoreando, pero se piensa que un 20-30% de leguminosas sería deseable.

Las leguminosas tienen la ventaja que ajustan su entrada de N a las condiciones estacionales, cosa que no ocurre con las fertilizaciones, por ejemplo en estaciones secas donde se puede estar sobre fertilizando.

Por otro lado las gramíneas responden con mayor rapidez a la fertilización en determinadas épocas del año en que existe poco suministro de N de parte de las leguminosas (Simpson, 1968*b*).

La aplicación estratégica de N en primavera temprana puede ser ventajosa y económicamente viable en sistemas de producción de carne y leche en algunos ambientes (Holmes, 1974; O'connor, 1982).

Aplicaciones de 40-50 kg de N/ha en fin de invierno y temprano en primavera, no afecta en crecimiento posterior de las leguminosas si se llevan a cabo prácticas de manejo apropiadas, pudiendo éstas aportar nitrógeno el resto del año. Estas aplicaciones estratégicas se justifican solamente en sistemas intensivos de producción de pasturas. La viabilidad de este concepto debe ser continuamente revisado, teniendo en cuenta los ingresos y costos, y considerando las ventajas en el manejo en momentos particulares de la estación.

2.1.6. El nitrógeno en la planta

El nitrógeno es esencial para las plantas, ya que interviene la composición de un gran número de compuestos orgánicos (aminoácidos, proteínas, coenzimas, ácidos nucleicos) no es sorprendente encontrar que las plantas que viven en un medio deficiente en N casi no crecen. Aquellas que disponen una cantidad suficiente para alcanzar un crecimiento limitado, exhiben síntomas de deficiencia que consisten en un amarillamiento generalizado, especialmente en hojas viejas. En casos severos, éstas hojas se vuelven totalmente amarillas y eventualmente caen de la planta. Las hojas jóvenes permanecen verdes más tiempo porque reciben las formas solubles de N trasladadas desde las hojas viejas.

Plantas que viven en medios con cantidades excesivas de N muestran un color verde oscuro, abundancia de forraje con un sistema radicular pobremente desarrollado, y por lo tanto una relación parte aérea raíz alta.

Las formas solubles de este elemento en el suelo son: nitrato, amonio y urea ocasionalmente; bajo estas formas pueden ser absorbidos por las plantas, en el caso del nitrato este debe ser reducido en la planta. Dentro de planta el N es trasladado como NH_2^+ en aminoácidos y amidas, siempre que el complejo reductor se encuentre en la raíz, sino como NO_3 en algunos casos. Dado el grado de traslocación del N se lo define como un nutriente móvil en planta (Cátedra de Fisiología Vegetal, Fac. de Agronomía, 1988).

2.1.7. Respuesta a la fertilización nitrogenada

Los sistemas pastoriles están sujetos a las fluctuaciones estacionales en la producción de forraje, problema de amplio conocimiento en Uruguay. El uso de fertilizantes nitrogenados puede ser una solución relativamente fácil para este problema. Es rápido, simple y en ocasiones más económico que otros sistemas alternativos, como las reservas en forma de heno o silo. Aunque las respuestas a N en el periodo otoño-invernal son relativamente bajas, la producción de forraje adicional en junio-agosto puede ser extremadamente valiosa (Rebuffo, 1994). Las gramíneas y otras no leguminosas son casi totalmente dependientes del N mineral del suelo. Las gramíneas tienen tan altas demandas de N que la concentración del mineral en el suelo es habitualmente limitante. Estas requieren N mineral para producir proteína y clorofila suficiente para los procesos de macollaje, elongación de hojas, rebrotes después del pastoreo y reproducción (Simpson, 1987).

Cabreira (1988), afirma que varios ensayos han demostrado que la fertilización nitrogenada posibilita no solo elevar la producción de MS sino también aumentar el periodo de utilización de pasturas cultivadas y nativas hasta niveles imposibles de ser alcanzados por otros manejos.

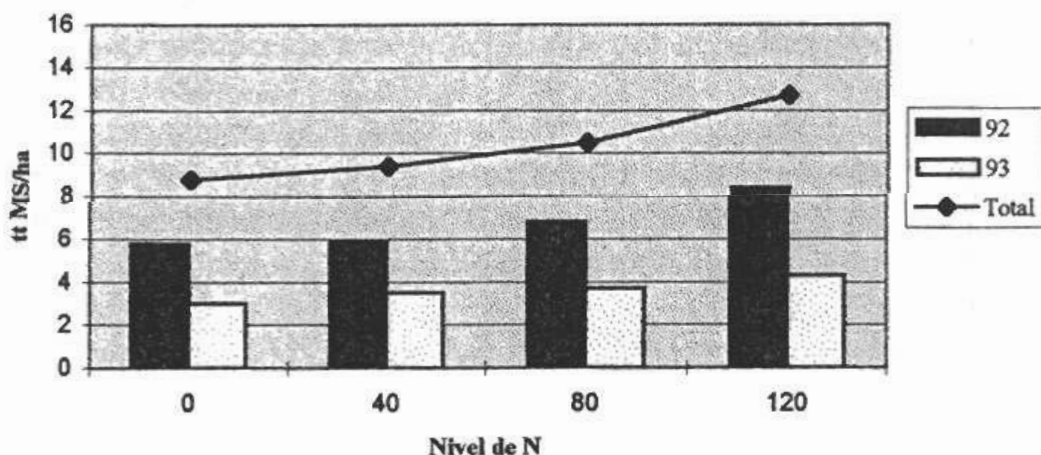
El aumento en el nivel de nutrientes, permitiría una mayor producción y calidad del forraje a través de cambios en la composición botánica. Si bien el pico de producción de primavera mantendría su importancia, la mayor fertilidad permitiría que las especies entraran en reposo más tarde en el otoño y rebrotaran más temprano en primavera, de manera de reducir el período de bajo crecimiento invernal. Además, junto al manejo controlado, se produciría un cambio en favor de especies más productivas adaptadas a las nuevas condiciones (Berretta *et al.*, 1994).

Es bien conocido el efecto positivo de la fertilización otoñal para incrementar el macollaje de las especies activas en invierno y favorecer mayores rendimientos en primavera (Ayala y Carámbula, 1994).

2.1.7.1. Respuesta en producción de MS

Bemhaja *et al.* (1994), en un ensayo realizado sobre basalto profundo, con el objetivo de analizar el efecto de la adición de N sobre la producción estacional y anual de una pastura natural, utilizó diferentes dosis de N (0, 40, 80 y 120 kg/ha). La época de agregado del nutriente fue temprano en otoño y a mediados de primavera. Se encontró una respuesta creciente en las parcelas con agregado de N frente al testigo en condiciones de agua no limitantes. En el segundo año la producción anual de forraje fue un 83% superior para el tratamiento con agregado de 120 N frente al testigo sin fertilizar (figura 1).

Figura 1. Fertilización nitrogenada en campo natural
Forraje total anual



Durante 1957 y 1958, O'Connor analizó la producción, la tasa de crecimiento y la composición de diferentes pasturas luego de la aplicación de fertilizante nitrogenado en distintos niveles, con o sin aplicación de fertilizantes suplementarios conteniendo P y S. En general los resultados obtenidos evidenciaron respuestas marcadas al incremento de N, dependiendo la magnitud de la misma del tipo de pastura analizada. En pasturas nativas existió una respuesta significativamente mayor cuando el N fue aplicado conjuntamente con P y S.

En un ensayo llevado a cabo en Bagé, Neto Gonçalves (1979) estudió la respuesta al agregado de N en forma de urea sobre *Lolium Multiflorum*. Los tratamientos consistieron en dosis de 50, 100, 150 y 200 kg de N/ha/año aplicados durante un periodo de dos años. Los resultados mostraron un incremento en producción de MS del orden de 74% entre el tratamiento de 50kg N/ha en relación al testigo. Las producciones de los tratamientos de 50, 100, 150 y 200 kg de N/ha, no presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$). En relación a la respuestas en producción de MS por cada kg de N aplicado, la mayor fue obtenida por el tratamiento de 50 kg con un valor de 40:1 siendo prácticamente dos veces mayor a la observada en el tratamiento de 100 kg y dos veces y media frente a los tratamientos de 150 y 200 kg N/ha.

En estudios realizados sobre pasturas naturales en la Universidad de Santa María (Río Grande del Sur), utilizando aplicaciones de urea en cobertura a dosis de 0, 100, 200 y 300 kg de N/ha, se encontraron diferencias significativas ($P < 0.01$) para los efectos de las dosis de N. Se verificaron respuestas lineales en producción de MS hasta la dosis máxima de N utilizada (300 kg de N/ha), lo cual demuestra que esta dosis no fue suficiente para alcanzar los rendimientos máximos en MS. En relación al testigo hubo aumentos en producción de MS/ha del orden de 40, 69 y 82% para las dosis de 100, 200 y 300 kg/ha de N respectivamente. Con dosis crecientes de N las gramíneas presentes respondieron con aumentos en la producción de MS, pero estos fueron porcentualmente menores a medida que la dosis aumentó. Se constató que generalmente a mayores dosis de N hay aumentos en la producción de MS, acompañado de una reducción en la eficiencia del uso del N y porcentaje de recuperación del mismo elemento. De esta forma cuando fueron aplicados 100 kg/ha de N hubo mayor recuperación de N del forraje que en aplicaciones de dosis superiores (Cabreira *et al.*, 1988).

Ayala y Carámbula (1994) estudiaron la respuesta de la producción anual de forraje (kg MS/ha) de campo natural al agregado de N, P y K bajo dos frecuencias de defoliación. Los resultados obtenidos indicaron falta de respuesta al agregado de P y K y un significativo aumento frente al aporte de N (**cuadro 2**). Este comportamiento se vio ampliamente alterado cuando los tres elementos primarios fueron agregados

conjuntamente, constatándose incrementos muy importantes (253 a 300%) por efectos de la interacción entre dichos nutrientes.

Cuadro 2. Respuesta de la producción anual de forraje (kg MS/ha) de campo natural al agregado de N, P y K. (N = 320 kg N/ha/año)

Tratamientos	Cortes c/45 días	Cortes c/90 días
Campo natural	3916 c	4464 c
Campo natural + N	6454 b	7656 b
Campo natural + P	4291 c	5650 c
Campo natural + K	3866 c	4296 c
Campo natural + NPK	9922 a	13377 a
Rendimiento promedio	5690	7089

Fuente: Ayala y Carámbula, 1994.

La eficiencia en la respuesta medida como kg MS/kg de N aplicado varió según el momento de aplicación y frecuencia de defoliación de la pastura. En relación al primer punto, la eficiencia fue muy baja en invierno (1.5 kg MS/kg de N) mientras que en primavera y en especial en verano se constataron los mejores registros (14 kg MS/kg de N). Con respecto a la frecuencia de defoliación la utilización aparente de N es mayor cuando el corte se realiza en una etapa avanzada del crecimiento

Pereira Rego (1977), estudió el efecto de tres dosis de nitrógeno de 75, 150 y 300 kg/ha sobre la producción de MS total en dos ecotipos de *Paspalum dilatatum* y dos de *Paspalum notatum*. La fuente de N utilizada fue urea y la fertilización se realizó fraccionada en cuatro aplicaciones. Los resultados indicaron un efecto significativo del N sobre el rendimiento de MS total, obteniéndose una mayor respuesta en el caso de los ecotipos de *Paspalum dilatatum* (cuadro 3). Las producciones de MS y proteína bruta de todos los ecotipos testados se incrementaron con el aumento de las dosis de N utilizadas.

Cuadro 3. Producción de MS (g/maceta) de *Paspalum* con tres dosis de N.

Especie	Dosis de Nitrógeno				Promedio
	0	75	150	300	
<i>Paspalum dilatatum</i>	17.19	23.62	26.88	29.74	24.36
<i>Paspalum notatum</i>	14.18	17.94	20.98	23.23	19.08
Promedio	15.68	20.78	23.93	26.48	

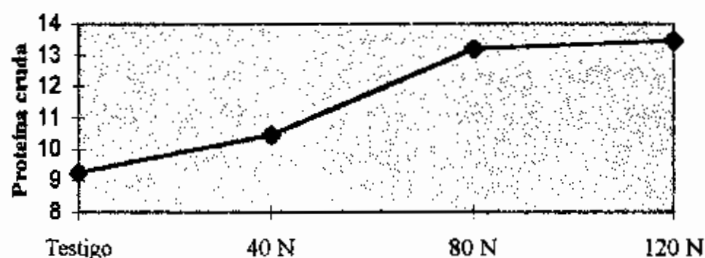
Fuente: Pereira Rego, 1977.

Rebuffo *et al.* (1994) trabajando con diferentes pasturas mezcla encontraron en general bajas eficiencias de respuesta en producción de MS por kg de N aplicado, atribuidas a las características de las pasturas analizadas (pasturas mixtas de 2° año con predominancia de leguminosas). Los valores encontrados fueron del orden de entre 10 y 30 kg MS/kg de N dependiendo la magnitud de la respuesta de las condiciones climáticas existentes, de la proporción de gramíneas y del tipo de gramínea presente en la mezcla.

2.1.7.2. Respuesta en contenido de proteína

Según Ayala y Carámbula (1994) trabajando sobre campo natural, el agregado de N permite alcanzar porcentajes mayores de proteína cruda en la pastura. Este comportamiento se detecta en particular en invierno y luego en otoño en que la presencia de N favorece el logro de valores superiores. En primavera y verano bajo diferentes sistemas de utilización los porcentajes de proteína cruda presentes en la pastura ofrecida son más bajos que en el resto del año.

Figura 2. Proteína Cruda en CN y CN fertilizado con diferentes dosis de N



Bemhaja *et al.* (1994) trabajando en pasturas naturales sobre suelos de basalto profundo, obtuvo valores superiores en proteína cruda y menores en fibra en los tratamientos con fertilización nitrogenada en relación al testigo (figura 2).

Cabreira *et al.* (1988) verificaron un aumento significativo ($P < 0.05$) en el porcentaje de proteína bruta en relación al testigo, a medida que se aumentó la dosis de N. Los porcentajes más altos de PB fueron registrados en los cortes realizados inmediatamente después de la aplicación del fertilizante, llegando a valores superiores a 13% en la dosis mayor de N (300 kg/ha). Esto puede ser explicado por ser mayor la velocidad de absorción de N por las gramíneas, que su respuesta en crecimiento. La eficiencia de producción de PB fue distinta para las diferentes dosis de N aplicadas, siendo los valores obtenidos de 0.78, 0.77 y 0.63 kg de PB/kg de N para las dosis de 100, 200 y 300 kg/ha de N respectivamente.

Resultados similares fueron observados por Pereira Rego (1977), al estudiar la respuesta de dos especies del género *Paspalum* (*dilatatum* y *notatum*) a cuatro dosis de N aplicado en forma de urea. Se verificaron incrementos significativos de la proteína bruta total al aumentarse la dosis aplicada, como se aprecia en el cuadro 4.

Cuadro 4. Producción total de proteína (g/maceta) en dos especies de *Paspalum* y respuesta a tres dosis de N.

Especie	Dosis de Nitrógeno				Promedio
	0	75	150	300	
<i>Paspalum dilatatum</i>	1.27	1.94	2.71	3.8	2.43
<i>Paspalum notatum</i>	1.4	2.04	2.71	3.21	2.34
Promedio	1.33	1.99	2.7	3.5	

Fuente: Pereira Rego, 1977.

El análisis de varianza no detectó diferencias estadísticas entre especies, pero se verificó una interacción entre especies; el *Paspalum notatum* presentó mayor producción hasta los 150 kg de N, mientras que el *P. dilatatum* superó al *notatum* en la dosis de 300 kg/ha de N.

2.1.7.3. Efecto de la aplicación de N sobre la digestibilidad

Según Ayala y Carámbula (1994) el efecto fundamental del fertilizante es producir más MS ya que desde el punto de vista de la calidad del forraje la aplicación de N, P o K no afecta en general la digestibilidad del campo nativo, aunque se observa una tendencia favorable en los tratamientos que incluyen N. Estos autores sostienen que aplicaciones de N en otoño se logra mantener una mejor digestibilidad en especial en forraje acumulado durante 90 días.

En campo natural en Río Grande del Sur el porcentaje de digestibilidad in vitro de MS encontrado fue de 27.5% (testigo), 29.8%, 30.7% y de 31.1% para las dosis de 100, 200 y 300 kg de N/ha respectivamente. Los datos obtenidos muestran un aumento de digestibilidad al incrementarse las dosis de N aplicadas, coincidiendo con un incremento en el porcentaje de proteína.

2.2. FOSFORO

El fósforo (P) es un nutriente esencial para las plantas y animales por su intervención en numerosas reacciones que implican almacenamiento y liberación de energía. Es uno de los nutrientes más estudiados en el mundo por la disciplina fertilidad de suelos. La razón es su amplio y difundido déficit en extensas áreas del mundo, situación de la cual Uruguay forma parte (Morón, 1994).

Este nutriente, bajo la forma de fosfato es esencial para el crecimiento de las plantas, y su aplicación en las tierras agrícolas determina incrementos en la producción de los cultivos. El uso adecuado de la fertilización posibilita una mejora en la cobertura vegetal, reduciéndose la erosión de los suelos de las áreas cultivadas. A pesar de que el P no es tóxico, la aplicación continua de fertilizantes fosfatados puede tener efectos negativos sobre ambientes acuáticos y terrestres. En suelos bajo fertilización continua ha sido detectada la acumulación de contaminantes como cadmio, uranio y radio (Sharpley y Menzel, 1987).

El P presente en el suelo puede ser aportado por el material generador o por la aplicación de fertilizantes fosfatados. La mayor parte de los materiales generadores contienen fosfatos de calcio, los cuales son hidrolizados durante los procesos de formación del suelo, y de esta forma pasan a constituir el P en solución. Este P en solución puede ser adsorbido a minerales, precipitado con diversos cationes, o ser incorporado a la biomasa y la materia orgánica del suelo. En suelos no fertilizados la baja solubilidad de los fosfatos naturales y la casi inexistencia de entradas de P al sistema, determinan un balance muy estable del nutriente durante la ocurrencia de los distintos procesos. La disponibilidad de P para las plantas dependerá de las cantidades de las diferentes formas de P presentes en el suelo (Tiessen y Stewart, 1987).

La amplia mayoría de los suelos del Uruguay son naturalmente deficientes en P. Debido a que es un elemento móvil en las plantas y las partes jóvenes tienen prioridad en condiciones deficitarias, los síntomas de carencia se presentan en hojas viejas. En la producción animal sobre 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 por lo tanto su calidad nutritiva (Morón, 1996).

En el nitrógeno la casi totalidad de sus formas en el suelo son orgánicas y su dinámica es fundamentalmente biológica. En el caso del potasio las formas en las que aparece son exclusivamente inorgánicas y con equilibrios determinados por potenciales químicos. En el fósforo, a diferencia de los nutrientes anteriores coexisten en el suelo un equilibrio químico inorgánico y un ciclo orgánico que gobiernan su disponibilidad. El factor clave que determina la dinámica del P en los suelos y su

disponibilidad para las plantas es la baja solubilidad de los compuestos inorgánicos tanto en sus formas naturales, como en los productos resultantes de las reacciones con los fertilizantes. Esto determina que las concentraciones de P en la solución del suelo sean muy bajas (de 0.05 a 0.2 ppm), lo cual significa cantidades del orden de 20-60 g/ha en los primeros 15 cm de un suelo con buena humedad (Zamalvide, 1992b).

En nuestro país, los suelos en su condición natural contienen en su horizonte A, en términos generales entre 100 y 900 ppm de fósforo. En estas condiciones el P se reparte en proporciones aproximadamente iguales entre formas orgánicas e inorgánicas. Casos típicos de niveles bajos de 100 a 250 ppm son los suelos arenosos y los planosoles y solods del este. Suelos medios de 250 a 500 ppm son por ejemplo aquellos sobre Libertad y Fray Bentos y suelos altos, de más de 500 ppm, son fundamentalmente los suelos sobre basalto (Zamalvide, 1992b). De este P total, en condiciones de campo natural es muy poco el que interviene en los ciclos que pasan por formas disponibles para las plantas. El fósforo inorgánico lábil, definido como aquel que está en equilibrio rápido con la solución representa unas pocas ppm. El P orgánico que se mineraliza anualmente y es vuelto a reciclar por las pasturas naturales es de 2 a 5 kg lo cual asignado a los primeros 20 cm serían aproximadamente de 1 a 3 ppm.

La vegetación del campo natural está relativamente adaptada a ese ambiente con baja disponibilidad de P. Sin embargo cuando se cambia hacia un sistema de mayor productividad se trabaja con especies que para desarrollarse o mostrar su potencial productivo necesitan mayores disponibilidades de P. En términos generales la eficiencia de uso de los fertilizantes fosfatados, definido como el porcentaje de P agregado que es usado por las plantas, es baja. El P que no es absorbido por las plantas pasa a formas fijadas no asimilables sin retornar a formas lábiles, o queda atrapado en la composición de materiales orgánicos como humus, restos o seres vivos (Zamalvide, 1996).

En los sistemas naturales, sin la intervención del hombre, el ciclo del P es virtualmente cerrado, sin intercambios con el exterior. En cambio, en los agroecosistemas el ciclo del P es abierto, existen entradas y salidas.

Existen cuatro grandes vías de pérdidas de fósforo hacia el exterior: extracción de P a través de las reservas forrajeras (heno y/o silo), transferencia de P vía heces fuera del área productiva, extracción en productos animales (leche, carne) y erosión.

Cornforth y Sinclair (1984) definen el P perdido debido al factor animal como las pérdidas en productos animales y en transferencias fuera del área productiva en kg de P ($\text{kg P} \times 2.29 = \text{kg P}_2\text{O}_5$) por una unidad de stock cuando la pastura produce 90%

del máximo rendimiento. La unidad de stock es una oveja de 55 kg que desteta un cordero por año. Las pérdidas varían, según la categoría animal y el tipo de suelo considerado, desde un mínimo de 0.5 kg de P para la unidad de stock como oveja en suelo plano hasta un máximo de 1.1 kg de P para la unidad de stock como vaca lechera en suelos de montaña.

En los sistemas lecheros o ganaderos intensivos las reservas de forraje son otra importante salida de P del sistema. Silos de maíz al estado de grano lechoso produciendo 10.000 kg de materia seca por ha, con una concentración de P de 0.29% (N.R.C., 1982) representa una salida de 22.9 kg de P_2O_5 /ha.

La acción de la lluvia puede determinar pérdidas de P en solución por lixiviación dentro del perfil del suelo, en solución por escurrimiento superficial y en las partículas de suelo por escurrimiento superficial. Estos procesos existen naturalmente, pero la utilización del suelo por el hombre (suelo laboreado, descubierto y expuesto) produce normalmente un aumento del escurrimiento superficial. En general, es aceptado que las pérdidas por lixiviación y en solución por escurrimiento superficial son de magnitudes muy bajas (Sharpley y Menzel, 1987). La erosión del suelo es un proceso selectivo en el cual el sedimento está enriquecido en partículas finas y materia orgánica. El P se concentra especialmente en las fracciones finas y la materia orgánica contiene relativamente altos niveles de P. Por tanto el sedimento generalmente presenta un enriquecimiento en P respecto al suelo del cual se origina (Morón, 1996).

Las pérdidas de fertilizante fosfatado se encuentran influenciadas por la tasa, el tiempo y método de aplicación del fertilizante; por la formulación; por la cantidad y el tiempo transcurrido entre la aplicación del fertilizante y la ocurrencia de precipitaciones; y la cobertura vegetal. Es difícil distinguir entre las pérdidas de P proveniente de la fertilización y las de P proveniente del suelo, pero generalmente las pérdidas de P del fertilizante son menores del 1% del total aplicado. Las pérdidas por escurrimiento superficial pueden ser reducidas mediante la incorporación del fertilizante en el suelo fuera de la zona de extracción y utilizando métodos de conservación o mínimo laboreo de manera de reducir la erosión. El manejo conservacionista determina el incremento de residuos en superficie, la reducción en la manipulación mecánica y la mezcla del suelo. A pesar de que las cantidades de P transportadas por escurrimiento superficial pueden ser consideradas pequeñas si son comparadas con los montos aplicados, es evidente que tanto las concentraciones que escurren tanto superficial como subsuperficialmente son superiores a los valores críticos sugeridos por Sawyer (1947) y Vollenweider (1968) por encima de los cuales el crecimiento biológico puede ser estimulado (Sharpley y Menzel, 1987).

Según Sharpley (1980) la selectividad del proceso erosivo aumenta marcadamente con el aumento de la cantidad de P aplicado, mientras que disminuye con el aumento de la intensidad de las lluvias y con el aumento de la pendiente del suelo. La mayoría del P soluble en el escurrimiento superficial es biológicamente disponible, en cambio la biodisponibilidad del P presente en las partículas del suelo puede presentar importantes variaciones (Sharpley & Menzel, 1987). Sharpley y Smith (1983) encontraron que el cambio en el contenido de las distintas formas de P en suelos laboreados y fertilizados estuvo fuertemente correlacionada con el contenido de P inicial de estos y con las cantidades de fertilizante fosfatado aplicado durante la etapa de cultivo.

A diferencia del nitrógeno que puede tener importantes entradas vía atmósfera (fijación biológica de nitrógeno), en el ciclo del P la única entrada al sistema es vía fertilización fosfatada (Morón, 1996). Es conocido que los fertilizantes fosfatados solubles disminuyen su eficiencia con el tiempo luego de su aplicación. Los factores involucrados son la remoción en productos agrícolas, la lixiviación, erosión, la inmovilización en productos orgánicos estables y las reacciones entre el suelo y el fertilizante fosfatado (Morón, 1992).

2.2.1. Dinámica de las formas inorgánicas

Dentro de las formas inorgánicas es útil, (aunque el límite no sea neto) separar dos fracciones desde el punto de vista de su grado de equilibrio con la solución. Se suele llamar lábil a la fracción inorgánica en equilibrio rápido con la solución del suelo y por lo tanto será la responsable de determinar su concentración y de reponerlo cuando las plantas lo extraen. En condiciones naturales su nivel, siempre muy bajo, es determinado por las actividades de los cationes retenedores de P como el Al, Fe y Ca y por el retorno a través del ciclo orgánico (Zamalvide, 1996).

Dentro del P inorgánico los porcentajes del mismo que son caracterizados como P-Ca, P-Al y P-Fe de acuerdo al sistema de fraccionamiento de Chang y Jackson (1957), debe destacarse el aumento de la fracción P-Ca en suelos sobre Fray Bentos y en fases superficiales de los vertisoles y el aumento de P-Fe en suelos sobre basalto y en algunos suelos muy meteorizados de sierra cristalina. Tal como era de esperar, la fracción de P-Ca aumenta en profundidad en aquellos suelos que presentan carbonato de calcio en horizontes profundos. Los contenidos de P total de los suelos no presentan una correlación clara con la disponibilidad del mismo para las plantas, pues la gran mayoría está en formas con muy poco significado en los mecanismos de aporte a las plantas. Un buen ejemplo de esto es el suelo analizado con mayor contenido de P total, un litosol rojo sobre basalto con 887 ppm de P, cuyo análisis de P asimilable por Bray

Nº1 es de 3 ppm y presenta una clara respuesta de las plantas al agregado de fertilizante fosfatado. Esto es así por su alto contenido de P orgánico (458 ppm) y por el hecho de que el P inorgánico está fuertemente inactivado en el suelo por los óxidos libres de hierro (Zamalvide, 1992b).

El P lábil aumenta significativamente debido a los productos de reacción del suelo con los fertilizantes. Los fertilizantes son retirados de la solución en forma rápida y casi cuantitativa por las reacciones que ocurren con el suelo. Las pérdidas por fijación o retrogradación inorgánica están dadas por el hecho de que los productos de reacción suelo-fertilizante permanecen un cierto tiempo en la fracción lábil pero luego más o menos lentamente evolucionan hacia formas fijadas de casi nula solubilidad y reactividad y por lo tanto, disponibilidad. En algunos suelos, el paso de la fracción lábil a la fijada se da muy rápidamente, perdiéndose en corto tiempo el efecto residual de fertilizaciones anteriores. De acuerdo a la información primaria existente para el país algunos suelos, en especial los del área basáltica y los de la zona de cristalino poco o nada recubiertas, son los que presentan mayor capacidad de retrogradación del P lábil (Zamalvide, 1996).

2.2.2. Dinámica de las formas orgánicas

El contenido de P orgánico en los suelos varía considerablemente, oscilando en general entre el 20 y el 80% del P total en el horizonte superficial del suelo (Dalal, 1977; citado por Morón, 1992). Dentro del P total se mantiene un porcentaje promedio bastante constante de P orgánico del 51% con una desviación típica del 7%. Los altos contenidos de P orgánico en relación al P total de los horizontes superficiales en campo natural son lógicos de esperar en nuestro país pues son suelos de vegetación nativa de praderas que tiende a acumular altos contenidos de materia orgánica. Esto puede tender a cambiar cuando pierden materia orgánica por el uso agrícola y cuando acumulan residualidad de fertilizaciones anteriores en la fracción inorgánica (Zamalvide, 1996).

Haas, Grunes y Reichman (1961) encontraron que los niveles de P inorgánico no fueron afectados en un sistema de agricultura en rotación sin fertilización, pero los niveles de P orgánico disminuyeron en promedio un 35% comparado con los niveles originales del suelo virgen. El P total en los suelos del experimento se redujo en promedio un 8% en los cultivos sin fertilización, pero fue incrementado en promedio un 14% en los suelos donde se aplicó fertilizante.

En el caso del P orgánico al igual que el N, es importante diferenciar las características del P contenido en los seres vivos (microorganismos y plantas), restos incorporados al suelo y humus evolucionado. Los restos de plantas de campo natural contienen aproximadamente 0.1% de P, el humus evolucionado generalmente más de 0.3% de P, y los microorganismos pueden acumular más de un 1% de P. Las concentraciones de P en esos tres componentes está influenciada por la disponibilidad general del sistema que a su vez está fundamentalmente determinada por la intensidad de fertilización, más que por las características naturales del suelo. La tasa de mineralización de P orgánico está determinada por la intensidad del ataque a la materia orgánica y por la riqueza en P del material atacado. En ese sentido se puede hablar de contenidos de P que provocan mineralizaciones o inmovilizaciones netas. Este contenido se ha ubicado entorno del 0.2%. En los momentos en que los sistemas pierden significativamente materia orgánica aumentará por mineralización el P inorgánico lábil y la disponibilidad para las plantas. En los momentos de acumulación de materia orgánica, como ser períodos de pasturas en rotación, o mejoramientos en cobertura exitosos, especialmente en suelos pobres existirá una inmovilización de P en esa materia orgánica acumulada a expensas de formas inorgánicas asimilables (Zamalvide, 1996).

La importancia del suministro de fósforo desde la fracción orgánica para cultivos y pasturas especialmente en regiones tropicales ha sido documentado en numerosas revisiones (Anderson, 1980; Stewart y Sharpley, 1987; Stewart & Tiessen, 1987; citados por Morón, 1992). La contribución del P orgánico en áreas templadas es más lenta, y la disponibilidad del P inorgánico es el principal factor influenciando la respuesta vegetal, no obstante puede haberse encontrado algunos efectos del P orgánico (Morón, 1992).

Aunque el fósforo orgánico se encuentra bien correlacionado con C y N, los factores que afectan su equilibrio no necesariamente afectan al C y N en la misma extensión (Anderson, 1980; Mc Gill y Cole, 1981).

2.2.3. Absorción por las plantas

Es imposible saber que concentración de P existe realmente en la solución natural del suelo en directo contacto con las raíces. La concentración en condiciones naturales del suelo será el equilibrio entre lo que la raíz absorbe y lo que el suelo repone en ese sitio. Esta concentración estará limitada por el factor cantidad (P lábil), el factor capacidad (concentración de P en la solución en el punto en que se libera) y la eficiencia de la difusión desde donde se libera hasta donde la raíz lo absorbe. Sin duda

la concentración de P en la solución desde donde la raíz lo toma es mucho más baja que las 0.05 a 0.2 ppm que se determinan usualmente en los suelos equilibrados en el laboratorio donde no hay plantas extrayendo. Normalmente al pensar en disponibilidad de P, sólo se considera el factor cantidad o P lábil (normalmente estimado por el análisis de suelos). Sin embargo en muchas situaciones reales de producción la difusión puede ser más limitante de lo que se piensa (Zamalvide, 1996).

La cantidad de P que una planta absorbe por unidad de tiempo va a estar determinada en gran medida por dos factores: el volumen radicular o más exactamente la cantidad de superficie de contacto raíz-suelo y la concentración de P en la solución en los puntos de contacto con la raíz, cuando se da el proceso de equilibrio entre lo que la raíz retira y el suelo repone. El suelo tiene una cierta "capacidad" de mantener una concentración de P en contacto con las partículas. Esta está determinada por la "cantidad" de P lábil y otras características del mismo que afectan el equilibrio (Zamalvide, 1992b). La absorción por parte de raíces de plantas en crecimiento disminuye constantemente la concentración de P respecto al valor de equilibrio (Morón, 1992).

La concentración de P en los tejidos de las plantas no es constante, varía con una serie de factores, fundamentalmente estado fisiológico (mayores contenidos en plantas jóvenes) y parte de la planta considerada (mayores contenidos en tejidos en crecimiento). También existen diferencias en contenido de P entre especies que estarían relacionadas con su habilidad para absorberlo. En general las diferencias de contenido entre especies son menores que las debidas a disponibilidad de P en el suelo donde están creciendo o a los factores mencionados anteriormente (Loneragan y Asher, 1967; Ozzane *et al.*, 1969; citados por Del Pino, 1997).

Las especies de las pasturas naturales de nuestro país están adaptadas a suelos pobres en P, en general su disponibilidad en el suelo es baja, variando dentro del rango de 0.08 a 0.15% de P para la mayor parte de los suelos. También existen variaciones estacionales, generalmente con menores contenidos de P en verano, estas variaciones están relacionadas a los ciclos fisiológicos de las plantas componentes de las pasturas. El ciclaje de P en pasturas bajo pastoreo se realiza fundamentalmente a través de las heces. En la zona de la mancha de heces la concentración de P es muy alta, equivaliendo a dosis de aproximadamente 50 y 600 kg de P_2O_5 /ha para ovinos y vacunos respectivamente. En este caso el problema de mala distribución se ve aún agravado respecto a lo visto para N por el hecho de realizarse el ciclaje de P casi exclusivamente a través de heces y por lo tanto cubriendo una menor proporción del área total. El contenido de P en las heces es mayor que el de la pastura que ingirieron los animales, pero está estrechamente relacionado a este (Del Pino, 1997).

El P de las heces se encuentra tanto en forma orgánica como inorgánica, generalmente el P inorgánico representa alrededor del 50% del total (Bromfield, 1961; citado por Del Pino, 1997). Una parte importante de este P es soluble en agua siendo posible su solubilización por el agua de lluvia. Esto explicaría la rápida respuesta, expresada por el mayor crecimiento de las pasturas de suelos pobres en P alrededor de las manchas de heces. La mineralización del P orgánico de las heces se realiza de manera lenta por lo que tendrá importancia solamente en el largo plazo. Con respecto a la utilización del P se ha encontrado que en el suelo del área, por debajo y alrededor de las heces existe un aumento en la disponibilidad de este elemento. Lamentablemente los datos extranjeros de mediciones de recuperación de P proveniente de las heces reportan valores bajos, aproximadamente 15% recuperado en el primer año y tasas menores posteriores, encontrando residualidad de fósforo proveniente de una mancha de heces durante tres años (Del Pino, 1997).

2.2.4. Formas y transformaciones del P en el suelo

Las raíces de las plantas toman el P desde la solución del suelo. Normalmente el P inorgánico se encuentra en la solución del suelo como H_2PO_4^- y HPO_4^{2-} dependiendo del pH del suelo la predominancia de una u otra forma (Lindsay, 1979; citado por Morón, 1992). Dado que la concentración de P 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 las isotermas de adsorción. Las isotermas de solubilidad de diversos minerales fosfatados en función de pH han sido presentadas por Lindsay (1977) y Olsen y Khasawneh (1980). Las isotermas de solubilidad son útiles para conocer los minerales fosfatados que pueden estar controlando la concentración en la solución. Las isotermas de adsorción también son útiles en la medida que nos informan sobre las relaciones P solución-P fase sólida. La habilidad de retener fósforo por el suelo (caracterizado por las isotermas de adsorción) se relaciona negativamente con la eficiencia de utilización del fertilizante fosfatado en el corto término (Barrow, 1980; citado por Morón, 1992).

Para nuestro país, Escudero y Morón (1978), determinaron para un amplio rango de suelos que el aumento en la capacidad de retención de P de los suelos se encontraba asociado con el incremento en el contenido de óxidos de hierro libres y arcilla. Dada una concentración de P en la solución del suelo -limitante o no- la cantidad de fósforo en un determinado momento es varias veces inferior a la cantidad que absorbe un cultivo o una pastura en un período de crecimiento. Por tanto su reposición desde la fase sólida se torna imprescindible (Morón 1992).

El fósforo en fase sólida puede dividirse en dos grandes grupos: inorgánico y orgánico. Si bien su división facilita su estudio no debe perderse de vista que cada fracción es parte de un ciclo complejo.

El P inorgánico se encuentra combinado con metales como hierro, aluminio y calcio; así como con minerales arcillosos de tipo 1:1 o 2:1. La proporción relativa de los compuestos inorgánicos de fósforo con Fe, Al, o Ca es dependiente del pH y de la cantidad y tipo de minerales existentes en la fracción arcilla. En suelos ácidos con predominio de caolinita y óxidos de Fe y Al, 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).

El contenido de P orgánico en los suelos varía considerablemente, oscilando en general entre el 20 y el 80% del P total en el horizonte superficial del suelo (Dalal, 1977; citado por Morón, 1992). El contenido de P total de un suelo es una propiedad primaria del mismo y no es dependiente de ninguna otra variable. La fracción de P lábil es dependiente de las propiedades químicas y físicas del suelo, pero puede al mismo tiempo controlar otras variables, cómo ser la acumulación de materia orgánica (Stewart y Tiessen, 1987).

Morón (1992), sostiene que la naturaleza dinámica del P orgánico es enmascarada por el hecho que solo una pequeña porción del total de la materia orgánica puede ser biológicamente activa. El componente central del ciclo activo del P orgánico es el P en la biomasa microbiana. Debido a su magnitud y al hecho de ser el mayor componente lábil de la materia orgánica del suelo, esta es un importante reservorio de nutrientes potencialmente disponibles.

2.2.5. El fósforo en la planta

El fósforo desempeña un papel importante en la respiración vegetal, teniendo influencia en el almacenamiento, transporte y utilización de energía en el proceso fotosintético. Tiene también acción en la síntesis de proteínas y en el metabolismo de enzimas. Para las pasturas es el elemento más importante después del nitrógeno, fundamentalmente en los primeros períodos de vida de la planta, que es cuando se absorbe en grandes cantidades. Si hubieran deficiencias acentuadas de P en el suelo, luego de agotadas las reservas provenientes de la semilla, las plántulas no podrían sobrevivir (Werner, 1984).

El fósforo cumple una función de relevancia en el metabolismo energético del vegetal formando parte de nucleótidos. También se lo encuentra en fosfolípidos y azúcares-fosfato y algunas coenzimas. El ión P_5^+ se absorbe en las plantas como ión fosfato monovalente ($H_2PO_4^-$) y en menor medida como bivalente (HPO_4^{2-}). En la mayoría de las plantas, el fosfato es fácilmente redistribuido de un órgano a otro. Las plantas con deficiencia en fósforo tienen una forma achaparrada, con un color verde oscuro. También suelen acumularse antocianinas que producen una coloración rojiza en la base de los tallos. La mayor parte del fósforo necesario en los cultivos anuales se absorbe durante los primeros estadios de desarrollo de las plantas. Así, en los cereales, un 80% del P total se absorbe hasta el momento en que la planta posee un 25% de la materia seca total. La nutrición fosfatada del resto del follaje y las raíces, se hace a expensas de la redistribución posterior.

A pH bajos aparece como forma soluble en el suelo $H_2PO_4^-$, en pH intermedios por encima de 6.8 predomina HPO_4^{2-} , mientras que cuando el pH es alcalino prevalece PO_4^{3-} . Las plantas lo absorben bajo las formas $H_2PO_4^-$ y HPO_4^{2-} y se sabe que al aumentar la valencia disminuye la permeabilidad de los iones. Además a pH alto los OH compiten con los transportadores. El fosfato no es reducido en la planta.

El fósforo es traslocado en la planta como $H_2PO_4^-$ o como fosforilcolina. El 90% se encuentra en moléculas orgánicas luego de un minuto de haber sido absorbido. Este elemento de acuerdo a su grado de traslocación puede ser definido como muy móvil en planta (Cátedra de Fisiología Vegetal, Fac. de Agronomía, 1988).

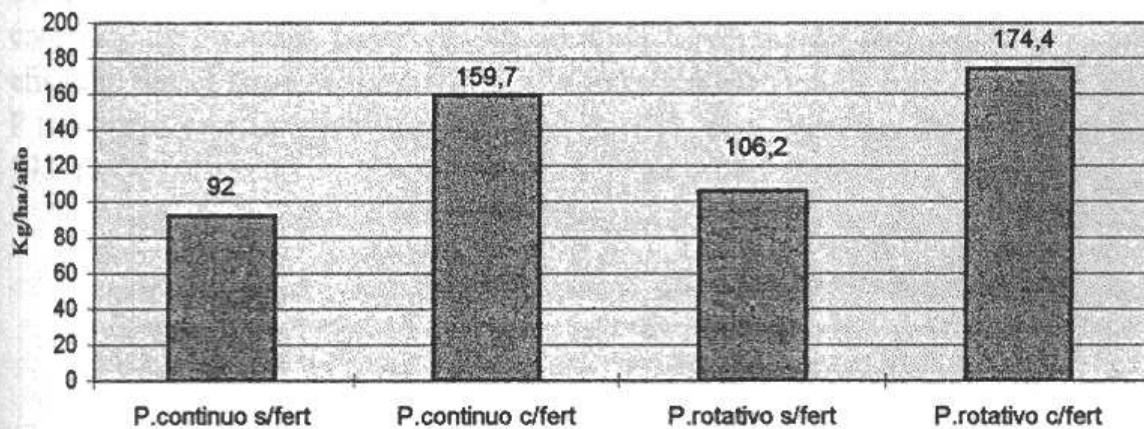
Barrow (1975) estudió la existencia de una interacción entre la respuesta diferencial al fósforo de distintas especies, demostrada previamente por diversos trabajos, y la capacidad de los suelos de adsorber fosfatos. En trabajos previos no fue detectada esta interacción (Biddiscombe *et al.*, 1969), cuando se estudió la respuesta de cinco especies en tres suelos diferentes con cinco niveles diferentes de P. Esto pudo haber sido determinado por las diferencias existentes entre las especies utilizadas. Este

ensayo mostró los menores requerimientos de P del ryegrass comparados con los del trébol subterráneo. Difiere con experimentos previos en mostrar que las diferencias en requerimientos entre especies son mucho mayores en suelos que pueden adsorber grandes cantidades de P frente a suelos con baja capacidad de adsorción. La respuesta diferencial al P encontrada para las especies estudiadas puede ser atribuida a diferencias en sus propiedades "internas", como por ejemplo variaciones en la eficiencia con que utilizan el P para producir fotosintatos. Sin embargo la capacidad del suelo para adsorber P tendrá efectos diferenciales en tales propiedades. En condiciones similares a las del presente experimento la tasa de absorción específica de P por las raíces de ryegrass fueron mayores a las encontradas para las raíces de tréboles.

2.2.6. Efectos de la fertilización fosfatada sobre la producción de MS

Mendes *et al.* (1968) en un ensayo realizado sobre pasturas naturales en campos de la zona de Bagé estudiaron la influencia de la fertilización fosfatada y su efecto residual sobre el rendimiento de la pastura natural, comparando dos sistemas de pastoreo: continuo y rotativo. El ensayo fue fertilizado durante un período de cinco años consecutivos (1956-1960), con una dosis total de 365 kg de P_2O_5 /ha. Las fertilizaciones fueron realizadas en cobertura durante el otoño. A partir del quinto año se suspendió la fertilización fosfatada y se comenzó el estudio del efecto residual de la fertilización durante el período 1961-1968 (figura 3).

Figura 3. Efecto del sistema de pastoreo y de la fertilización sobre la ganancia de peso vivo (Media de 11 años; 1957 - 1968)



Fuente: Mendes et al., 1968.

Estas pasturas presentaban predominancia de especies del género *Paspalum*, principalmente *P. notatum* y también *Axonopus affinis*.

Estos autores encontraron mejoras en la performance animal en las pasturas fertilizadas, comparando frente a animales pastoreando pasturas testigo sin fertilizar, aún después del séptimo año posterior a la fertilización (**cuadro 5**). Fueron detectados también cambios en la composición botánica de la pastura como resultado de la fertilización fosfatada, con mayor frecuencia de aparición de *Paspalum dilatatum* y *Trifolium polymorphum*. Entre los sistemas de pastoreo, las diferencias encontradas fueron pequeñas a favor del sistema rotativo.

Cuadro 5. Efecto del sistema de pastoreo y la fertilización (residual) sobre las ganancias de peso vivo. Media de 7 años (período 1961 - 1968).

<i>Tratamientos</i>	<i>Gun. PV (kg/ha/año)</i>	<i>Relativo (%)</i>
Pastoreo continuo s/fertilización	97,5	100,0
Pastoreo continuo c/fertilización	185,4	190,1
Pastoreo rotativo s/fertilización	115,5	118,4
Pastoreo rotativo c/fertilización	211,1	216,4

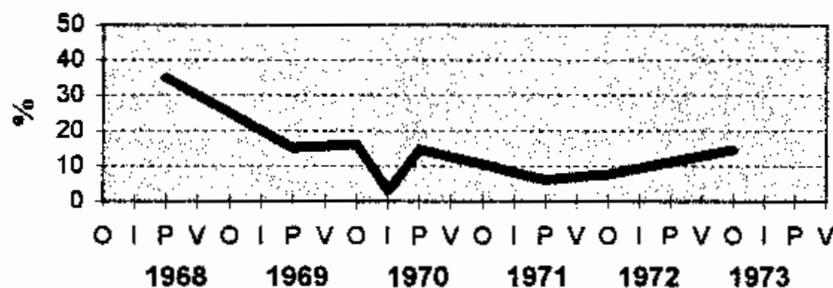
Macedo *et al.* (1985) trabajando también en la región de Bagé (RGS) compararon diversas fuentes de P sobre campo natural:

- Fosfato de patos de minas (21% de P₂O₅ total);
- Fosfato de araxá (24% de P₂O₅ total);
- Fosfato de gafsa (30% de P₂O₅ total);
- Superfosfato triple (45% de P₂O₅ total).

La mayor respuesta en kg de materia seca/ha se obtuvo con el superfosfato triple, con ésta fuente la pastura natural tuvo un rendimiento de un 25% más frente al testigo sin fertilizar. No fueron encontradas diferencias importantes en cuanto a la composición botánica como resultado de la fertilización fosfatada. La fuente de P más eficiente fue el superfosfato triple y la máxima eficiencia económica de esta fuente de P se obtuvo con un nivel de 89 kg/ha de P₂O₅ (con precios de Brasil en diciembre de 1984).

Castro *et al.* (1967), instalaron áreas experimentales en la zona de Basalto, en las que se evaluó el efecto de la fertilización con fosfatos sobre la producción de forraje y composición botánica de las pasturas naturales sobre suelos superficiales (negros y rojos). Luego de cuatro años de iniciada la fertilización anual, no se habían observado incrementos de las leguminosas nativas, aún luego de la aplicación total de 1000 kg/ha de hiperfosfato. Como consecuencia de la ausencia de leguminosas nativas en este suelo, la respuesta de la pastura natural a la fertilización con fosfatos es mínima. Si medimos la respuesta a la fertilización en porcentaje de la producción de forraje de campo natural sin fertilizar ésta es decreciente con el tiempo y para el total del período (1968-1972) es de sólo 15% en el promedio de las localidades ubicadas sobre suelos negros

Figura 4. Respuesta del CN a la fertilización con fosfatos en % de la producción de forraje de CN sin fertilizar

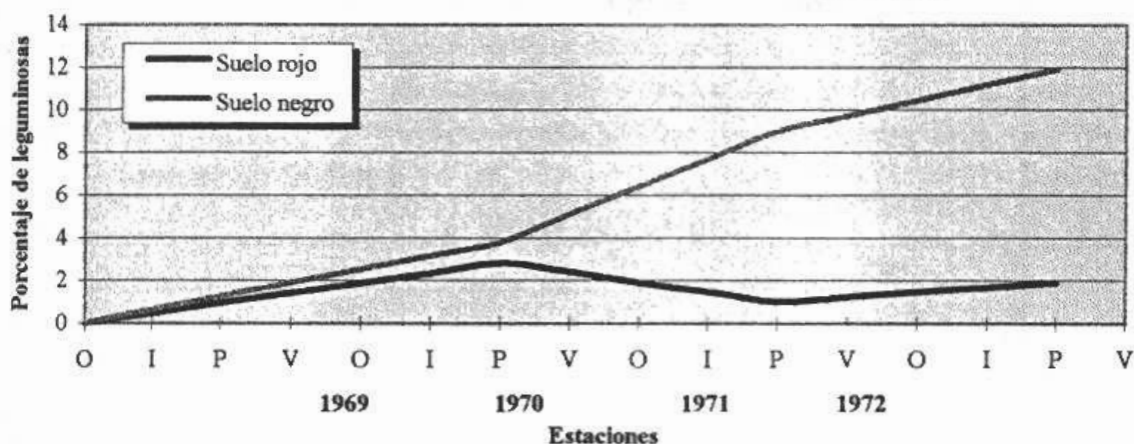


Castro *et al.*, 1973

(figura 4). Para las pasturas naturales sobre suelos rojos, la respuesta es aún menor.

En 1969 se iniciaron varios experimentos con el objetivo de evaluar la respuesta de las pasturas naturales sobre suelos superficiales de Basalto, a las diferentes fuentes de fosfatos y a niveles crecientes de fertilización. Las fuentes comparadas son hiperfosfato, superfosfato y trifos en aplicaciones anuales de 50, 150 y 250 kg/ha de P_2O_5 . Luego de cuatro años de aplicaciones anuales, no se observó respuesta (significativa), con ninguna de las fuentes empleadas en ninguno de los niveles utilizados, con respecto a la producción de forraje de las pasturas naturales, en suelos superficiales rojos y negros. Sin embargo, en estos experimentos, se observó un importante incremento en las leguminosas nativas, especialmente en pasturas de suelos negros, compuesta por trébol polimorfo y babosita, el cual no se tradujo en incremento de la producción de forraje, figura 5 (Castro *et al.*, 1973).

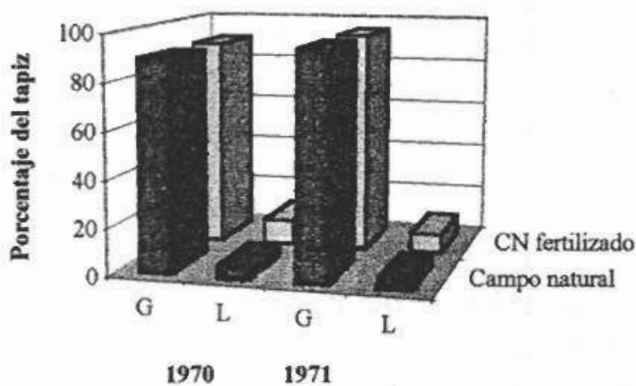
Figura 5. Porcentaje de leguminosas en CN sobre dos suelos superficiales de Basalto, fertilizados con fosfatos. (Media de tres fuentes y tres niveles de fertilización).



Fuente: Castro *et al.*, 1973

Evaluaciones similares se realizaron en pasturas naturales sobre suelos profundos de basalto, Castro *et al.* (1973), compararon fuentes y niveles de fertilización con fosfatos. Las fuentes empleadas fueron superfosfato e hiperfosfato y los niveles de fertilización anuales fueron 10, 20, 40 y 80 kg/ha de P₂O₅. Tampoco se observó, luego de tres años, un cambio importante en la composición botánica ni en la

Figura 6. Porcentaje de gramíneas y leguminosas de pasturas naturales fertilizadas sobre suelos profundos de Basalto.



Fuente: Castro *et al.*, 1973

producción total de forraje en varias estaciones, para el promedio de las fuentes y niveles de fertilización empleadas (figura 6). Con respecto las fuentes de fosfatos, es importante señalar que no existen diferencias entre superfosfato e hiperfosfato ni tampoco entre los niveles de fertilización luego de tres años de iniciado el ensayo. El promedio de la respuesta en producción de forraje observada en el período no supera a 10% de la producción de forraje actual de las pasturas naturales.

Castro (1980) estudió el efecto de tres dosis y tres fuentes de fósforo sobre una mezcla forrajera de T. blanco, Lotus y Festuca. El experimento se realizó en un suelo sobre Basalto en el período comprendido entre el diciembre de 1979 y abril de 1980 (cuadro 6).

Cuadro 6. Rendimiento de forraje, kg de MS/ha de dos cortes para tres dosis y tres fuentes de fosfatos.

Fuente	Dosis de Fósforo			Promedio
	60	120	180	
Superfosfato	3082	3007	3099	3078
Hiperfosfato	2532	2120	2350	2395
Superfos	2710	2814	2841	2781

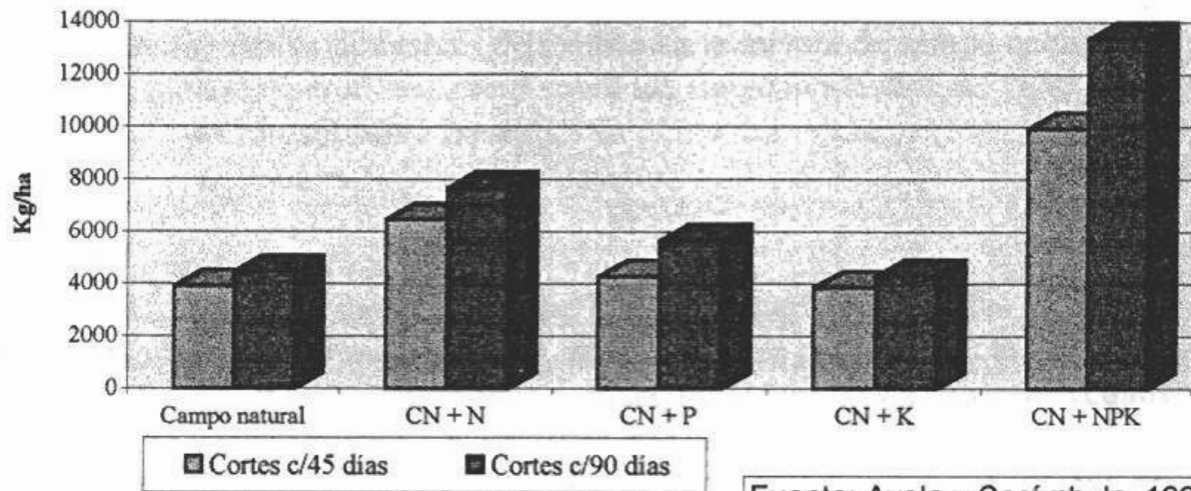
Fuente: Castro, 1980.

2.3. INTERACCION N-P

Es conocida la existencia de una mayor respuesta vegetal frente a la aplicación combinada de nitrógeno y fósforo comparada con la aplicación de cada uno de estos nutrientes en forma separada. El incremento en producción que se registra es superior a la suma de los efectos determinados por la aplicación aislada de los nutrientes, fenómeno conocido como interacción positiva. Son numerosos los trabajos que describen la existencia de este fenómeno.

Ayala y Carámbula (1994), trabajando sobre pasturas naturales encontraron ausencia de respuesta al agregado de potasio y fósforo y un significativo aumento frente al aporte de nitrógeno. Este comportamiento se ve ampliamente alterado cuando los tres elementos primarios son agregados conjuntamente, constatándose incrementos muy importantes (253 a 300%) por efectos de la interacción entre dichos nutrientes (figura 7).

Figura 7. Respuesta en producción anual de forraje de campo natural al agregado de N, P y K bajo dos frecuencias de defoliación



Fuente: Ayala y Carámbula, 1994

Norman (1962) reporta una marcada respuesta al N y al P cuando fueron aplicados en forma conjunta. La media de producción de todos los tratamientos que incluyen N y P superó a la media de producción de los tratamientos que incluyeron uno sólo de los nutrientes o ninguno en un 61%. Mientras que los tratamientos con las dosis más altas de N y P superaron la producción del control en un 105%. La tendencia general de la respuesta, el nivel de significación para los efectos primarios y la interacción fueron similares, aunque la respuesta al P se manifestó solamente a los más altos niveles de N.

Johnston *et al.* (1969), trabajando sobre pasturas naturales en climas semiáridos, encontraron que los incrementos de rendimiento relativo promediaron 110% para las parcelas con P, 153% para las parcelas con N y 215% para las parcelas tratadas con N-P, comparadas con el 100% correspondiente al rendimiento del control. A su vez el uso de fertilizantes aumentó la eficiencia en el uso del agua por parte de la pastura nativa, elemento muy importante para la zona en que se llevaron a cabo los ensayos.

Kilcher *et al.* (1965), comparando aplicaciones de 60 kg de N/ha como nitrato de amonio; 26 kg de P_2O_5 /ha como superfosfato triple; 60 kg de N/ha + 26 kg de P_2O_5 /ha y un testigo. Encontraron que el nitrógeno y el nitrógeno + fósforo produjeron incrementos significativos en la producción de forraje. El P sólo por su parte, no incrementó significativamente la producción de forraje.

Bottaro y Zavala (1973) en su trabajo de tesis estudiaron:

1. la respuesta estacional del campo natural a la fertilización mineral NPK
2. la respuesta anual del campo natural a dosis NP y número de aplicaciones de N
3. la eficiencia relativa de fuentes de fósforo en la mejora de campo natural.

Los trabajos fueron realizados sobre los siguientes suelos del país:

- Litosol sobre Basalto.
- Pradera Negra sobre Basalto.

1. *Litosol sobre Basalto:*

El efecto de los fertilizantes fue mas importante en aquellas estaciones donde las condiciones de crecimiento fueron mas favorables como es el caso de primavera y otoño, siendo las estaciones de menor producción el verano y el invierno (**cuadro 7**).

Cuadro 7. Rendimientos promedio y % en kg/ha de MS por tratamientos para un Litosol sobre Basalto.

N - P	Primavera	%	Verano	%	Otoño	%	Invierno	%	Total
0 - 0	475	29,1	255	15,6	505	30,9	400	24,5	1635
160 - 0	935	31,9	550	18,8	850	29,0	595	20,3	2930
320 - 0	575	20,9	325	11,8	860	31,3	985	35,9	2745
0 - 160	415	29,0	160	11,2	480	33,6	375	26,2	1430
0 - 320	620	28,2	160	7,3	615	28,0	805	36,6	2200
80 - 80	740	25,9	475	16,6	1125	39,4	515	18,0	2855
160 - 160	1140	27,4	685	16,5	1435	34,5	895	21,5	4155
240 - 240	1370	26,1	705	13,4	2185	41,6	990	18,9	5250
320 - 320	2040	28,9	690	9,8	3290	46,5	1050	14,9	7070

Fuente: adaptado de Bottaro y Zavala (1973).

Los autores concluyeron que salvo en invierno, las restantes estaciones de crecimiento mostraron alta respuesta a la aplicación de fertilizante nitrogenado, siendo este elemento el que mas limitó la producción. Los coeficientes cuadráticos para N, mostraron incrementos decrecientes para este nutriente (**cuadro 8**).

Cuadro 8. Respuesta de la pastura en kg/ha de MS por kg de N aplicado según intervalos utilizados.

Intervalo	Primavera	Verano	Otoño
0 - 80	5,512	3,475	6,962
80 - 160	3,187	1,762	5,387
160 - 240	0,862	0,037	3,787

Fuente: Bottaro y Zavala (1973).

Las mayores respuestas al suministro de nitrógeno fueron obtenidas en aquellas estaciones donde fue posible un mayor crecimiento vegetal, o sea donde el clima no constituyó un factor limitante. Los coeficientes lineales para P fueron negativos y significativos mostrando falta de respuesta al P. El comportamiento de este nutriente podría ser explicado en función del bajo contenido de leguminosas del tapiz y porque estos suelos tienen un contenido de óxidos de Fe de 3,4% (Zamalvide, com. pers.; citado por Bottaro y Zavala, 1973), lo que podría traer como consecuencia una fijación de P.

Una interacción positiva y altamente significativa entre N y P fue encontrada en las estaciones que presentan respuesta, siendo este factor el más importante de todos los encontrados para este suelo.

2. Pradera negra sobre Basalto..

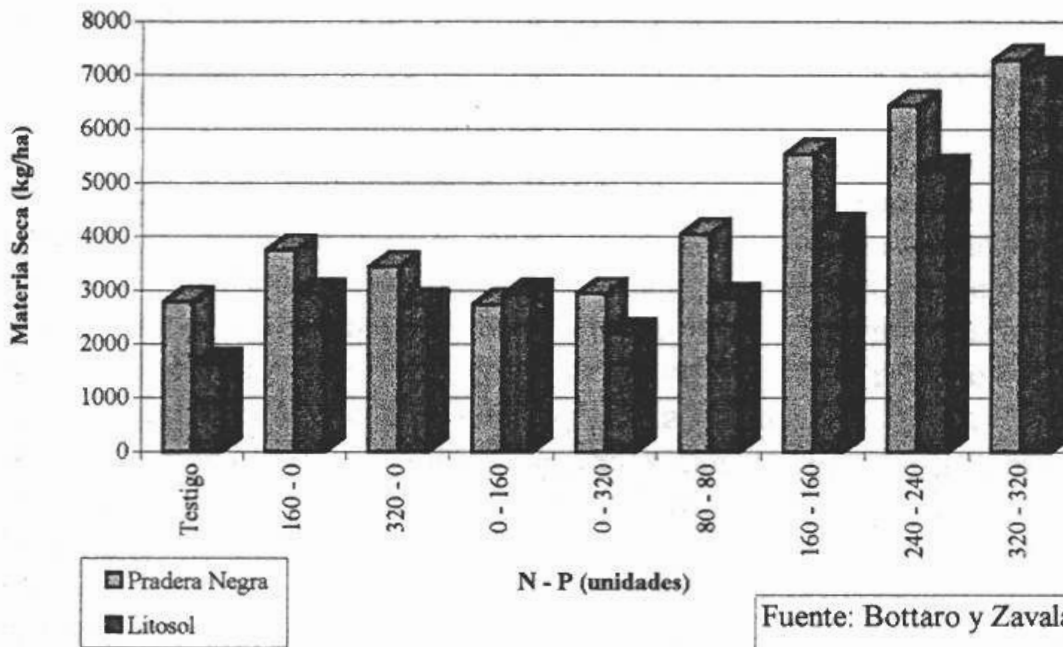
Coincidiendo con los datos del suelo anterior, el efecto del fertilizante se manifestó en aquellas estaciones donde las condiciones de crecimiento fueron más favorables (**cuadro 9 y figura 8**).

Cuadro 9. Rendimientos promedio y % en kg/ha de MS por tratamientos para una Pradera negra sobre Basalto.

N - P	Primavera	%	Verano	%	Otoño	%	Invierno	%	Total
0 - 0	1355	48,7	375	13,5	620	22,3	435	15,6	2785
160 - 0	1770	47,3	470	12,6	945	25,2	560	15,0	3745
320 - 0	1610	46,8	445	12,9	935	27,2	450	13,1	3440
0 - 160	1185	43,2	440	16,0	570	20,8	550	20,0	2745
0 - 320	1315	44,7	425	14,4	835	28,4	370	12,6	2945
80 - 80	1800	44,4	560	13,8	1105	27,3	585	14,4	4050
160 - 160	2205	39,8	500	9,0	2025	36,6	810	14,6	5540
240 - 240	2385	37,1	730	11,4	2685	41,8	625	9,7	6425
320 - 320	2475	34,0	700	9,6	2905	39,8	1210	16,6	7290

Fuente: adaptado de Bottaro y Zavala (1973).

Figura 8. Rendimientos totales de Materia Seca según dosis de N y P en dos suelos sobre Basalto



El factor más importante en limitar la producción fue el N, mostrando una respuesta muy alta en otoño y primavera. La respuesta de la pastura al suministro de este nutriente es de incrementos decrecientes.

La respuesta de producción estimada por unidad de N aplicado se muestra en el cuadro 10.

Cuadro 10. Respuesta de la pastura en kg/ha de MS por kg de N aplicado según intervalos utilizados.

Intervalo	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
0 - 80	7,500	-	8,162	1,600
80 - 160	3,750	-	5,400	3,037
160 - 240	0,125	-	2,662	-1,262

Fuente: Bottaro y Zavala (1973).

Los coeficientes para fósforo, mostraron muy poca respuesta a este nutriente cuando es aplicado sólo; sin embargo existe una interacción positiva y significativa entre N y P que se manifiesta en todas las estaciones de crecimiento. Este es el efecto más importante encontrado para este suelo.

En general, la producción de forraje de las pasturas naturales estudiadas respondió al agregado de N y P, fundamentalmente al primero. Además, la interacción positiva entre ambos elementos fue muy importante en la mayoría de las situaciones. La magnitud de la respuesta observada parece depender de la capacidad de crecimiento de la pastura en el período considerado y tiende a ser mayor en los períodos de mayor crecimiento. La mayor respuesta fue obtenida en el Litosol sobre Basalto, siendo éste el suelo de menor nivel inicial de fertilidad.

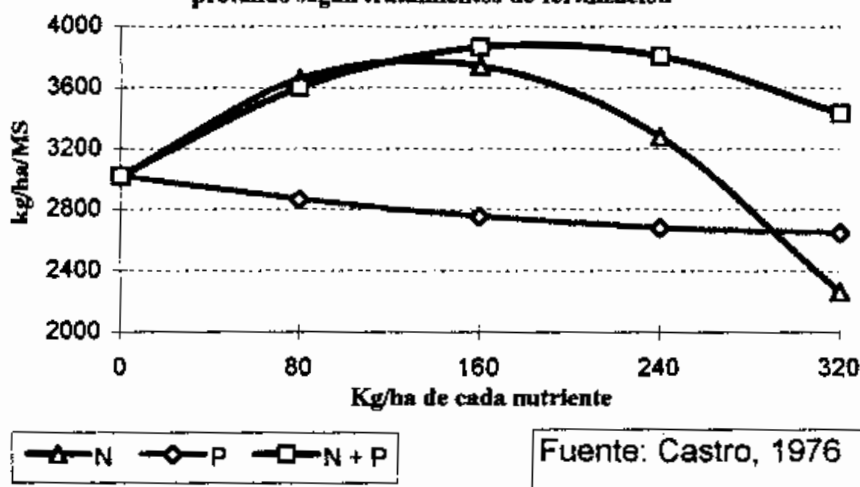
Los dos suelos sobre Basalto muestran una marcada estacionalidad en la producción de forraje y en la respuesta a la fertilización, alcanzándose los mayores niveles de producción en primavera y otoño. En el año del ensayo la primavera se presentó seca, siendo probablemente el factor más importante para explicar los niveles relativamente bajos de producción obtenidos en este período. El invierno fue la estación de crecimiento más crítica para la producción de los suelos considerados, poniendo de manifiesto la falta de especies nativas capaces de suministrar cantidades adecuadas de forraje en este momento. También influyen factores climáticos como bajas temperaturas y heladas, por los cuales la fertilización de campo natural no se expresa en un aumento de producción marcado. En las restantes estaciones el nivel de producción de forraje depende en mayor grado de las lluvias caídas, por lo que no es posible concluir en forma definitiva acerca de la estacionalidad de producción de éstos campos naturales con los datos presentes de respuesta a la fertilización.

Con respecto a la evaluación de la respuesta anual del campo natural a dosis NP y al número de aplicaciones de N, existió una respuesta anual significativa al agregado de N y P. En contraste, el fraccionamiento del N no presentó significación consistente en los diferentes sitios y las tendencias observadas no son muy claras.

El *Litosol* sobre Basalto muestra una tendencia desfavorable al fraccionamiento del nitrógeno. La *Pradera Negra* sobre Basalto manifiesta una tendencia desfavorable al fraccionamiento del N a bajas dosis, a dosis altas se observa un efecto contrario.

Debe considerarse que no se dispuso de medidas adecuadas para caracterizar otros factores, los cuales pueden haber sido aún más importantes que esta variable, tales como los efectos de la época de aplicación del fertilizante, el clima, el drenaje de los suelos, pérdidas por volatilización, ciclo biológico de las pasturas y los efectos del momento de corte. Por estas razones, no es posible sacar una conclusión definitiva sobre la mejor forma de distribución en el tiempo del fertilizante nitrogenado.

Figura 9. Producción de MS de una pastura de CN sobre Basalto profundo según tratamientos de fertilización



respecto al suelo profundo, se comprobó un efecto significativo ($P < 0,05$) de la residualidad de la fertilización nitrogenada sobre la variable en estudio, y de la fertilización fosfatada cuando éste nutriente es aplicado conjuntamente con nitrógeno (figura 9).

2.4. REGION BASALTICA

La Región Basáltica ocupa una superficie próxima a los cuatro millones de hectáreas conformando el 21 por ciento del territorio. El relieve desciende desde la Cuchilla de Haedo hasta las proximidades del Río Uruguay, con un paisaje de sierras en el contacto con Areniscas de Tacuarembó y pendientes de 10 a 12%, seguido de una zona de colinas y lomadas fuertes con pendientes del 6 al 12% (Millot *et al.*, 1987).

2.4.1. Suelos

Los suelos de ésta región se han originado a partir de rocas efusivas derramadas en varias capas en la era mesozoica. La profundidad de los mismos varía desde la roca desnuda hasta aproximadamente un metro diferenciándose en superficiales y profundos. Estos diferentes tipos de suelo se asocian en distintas proporciones dando lugar a un intrincado mosaico, con cambios notables en corta distancias.

Castro (1976) estudió el efecto residual de la fertilización con N y P sobre la producción anual de materia seca de pasturas naturales, sobre un Litosol de Basalto y un suelo de Basalto profundo (Pradera Negra). En el caso del primer suelo, el análisis estadístico no detectó diferencias significativas entre tratamientos. Con

La superficialidad de los suelos así como la rocosidad y/o pedregosidad sigue un orden decreciente en las principales unidades de suelos -Cuchilla de Haedo/Paso de los Toros, Queguay Chico, Curtina, Cuaró e Itapebí/Tres Arboles- variando de 75 a 85% del área en la primera, hasta 25-30% en la última.

2.4.1.1. Suelos superficiales

⇒ Litosoles

Son suelos con un perfil incompletamente desarrollado en los que en la mayoría de los casos el horizonte superficial, menor a 30 cm, se apoya sobre el C, o sobre la roca. Tienen baja capacidad de retención de agua y por lo tanto alto riesgo de sequía. El reducido espesor del suelo, la pedregosidad y el alto riesgo de erosión limitan el cultivo de estos suelos (Durán, 1985). Los dos tipos más importantes de Litosoles que se encuentran en la región son los Litosoles negros y los pardo rojizos, llamados así por su color.

A continuación se presentan las principales características de estos suelos:

Suelos	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	pH (en H ₂ O)	Mat. Org. (%)	CIC a pH7 (%)
Litosol Negro	10.9	42.3	46.8	6.2	6.6	44.4
Litosol Rojo	30.3	37.6	32.1	6.1	5.2	25.5

Fuente: Durán, 1985.

2.4.1.2. Suelos profundos

Los dos principales tipos de suelos medianamente profundos y profundos que se encuentran en la región basáltica, asociados a los suelos superficiales en proporciones variables, son Brunosoles y Vertisoles.

⇒ Brunosoles

Estos suelos poseen una adecuada profundidad para el desarrollo radicular y una alta capacidad de retención de agua. El contenido de materia orgánica es alto o medio en condiciones naturales, pero tiende a disminuir cuando son cultivados. Son suelos con niveles de fósforo bajos y además tienen una capacidad de fijación media de este elemento. El riesgo de erosión es bajo en condiciones de pastoreo, mientras que cuando son cultivados el riesgo varía con la topografía.

⇒ Vertisoles

Estos suelos se caracterizan por estar constituidos por arcillas expansivas (montmorillonita) y presentar un microrrelieve con montículos y depresiones generalmente de diámetro menor a un metro. La vegetación que se desarrolla en las depresiones está compuesta por especies más productivas y de mejor calidad que la de los montículos. Su uso es similar al de los Brunosoles. Tienen profundidad suficiente para el desarrollo radicular y alta capacidad de retención de agua. El contenido de materia orgánica es elevado en el horizonte superficial. El contenido de P es bajo, con una capacidad de fijación media. Los cambios en el contenido de humedad del suelo provocan fenómenos de contracción y expansión, debido a las arcillas expansivas, que causan un agrietamiento del suelo que modifican los mecanismos de pérdidas y ganancias de agua. El riesgo de erosión es reducido dada la ubicación topográfica de estos suelos (zonas planas).

Descripción de las principales características de estos suelos:

Suelos	Arena (%)	Limo (%)	Arcilla (%)	pH (en H ₂ O)	Mat. Org. (%)	CIC a pH7 (%)
Brunosol	13.1	46.3	40.6	6.2	6.9	35.8
Vertisol	6.8	36.7	56.5	5.9	8.7	57.1

Fuente: Durán, 1985.

2.4.2. Vegetación

La vegetación dominante en la región basáltica es herbácea, siendo los arbustos y árboles muy poco frecuentes; éstos últimos forman bosques en las orillas de arroyos y ríos. La vegetación herbácea está compuesta por una mayoría de especies de gramíneas perennes, las leguminosas nativas son muy poco frecuentes y se encuentran también un número elevado de especies de otras familias botánicas: compuestas, umbelíferas, ciperáceas, juncáceas, etc., pero con frecuencias reducidas, excepto en hábitats particulares.

En esta vegetación que recubre los campos hay especies subtropicales (C₄), con crecimiento en primavera, verano y otoño, y templadas (C₃), con crecimiento en otoño, invierno según la temperatura, y primavera. En general, las subtropicales tienen mayor frecuencia, por lo que se produce un déficit en la producción de forraje en invierno, cuando además actúan otros factores como la radiación solar y la temperatura (Berretta, 1994).

Meirelles y Riani en su trabajo de Tesis (1987) señalan la dificultad de hacer referencia a trabajos realizados en Uruguay para estos suelos, y tomarlos como antecedentes, debido más que nada a la diferencia en los objetivos planteados y la metodología empleada.

En la mayoría de estos trabajos el instrumento de corte utilizado es la causa de grandes diferencias en la cantidad total de materia seca cosechada. La mayor diferencia entre estos está dada por la diferente altura de corte. Corsi (1978) señala la importancia que tiene la cantidad de forraje remanente cuando se evalúa la productividad de los suelos sobre basalto en verano, ya que en esta estación sufren un marcado déficit hídrico, debida sobretodo a su escasa capacidad de almacenaje.

Dos Santos *et al.* (1984), comenzaron un ensayo en la U.E.D.P. "Molles del Queguay" (actualmente GLENCOE). A través de este trabajo se propuso determinar el efecto que producen diferentes dotaciones (0,6 y 0,8 UG/ha); dos sistemas de pastoreo (continuo y rotativo) y dos relaciones de lanar-vacuno (2:1 y 5:1) sobre la pastura y la performance animal. Para llevarlo a cabo fue elegida un área considerada como representativa de la región basáltica. Estos autores al presentar los resultados correspondientes al primer año de evaluación (1984/1985), realizan una descripción de la vegetación según tipos de suelos que se cita a continuación:

Suelos Profundos: caracterizados por un tapiz muy cerrado con abundancia de especies rizomatosas y estoloníferas, muy resistentes al pastoreo, en su mayoría perennes de ciclo estival, con escasas leguminosas y algunas malezas de alto porte (carqueja y mio-mio).

Los autores describen las especies dominantes, agrupadas según su % CEP, los datos se presentan a continuación:

Especies Dominantes

Schizachyrium spicatum

Carex sp.

Paspalum plicatulum

Paspalum notatum

Coelorhachis selloana

Andropogon ternatus

Bothriochloa laguroides

Aristida uruguayensis

Stipa setigera

Fuente: Dos Santos *et al.* (1982).

Ciclo

Perenne Estival

Perenne Invernal

Perenne Estival

Perenne Estival

Perenne Estival

Perenne Estival

Perenne Estival

Perenne Estival

Perenne Invernal

Suelos Superficiales: caracterizados por poseer un tapiz bajo a ralo, constituido por gramíneas de bajo rendimiento (anuales y perennes) y una alta proporción de malezas enanas.

Especies Dominantes	Ciclo
<i>Schizachyrium spicatum</i>	Perenne Estival
<i>Chloris grandiflora</i>	Perenne Estival
<i>Aristida venustula</i>	Perenne Estival
<i>Microchloa indica</i>	Perenne Estival
<i>Evolvulus sericeus</i>	Perenne Estival
<i>Paspalum plicatum</i>	Perenne Estival
<i>Oxalis sp.</i>	Perenne Invernal
<i>Richardia stellaris</i>	Perenne Estival
<i>Stenandrium trinerve</i>	Perenne Estival
<i>Botriochloa laguroides</i>	Perenne Estival
<i>Eragrostis neesi</i>	Perenne Estival
<i>Plantago myosurus</i>	Anual Invernal
<i>Piptochaetium stipoides</i>	Perenne Invernal

Fuente: Dos Santos *et al.* (1992).

Zunino y Baptista (1988) por su parte, encontraron dominancia de especies estivales en todos los suelos, sobretudo en los profundos, donde observaron un neto predominio de gramíneas perennes. En suelos superficiales señalan una tendencia menos marcada dada la alta frecuencia de malezas anuales y gramíneas de ciclo invernal encontrada. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Meirelles y Riani (1987) trabajando sobre los mismos suelos.

2.4.2.1. Cobertura del suelo

En el trabajo de Dos Santos *et al.* citado en el ítem anterior, los autores intentan establecer el grado de cobertura del suelo utilizando los conceptos de superficie recubierta por vegetales y superficie no recubierta por vegetación (SRNV), la cual incluye restos secos, piedra y suelo desnudo.

En los datos obtenidos la superficie recubierta por vegetales estuvo por encima del 79%, alcanzando valores máximos del 97%.

Los valores de la superficie no recubierta por la vegetación (SNRV) encontrados por los autores alcanzan sus máximos en verano e invierno para todos los tratamientos, siendo su principal componente la fracción restos secos (RS). Esta acumulación de restos secos es consecuencia del forraje producido no consumido por los animales.

Alvarez *et al.* (1990) en el segundo año de evaluación del ensayo instalado por Dos Santos *et al.* obtuvieron los resultados que se presentan en el **cuadro 11**.

Cuadro 11. Evolución de las frecuencias absolutas para restos secos, suelo desnudo, piedras y cubierta vegetal.

	Restos secos	Suelo desnudo	Piedras	Cubierta vegetal
Invierno 1985	10,8	6	0,2	83
Invierno 1986	9,2	5	0,6	85,2
Primavera 1985	3	4,2	0,2	92,8
Primavera 1986	7	5	0,4	87,6

Fuente: adaptado de Dos Santos *et al.*, 1992; Alvarez *et al.*, 1990.

2.4.2.2. Contribución específica por presencia de los tipos productivos

Este parámetro es la relación expresada en porcentaje entre la frecuencia centesimal de una especie y la frecuencia centesimal de todas las especies; ella traduce la participación de la especie en recubrimiento de la superficie del suelo (Berretta, 1994).

Dos Santos *et al.* (1992) encontraron el mayor porcentaje en contribución específica por presencia (CEP) en especies del tipo ordinario y duro con valores que oscilaron entre 55 y 70%, mientras que las especies de tipo productivo tierno y fino contribuyeron con porcentajes que van del 15 al 40%. El porcentaje de malezas encontrado (enanas, menores y de campo sucio) fue bajo y alcanzó sus mayores valores en invierno (hasta un 20%) como resultado del aumento de la frecuencia de especies de ciclo invernal como *Oxalis spp.* y *Eryngium nudicaule*. Los pastos finos, tuvieron una baja contribución en ambas estaciones (invierno y primavera).

Alvarez *et al.* (1990), mencionan que los pastos tiernos de mayor importancia fueron: *Andropogon ternatus*, *Coelorhachis selloana*, *Aristida uruguayensis*, *Paspalum notatum*, *Stipa setigera*, mientras que los pastos ordinarios encontrados con mayor frecuencia fueron: *Carex spp.*, *Schizachyrium spicatum*, *Paspalum plicatulum*. Las malezas enanas predominantes fueron: *Oxalis spp.*, *Evolvulus sericeus*, *Dichondra spp.*

A continuación se presenta la evolución de los tipos productivos encontrada por estos autores para dos años de ensayo.

Cuadro 12. Evolución de la contribución al recubrimiento del suelo (%) según los tipos productivos predominantes, promedio de cinco tratamientos.

	Fino	Tierno	Ordinario	Malezas
Invierno 1985	0,98	34,44	52,46	12,12
Invierno 1986	1,06	42,69	44,24	12,01
Primavera 1985	1,51	43,15	45,59	9,81
Primavera 1986	1,57	49,38	39,58	9,47

Fuente: adaptado de Dos Santos *et al.*, 1992 y Alvarez *et al.*, 1990.

En el siguiente cuadro se presenta un análisis de la vegetación realizado sobre tres suelos de Basalto en un campo virgen en el departamento de Salto. El muestreo fue realizado el 5 de febrero de 1985.

Cuadro 13. Análisis de la vegetación en los distintos tipos de suelos y superficie no recubierta por la vegetación (SNRV).

Suelos	TIPOS PRODUCTIVOS (%)			CICLO ANUAL (%)		CICLO DE VIDA (%)		SNRV
	Finos + tiernos	Ordin. + duros	Malezas	Estivales	Invernales	Anuales	Perennes	
Sup. Negro	15,4	73,1	11,5	100	0	0	100	75,0
Medio	55,2	39,5	5,3	86,8	13,2	0	100	67,0
Profundo	52,8	36,1	11,1	95,8	4,2	5,5	94,5	39,0

Fuente: adaptado de Meirelles y Riani (1987).

2.4.2.3. Tipos vegetativos

Dos Santos *et al.* (1992) encontraron dominancia de las especies perennes en el tapiz con valores de CEP nunca inferiores a 92%, mientras que las especies anuales alcanzaron sus mayores valores de CEP en invierno con un 4%.

2.4.2.4. Ciclo anual

Al agrupar las especies por ciclo aparece un gran predominio de estivales, con valores de porcentaje de CEP que van desde 53 a 90%, las más importantes son: *Schizachyrium spicatum*, *Andropogon ternatus*, *Paspalum plicatulum*, *Bothriochloa laguroides*, *Paspalum notatum*, *Coelorhachis selloana*, *Aristida uruguayensis*. Juntas

aportan promedialmente el 77% de la CEP con que contribuyen las especies estivales (Dos Santos *et al.*, 1992).

Las especies invernales por su parte representan entre el 8 y el 43% de CEP, siendo las más importantes: *Carex spp.*, *Stipa setígera* y *Piptochaetium stipoides*.

A continuación se presentan los datos del segundo año de ensayo.

Cuadro 14. Contribución estacional a la vegetación (%).

	Estival	Invernal	Indefinido
Invierno-86	63,54	32,24	4,52
Primavera-86	77,95	21,44	0,60

Fuente: Alvarez *et al.* (1990).

Al comparar los datos correspondientes a ambos ensayos (85-86) no aparecen grandes diferencias en las frecuencias, lo cual puede ser en parte atribuido al hecho de que un período de dos años puede ser poco tiempo para que se manifiesten efectos debido a los tratamientos.

Los autores afirman que la poca variación observada en los tres parámetros (tipo productivo, ciclo anual y tipo vegetativo) a través de las estaciones son muestras de la gran estabilidad que presentan estos tapices.

2.4.2.5. Digestibilidad

Dos Santos *et al.* 1992, presentan datos de digestibilidad de la materia orgánica promedio anual ponderado de las fracciones verde y seco que oscilan entre 23.9 y 41.4% para sistemas de pastoreo rotativo y de 25.5 y 38.0% para el sistema de pastoreo continuo. Los autores sostienen que los valores de digestibilidad son bajos debido al hecho de que el porcentaje de la fracción restos secos casi siempre estuvo por encima del porcentaje de la fracción verde.

Los valores de digestibilidad de la fracción verde se presentan en el **cuadro 15**.

Cuadro 15. Digestibilidad de la materia orgánica de la fracción verde (%) para los tratamientos rotativo y continuo.

	VERANO	OTOÑO	INVIERNO	PRIMAVERA
ROTATIVO	50,8	44,6	43,1	45,5
CONTINUO	52,9	48,8	42,9	41,5

Fuente: Dos Santos *et al.*, 1992.

Crempien (1983) indica que existe poca información sobre la calidad de las pasturas naturales de la región Basáltica, y cita a Jaime García que obtuvo valores de digestibilidad estacionales del orden de 55%, 58%, 62% y 50% para otoño, invierno, primavera y verano respectivamente.

2.4.3. Producción de forraje

2.4.3.1. Crecimiento

⇒ Método de jaulas de exclusión

Los trabajos nacionales revisados que evalúan la producción de forraje utilizan en general el método de jaulas de exclusión como forma de evaluar el crecimiento de pasturas. El crecimiento obtenido a través de este método sobrestima el rendimiento real registrado en el conjunto de la zona o potrero, ya que la defoliación y el pisoteo deprimen el crecimiento y el microclima que se crea dentro de las jaulas lo favorece. Esta sobre estimación puede subsanarse en parte al cambiar las jaulas de posición en los distintos períodos, de manera de evitar el efecto negativo del excesivo crecimiento del forraje sin cosechar. La realización de los cortes a ras del suelo determina que la producción de forraje estimada sea mayor a la que realmente tienen acceso los animales.

En el **cuadro 16** se presenta los datos de crecimiento acumulado por estación.

Cuadro 16. Crecimiento estacional en Kg Ms/ha.

Tratamiento	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Anual
Rotativo *	2125	675	617	1242	4659
Continuo **	1764	633,5	666,5	1433,5	4497,5

* Promedio para los tratamientos en pastoreo rotativo (carga 0.8 UG/ha).

**Promedio para los tratamientos en pastoreo continuo (carga 0.8 UG/ha).

Fuente: adaptado de Alvarez *et al.* (1990).

La alta producción que se observa en verano puede ser explicada por haberse considerado un período más prolongado que los restantes (131 días). Esto por su parte determina una lógica disminución en el crecimiento acumulado de la pastura para el otoño.

Dos Santos *et al.*, (1992) obtuvieron producciones anuales de 4660 y 5320 kg/ha de MS, mínimo y máximo respectivamente. Con tasas de crecimiento diario de 13.3 kg/ha/día (verano), 17.7 kg/ha/día (otoño), 9.8 kg/ha/día (invierno) y 13.8 kg/ha/día (primavera).

Berretta *et al.* (1996), evaluando pasturas naturales de la misma Unidad, encontraron valores de 3203,7 a 6645,9 kgMS/ha/año para suelos profundos, resaltando la importancia del efecto año, especialmente del régimen de lluvias. Los datos presentados en el **cuadro 17** corresponden al promedio de evaluaciones del período 1980 a 1994 registrados en la U.E.D.P. “Molles del Queguay” (GLENCOE).

Cuadro 17. Distribución estacional de crecimiento entre los años 1980-1994.¹

	Verano	Otoño	Invierno	Primavera	Anual
kg /MS/ha por estación	1550,2	1000,3	674,5	1350,8	4575,8
Distribución estacional (%)	33,3	21,5	15,1	30,1	
Tasa de crecimiento Kg de MS/ha/día	17,22	10,87	7,33	14,84	12,56*

* Promedio anual

Meirelles y Riani (1987), sobre suelos de Basalto profundo obtuvieron valores de 4428 kg/ha a 5542 kg/ha en un año de evaluación. Continuando con el mismo trabajo, Zunino y Baptista (1988), obtuvieron los siguientes datos de producción de forraje: 3288 y 4360 kg/ha/año, mínimo y máximo respectivamente.

Estos autores estudiaron la respuesta en la productividad anual de pasturas naturales de suelos de Basalto frente a tres frecuencias de corte (30, 60 y 90 días), utilizando el método de jaulas móviles.

Los resultados obtenidos indican que la productividad anual del corte mensual es superior a la de los restantes tratamientos en el suelo superficial negro, mientras que en los suelos rojo (superficial), medio, ladera y bajo no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (**cuadro 18**). Estos autores indican que el tratamiento de cortes cada 30 días permitió a la pastura alcanzar un IAF óptimo o muy cercano al mismo, mientras que, en los tratamientos de 60 y 90 días de descanso, la masa vegetal tuvo una menor eficiencia. Este efecto del período de descanso es más acentuado en suelos profundos de alta productividad. En suelos con menores rendimientos podrían permitirse intervalos mayores sin que el crecimiento se reduzca marcadamente. Esto se debe fundamentalmente a que el período necesario para que la pastura alcance el IAF óptimo es más prolongado que el requerido por pasturas desarrolladas en suelos más productivos.

¹ Berretta, com. pers., 1998.

Cuadro 18. Producción anual de forraje en cinco suelos de Basalto (Salto).

Tipo de Suelos	Frecuencia de cortes					
	30 días		60 días		90 días	
	84 / 85*	86 / 87**	84 / 85	86 / 87	84 / 85	86 / 87
Sup. Rojo	3968,1	2955,0	3610,0	2905,0	3865,6	2723,2
Sup. Negro	4085,0	4106,9	3531,2	3151,9	4010,0	2781,9
Medio	4987,5	3943,0	4359,2	3686,8	3906,9	3430,2
Ladera	6220,5	4360,1	5016,4	4201,9	4962,5	3544,6
Prof. Bajo	5420,0	4007,5	4256,9	3288,7	4417,2	3978,1

* Meirelles y Riani, 1987.

** Zunino y Baptista, 1988.

Cuando una pastura crece libremente, su rendimiento aumenta hasta un máximo, que varía de acuerdo a las especies que componen ese tapiz. A partir de dicho punto, puede ocurrir una estabilización o incluso una disminución, en el volumen de materia seca presente (Millot *et al.*, 1987). El índice de área foliar está definido por la relación entre el área de hojas de una pastura y el área del suelo que la misma ocupa. El valor de este parámetro que permita alcanzar los más altos rendimientos resultará de un compromiso entre abundantes estratos de hojas fotosintéticamente eficientes que intercepten toda luz incidente y el gasto creciente de respiración de las hojas viejas sombreadas.

El crecimiento de una pastura es más acelerado cuanto mayor es la biomasa acumulada, hasta interceptar el 95-100% de la energía solar incidente. Por encima de este punto, la presencia de nuevas hojas en la parte superior del tapiz resulta en un aumento del sombreado de los estratos inferiores que se tornan paulatinamente más ineficientes, además por la presencia de hojas viejas y/o muertas. Esto puede resultar en una estabilización e incluso caída en la tasa de crecimiento, cuando se alcanzan altos valores de Índice de Área Foliar.

Si bien en cuanto a la productividad, el corte cada treinta días se manifiesta como favorable, su efecto sobre la persistencia de las especies más productivas podría ser adverso si se toma en cuenta la marcada disminución de la floración. Este factor podría implicar una reducción en la frecuencia de estas especies.

Zunino y Baptista (1988) teniendo en cuenta ventajas y desventajas de los diferentes tratamientos estimaron conveniente un período de descanso de la pastura de 30 a 60 días, coincidiendo con lo planteado por Meirelles y Riani.

Carámbula (1978) obtuvo producciones anuales en Basalto profundo de 3800 kg/MS/ha y 800 kg/MS/ha para basalto superficial. Estos datos de producción de MS son inferiores a los obtenidos por otros autores trabajando sobre similares tipos de suelo. Estas diferencias son atribuibles en gran medida al método de medición utilizado (la altura de corte varía según la herramienta utilizada para cosechar el forraje). También de acuerdo con el efecto del año, pueden existir variaciones en la producción de MS/ha (Termezana, 1978).

Castro (1980) utilizando el método de jaulas de exclusión móviles en la Unidad Experimental "Molles del Queguay" obtuvo los siguientes datos de producción (período 1979-1980) de un suelo profundo:

	Primavera	%	Verano	%	Otoño	%	Invierno	%	Total
Profundo	1361	42	489	15	907	28	483	15	3240
Sup. Rojo	1027	42	195	8	709	29	513	21	2444
Sup. Negro	1209	41	324	11	914	31	501	17	2948

Fuente: Castro, 1980.

2.4.3.2. Forraje disponible

En los ensayos instalados sobre pasturas naturales realizados a nivel nacional que incluyen animales se utiliza generalmente el parámetro forraje disponible. Este guarda una relación cuantitativa con el comportamiento animal, al incidir directamente sobre la cantidad de forraje a consumir y una relación cualitativa por las posibilidades de seleccionar una dieta más hojosa y digestible, cuanto mayor sea la disponibilidad.

En general la relación entre forraje disponible, consumo y comportamiento animal es curvilínea, ocurriendo aumentos decrecientes de dichos parámetros frente a cada aumento en el forraje disponible hasta un máximo, que generalmente ocurre en disponibilidades 3 o 4 veces el volumen de forraje consumido, siendo más estrecha esta relación cuando se considera un forraje verde (Hodgson, 1984; citado por Millot *et al.*, 1987).

La composición de una pastura puede ser un factor relevante en el comportamiento de animales a pastoreo. Las distintas especies presentes en un tapiz, así como la relación entre las mismas, será un factor determinante del rendimiento total y estacional de forraje. A medida que se avanza en el ciclo de maduración de una pastura, la calidad del forraje disminuye debido a traslocación de carbohidratos y proteínas hacia inflorescencias y frutos, aumento de la lignificación de las paredes celulares y disminución de la relación hoja/tallo fundamentalmente en la fracción gramínea.

A medida que aumenta la altura del perfil bajo pastoreo se incrementa paulatinamente el consumo de forraje, aunque pueden existir limitaciones al consumo en pasturas muy cortas o muy altas. En ambos extremos, los animales tendrán problemas de consumo por dificultades de aprehensión del forraje, aunque es mayor el beneficio que la desventaja de pasturas altas (Hodgson, 1981; citado por Millot *et al.*, 1987).

Dos Santos *et al.* (1992) y Alvarez *et al.* (1990), presentan datos de cortes de disponibilidad a la entrada de los animales al potrero en pastoreo rotativo. Los valores corresponden a dos años consecutivos de ensayo. Estos autores encontraron que los tratamientos bajo pastoreo rotativo mantuvieron mayores disponibilidades de forraje durante los meses de otoño e invierno respecto a los tratamientos bajo pastoreo continuo (cuadro 19). Este hecho es atribuido a que las pasturas acumulan más forraje con largos periodos de descanso (8 semanas), permitiendo diferir el forraje hacia las estaciones siguientes.

Cuadro 19. Disponibilidad estacional y anual de materia seca. (Kg de MS/há).

Años	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	Prom. Anual
1984/1985	3097	2938	1912	2122	2517
1985/1986	2396	2723	2192	2847	2539

Fuente: adaptado de Dos Santos *et al.* (1992) y Alvarez *et al.* (1990).

Las altas disponibilidades que se registraron en todos los tratamientos serían consecuencia de: una alta disponibilidad al inicio del ensayo; un régimen de lluvias y temperaturas que no fueron limitantes para el crecimiento vegetal y a que las dotaciones utilizadas no fueron lo suficientemente altas como para consumir todo el forraje ofrecido (0,6 y 0,8 UG/ha).

Alvarez *et al.* (1990), afirman que en el sistema de pastoreo rotativo los registros de disponibilidad de materia seca están por encima del pastoreo continuo a lo largo de todo el año y sostienen que esto puede deberse a que las pasturas acumulan más con largos periodos de descanso (60 días).

Similares resultados obtuvieron Miller *et al.* (1986), comparando ambos sistemas de pastoreo, en campo natural sobre cristalino. Estos autores afirman que la dotación se encontró por debajo de la que diferentes autores llaman "dotación óptima", en la cual la producción por hectárea esta cerca del máximo y la producción individual suficientemente elevada y cerca de su potencial máximo. Es en este punto, se asegura el consumo del 80 al 90% del forraje presente, por lo que los animales dispondrían de forraje homogéneo, joven y sin acumulación de restos secos, lo que le da una buena calidad a la pastura.

El crecimiento inicial y los subsecuentes rebrotes de un tapiz son fuertemente influidos por la frecuencia y severidad de las defoliaciones a que lo someten los animales, así como la interacción con otros componentes del ecosistema, fundamentalmente clima y suelo.

Desde el punto de vista de la pastura, el rebrote luego de una defoliación, será el resultado de dos factores de importancia variable de acuerdo a características de las distintas especies que la componen: nivel de sustancias de reserva y área foliar remanente. En algunas especies es fundamental el mantenimiento de un nivel mínimo de reservas que asegure el rebrote entre defoliaciones pues el tejido fotosintéticamente activo remanente es escaso. Por otra parte existen especies que por sus características fisiológicas y hábito, poseen un mayor nivel de reservas en sucesivas defoliaciones.

El crecimiento y la actividad radicular disminuyen o se detienen luego de cada defoliación, incidiendo directamente en la capacidad de la pastura para absorber minerales y humedad, haciéndola más susceptible a períodos de seca (Milot *et al.*, 1987).

2.4.4. Calidad del forraje

Con el objetivo de realizar estimaciones de la calidad del forraje producido en los ensayos de evaluación, se utiliza usualmente el parámetro porcentaje de materia seca. En algunos ensayos puede aparecer también la determinación de la fracción verde de las muestras para cumplir con el mismo objetivo.

2.4.4.1. Porcentaje de materia seca

Este parámetro se evalúa en la mayor parte de los ensayos de pasturas realizados a nivel nacional, tanto en las determinaciones realizadas dentro de jaulas de exclusión como en las efectuadas en base a disponibles y rechazos.

Meirelles y Riani (1987), reportan porcentajes de MS de 43.3 en otoño, 50.3 en invierno, 34.7 en primavera y 61.4 en verano en muestras obtenidas dentro de jaulas de exclusión instaladas en suelos de basalto profundo.

2.4.4.2. Fracción verde

Alvarez *et al.* (1990) enfocan el estudio de la calidad de la pastura a través de la determinación del porcentaje de forraje verde. Asumen que aquellos muestras que presentan un alto porcentaje de verde presentan mayor digestibilidad, mientras que una mayor presencia de restos secos determina una disminución de la misma. Los resultados obtenidos se observan en el **cuadro 20**.

Cuadro 20. Porcentaje de la fracción verde según el sistema de pastoreo.

	Verano	Otoño	Invierno	Primavera
Rotativo	31,49	37,24	20,27	40,34
Continuo	30,51	38,20	19,03	37,16

Fuente: Alvarez *et al.* (1990).

Los autores concluyen que la calidad de la pastura evoluciona según el ciclo productivo de las especies, observándose una predominancia de estivales en todas las estaciones. El mayor porcentaje de la fracción verde en primavera es consecuencia de la elongación floral de las especies.

El alto porcentaje de restos secos que se verifican en invierno es en parte producto de la senescencia de órganos vegetales y plantas como resultado del efecto de las bajas temperaturas (heladas) registradas en esta estación. Por otro lado inciden también los remanentes de forraje acumulados en estaciones anteriores, compuestos generalmente por plantas de ciclo estival.

2.4.5. Producción animal

La dotación o número de animales por hectárea, es uno de los factores más importantes en determinar el rendimiento y estabilidad de pasturas y la productividad animal. El comportamiento individual y la producción por ha, guardan una relación prácticamente lineal con la dotación en el rango de valores de relevancia económica. (Morley, 1978; citado por Millot *et al.*, 1987)

Existen además diferencias importantes en la respuesta al aumento de carga debidas a la duración del período de pastoreo y al potencial animal.

Altas cargas resultan en un mayor grado de utilización del forraje en oferta, con un alto consumo de energía por ha, aunque a nivel individual sea menor. En muchos casos, la mayor productividad animal por ha sería consecuencia de la mayor utilización, y no necesariamente de más altos rendimientos de forraje.

En general un buen manejo del pastoreo, será aquel que asegurando un rebrote rápido y continuo de la pastura, resulte en una alta utilización de forraje con buen comportamiento animal.

Pasturas heterogéneas con presencia de especies altas y postradas y con distinto grado de palatabilidad por el ganado, como algunas de las pasturas naturales del país, resultarían favorecidas por un manejo rotativo que al concentrar cargas instantáneas más o menos altas, promueven una utilización mayor, más rápida y uniforme, disminuyendo la selectividad animal y consumo diferencial de especies.

Entre los distintos objetivos en la implementación de los manejos rotativos se encuentran: favorecer la persistencia de la pastura, aumentar la capacidad de carga y productividad animal (Milot *et al.*, 1987).

Sin embargo, los resultados obtenidos por los diversos investigadores no son plenamente coincidentes en este aspecto. A nivel nacional Dos Santos *et al.* (1992) obtuvieron ganancias anuales promedio de 406 grs./animal/día en condiciones de pastoreo rotativo a una carga de 0.8 UG/ha y una relación lanar-vacuno de 5:1. En general, los autores no encontraron diferencias importantes para las diferentes dotaciones utilizadas (0.6 - 0.8 UG/ha), ni para las distintas relaciones lanar-vacuno (5:1 - 2:1), ni entre pastoreo continuo y rotativo. En el cuadro 21 se presentan las ganancias diarias por estación para los dos sistemas de pastoreo con diferentes cargas.

Cuadro 21. Ganancias de peso vivo de vacunos (grs./día).

	Tratamiento*		
	1	2	3
Verano	182	543	522
Otoño	348	344	125
Invierno	56	-40	-37
Primavera	721	666	715

* (1) Pastoreo continuo; 0.6 UG/ha; rel. lanar - vacuno 2:1

(2) Pastoreo continuo; 0.8 UG/ha; rel. lanar - vacuno 5:1

(3) Pastoreo rotativo ; 0.8 UG/ha; rel. lanar - vacuno 5:1

Estas ganancias diarias representan un aumento de peso promedio por animal de aproximadamente 120 ± 9 kg en un período de un año (Dos Santos *et al.*, 1992).

Continuando con este ensayo Alvarez *et al.* (1990), tampoco encontraron diferencias en ganancias de peso al comparar los sistemas de pastoreo. Los autores atribuyen esto al hecho de que las dotaciones empleadas (0.8 UG/ha) pueden haber sido demasiado bajas para la acumulación de forraje presente al inicio del ensayo. Esta

condición se mantuvo a lo largo del mismo como consecuencia de las condiciones climáticas favorables para el crecimiento de las pasturas.

Miller *et al.* (1986), trabajando con novillos de 2-3 años en campo natural sobre cristalino, presenta resultados similares, destacando la ausencia de diferencias en los pesos vivos de los novillos, para ambos sistemas de pastoreo.

Alvarez *et al.* (1990) comparando dos cargas (0.6 y 0.8 UG/ha) en pastoreo continuo y con la misma relación lanar-vacuno 2:1, concluyeron que los novillos tienen la misma performance individual en los dos tratamientos, lo cual sugiere una mayor ganancia por hectárea con la carga alta.

En el **cuadro 22** se presentan resultados promedios de la producción de carne para dos sistemas de pastoreo y dos cargas sobre suelos de Basalto, datos provenientes de ensayos realizados en 1985 y 1986.

Cuadro 22. Producción de carne vacuna y equivalente.

Sistema de pastoreo	Dotación UG/ha	Carne vacuna/ha		Carne equivalente/ha	
		Año 1985	Año 1986	Año 1985	Año 1986
Continuo	0,6	68,04	53,4	90,94	71,01
Rotativo	0,8	53,45	57,9	85,95	83,08
Continuo	0,8	69,76	55,9	104,09	88,65

Fuente: adaptado de Alvarez *et al.*, 1990 y Dos Santos *et al.*, 1992.

Berretta (1994), presenta datos promedio de cuatro años de producción de carne en un rodeo de cría (kg de ternero/vaca), que se sitúan en el orden de los 97,5 kg/vaca/año, correspondientes a ensayos instalados sobre suelos situados en la transición entre las Unidades: Queguay Chico e Itapebí/Tres Arboles, de la región Basáltica.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. LOCALIZACION Y PERIODO DE EVALUACION

Los resultados obtenidos corresponden al primer año de evaluación de un ensayo instalado en la Unidad Experimental GLENCOE dependiente del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIA), ubicada en el centro del departamento de Paysandú, en la zona de Guarapirú (22 km. al sur del km. 110 de la Ruta 26, 9ª sección Policial).

El período de evaluación tuvo una duración de un año, la fecha de inicio del ensayo fue el 15 de junio de 1995.

3.2. CLIMA

3.2.1. Régimen de heladas

La fecha media de la primera helada para la región corresponde al 20 de junio, estando los datos expuestos a una desviación típica que oscila entre los 15 y 20 días. La última helada se constata entre el 1º de agosto y el 1º de setiembre, encontrándose una desviación típica del orden de 20 a 30 días. El período libre de heladas sería mayor a los 270 días para el conjunto de la región. El total medio de días con heladas sería de 20 a 30 (Orecchia, 1981).

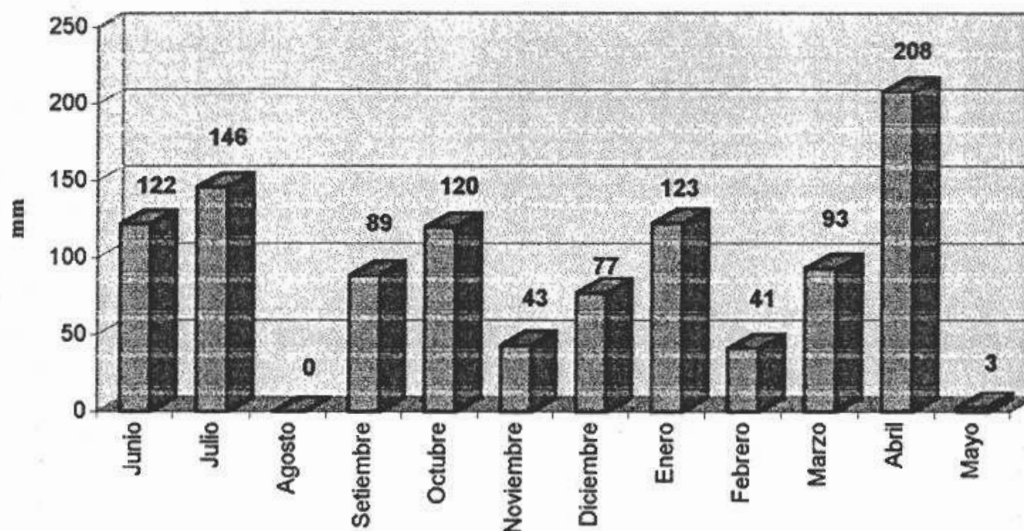
3.2.2. Condiciones hídricas

La región tiene una media anual de lluvias que oscila entre 1200 y 1300 mm.

Según Corsi (1978), las asociaciones de suelos en la región basáltica, con predominancia de suelos superficiales, poseen una capacidad de almacenamiento de agua inferior a 100 mm, característica que hace que esta región tenga un balance hídrico negativo durante períodos de duración muy variable. Este fenómeno hace que el riesgo de sequía sea muy importante.

Para el año 1995 el registro total de lluvias fue de 1050,5 mm y de 1034,2 mm para el año 1996. Si consideramos el período del ensayo (junio de 1995 a mayo de 1996), las precipitaciones durante esos 12 meses totalizaron 1064,2 mm y se distribuyen como se observa en la **figura 10**.

Figura 10. Precipitación mensual. Período junio 95-mayo 96. (GLENCOE)



3.3. SUELOS

Los suelos comprendidos en el área sobre la cual se llevó a cabo el trabajo pueden considerarse como representativos de la región. Según la clasificación de la Dirección de Suelos y Fertilizantes (MAP) la estación experimental se encuentra ubicada dentro de la unidad de mapeo "Queguay Chico" que cubre un área de 634.000 has.

El ensayo se instaló sobre una ladera con pendiente suave hacia el arroyo "Molles de Queguay", las pasturas naturales desarrolladas en el área del ensayo varían en cuanto a su composición botánica y productividad dependiendo de los suelos presentes.

A continuación se presentan datos obtenidos por Dos Santos *et al.* (1992) de las principales características de los suelos de este potrero. Arbitrariamente se consideró suelo superficial a aquel cuya profundidad no superaba los 20 cm. que correspondería a la zona 1 CONEAT, subzona 1.1, grupos 1.10, 1.11 y 1.12. Los suelos medios presentan entre 20 y 40 cm. de profundidad y corresponden a la zona 1 CONEAT, subzona 1.2. Los suelos profundos corresponden a aquellos con profundidad superior a 40 cm. clasificados dentro de la zona 12 CONEAT, subzona 12.2.

Descripción de suelos según profundidad (%).

Subpotrero	Superficial	Medio	Profundo
1	7,5	81,6	10,9
2	0,3	42,7	57,0
3	2,2	24,3	73,5
4	0,7	26,4	72,9

Fuente: adaptado de Dos Santos *et al.* (1992).

Análisis de suelos.

Subpotrero	pH (en agua)	% MO	Bray 1	Resinas	K (meq/100 grs)
1	5,8	6,5	2,0	1,8	0,48
2	5,7	6,3	2,0	2,3	0,49
3	5,9	6,9	2,6	2,3	0,52
4	5,8	5,9	2,2	1,4	0,46

Fuente: adaptado de Dos Santos *et al.* (1992).

El análisis fue realizado tomando muestras de los primeros 20 cm de suelo de cada una de las zonas prefijadas por subpotrero.

Dada la variabilidad existente entre los subpotreros, se dividió cada uno de ellos en dos y así poder sortear los cuatro tratamientos en los dos bloques resultantes.

3.4. TRATAMIENTOS

Alvarez *et al.* (1990), en su tesis realizada en este mismo potrero "La Reserva", concluyeron que la alta cantidad de materia seca rechazada se debe a que la dotación utilizada resultó insuficiente para consumir la totalidad de la oferta de forraje (0.6 y 0.8 UG/ha).

En el ensayo se consideraron tres tratamientos con fertilización N-P a diferentes cargas (0.9, 1.2 y 1.5 UG/ha) y un tratamiento testigo sin fertilización con una carga de 0.9 UG/ha. Para lograr las distintas cargas se ajustó el área de las parcelas y los tratamientos fueron adjudicados al azar dentro de cada bloque.

3.4.1. Fertilización N-P . Fuente y dosis utilizada

En los tratamientos con fertilización (igual dosis para todos) fueron aplicados al voleo 200 kg/ha de urea (92 unidades de N) y 200 kg/ha de superfosfato común (42 unidades de P), fraccionando una mitad a mediados de marzo y la otra en agosto.

Se realizó una aplicación de 100 kg/ha de urea y 100 kg/ha de superfosfato común en marzo de 1995 y una segunda aplicación de igual dosis en agosto. En 1996 también se realizaron dos aplicaciones, con las mismas dosis y en las mismas fechas con el objetivo de futuras evaluaciones.

3.4.2. Diseño experimental y método de pastoreo

El diseño experimental utilizado fue de bloques al azar con dos repeticiones.

A continuación se presenta un esquema del ensayo:

Bloque	Parcelas			
I	1 Testigo 0.9 UG/ha	3 <i>Fertilizado</i> 1.2 UG/ha	5 <i>Fertilizado</i> 0.9 UG/ha	7 <i>Fertilizado</i> 1.5 UG/ha
II	2 <i>Fertilizado</i> 0.9 UG/ha	4 <i>Fertilizado</i> 1.5 UG/ha	6 Testigo 0.9 UG/ha	8 <i>Fertilizado</i> 1.2 UG/ha

Las parcelas de cada tratamiento fueron subdivididas en cuatro subparcelas lo cual permitió implementar un sistema de pastoreo rotativo con 14 días de ocupación y 42 de descanso.

3.4.3. Categoría animal utilizada

En este primer año de evaluación, se utilizaron novillos Hereford de 2-3 años, que salieron del ensayo el 21 de junio de 1996. Se conformaron al azar grupos de tres animales (24 novillos en total) que pastorearon las parcelas correspondientes a cada tratamiento. Su estado sanitario fue controlado a través de análisis coprológicos, dosificándolos cuando se consideró necesario.

3.4.4. Métodos de evaluación y parámetros analizados

En la evaluación de crecimiento o rebrote de la pastura se utilizó el método de jaulas móviles. En las subparcelas 2 y 4 fueron colocadas dos jaulas en cada una, para cada tratamiento en los dos bloques. Al comienzo del período (de 28 días c/u) se realizó un corte de limpieza en una superficie algo mayor a un metro cuadrado, sobre la cual se colocó la jaula. Al finalizar el período mencionado se cortan dos submuestras, con tijera eléctrica, de 0.2 x 0.5 dentro de cada jaula, lo que determina una superficie de 0.4 m²; superficie a partir de la cual se hacen las estimaciones por hectárea. En cada rectángulo se realizaron tres mediciones de altura de pastura con el objetivo de determinar posteriormente las correlaciones existentes entre altura y disponibilidad del forraje. Las medidas obtenidas fueron promediadas para cada tratamiento, de forma de llevar a cabo los cálculos correspondientes.

Para determinar el forraje disponible al comienzo de cada pastoreo y el rechazo luego del mismo, se utilizó tijera eléctrica cortando tres bandas de 3 metros de longitud por el ancho de la tijera (0.75 cm), en las subparcelas correspondientes. Cada uno de estos cortes determina un área de 2.25 m², a partir de cuyo promedio se realizaron las estimaciones por hectárea de disponibilidad o rechazo de forraje para cada subparcela. En cada banda se tomaron tres medidas de la altura del forraje. A los efectos de realizar los cálculos se utilizaron las alturas promediadas por tratamiento. Estos muestreos se realizaron en cada cambio de los novillos de subparcela o sea cada 14 días.

En las muestras se determinó el peso verde y el peso seco (secado en estufas de circulación de aire forzado a 60° C.), obteniéndose de esta forma el porcentaje de materia seca. Las muestras fueron molidas y enviadas al laboratorio de INIA La Estanzuela (Sección Suelos) para realizar las determinaciones de porcentaje de N y contenido de P (mg P/g).

Con respecto a la producción animal, ésta fue evaluada con pesadas de los novillos cada 28 días, posteriormente se calcularon las ganancias diarias y totales de peso durante el período de evaluación. Con éstos datos se calculó la producción de carne por hectárea para cada tratamiento.

3.5. ANALISIS ESTADISTICO

Para el análisis estadístico se separaron los datos en tres grupos : un primer grupo correspondió a los valores de forraje disponible (DISP) y forraje rechazado

(RECH) expresados en kg MS/ha y en cm de altura (H) por subparcelas dentro de cada tratamiento.

El segundo grupo de análisis estuvo integrado por los valores de crecimiento de forraje (J) medido a través del método de jaulas móviles, expresado en kg MS/ha y en cm de altura (H) y el último grupo incluye registros de ganancias diarias de peso de los animales (GAN) en kg/día.

3.5.1. Disponibles y rechazos de forraje

En primera instancia se realizó un análisis de los principales indicadores de dispersión de los datos a través del procedimiento UNIVARIATE (SAS, 1988).

Se efectuó un análisis de componentes de varianza con el objetivo de cuantificar la magnitud de la variación debida a variables conocidas (VARCOMP).

Para este primer grupo se realizó un análisis de varianza a través del procedimiento ANOVA (SAS, 1988) buscando determinar la existencia de efectos del mes de registro, tratamientos y bloques sobre el forraje disponible y rechazado medido a la entrada y a la salida de los animales respectivamente, así como interacciones de hasta segundo orden entre las variables. El mejor modelo explicativo encontrado para este grupo es el siguiente :

$$\text{DISP} = \mu + \alpha (\text{MES}) + \beta (\text{TRAT}) + \delta (\text{BLOQUE}) + \epsilon$$

Para la variable altura se llevó a cabo un análisis similar cuyo modelo es :

$$\text{H} = \mu + \alpha (\text{MES}) + \beta (\text{TRAT}) + \delta (\text{BLOQUE}) + \epsilon$$

donde : μ es la media de la muestra

α es el coeficiente que relaciona el mes con la variable dependiente

β es el coeficiente que relaciona el bloque con la variable dependiente

δ es el coeficiente que relaciona el tratamiento con la variable dependiente

ϵ es el error experimental

Dentro de este grupo de análisis se estudió el efecto de las mismas variables sobre el porcentaje de MS de las muestras, utilizándose un modelo similar.

Luego de efectuado el análisis de varianza fueron realizados contrastes de medias para las variables que presentaron efecto significativo en el modelo. Este análisis fue realizado a través del procedimiento MEANS (SAS, 1988), mediante la prueba de Duncan.

También se buscó detectar la existencia de asociaciones entre variables a través del procedimiento CORR (SAS, 1988)

3.5.2. Crecimiento

Para este grupo de datos se utilizaron los mismos procedimientos de análisis descriptos para el grupo anterior.

El mejor modelo explicativo encontrado a través del análisis de varianza fue el siguiente :

$$J = \mu + \alpha (\text{MES}) + \beta (\text{TRAT}) + \delta (\text{BLOQUE}) + \epsilon$$

donde : μ es la media de la muestra

α es el coeficiente que relaciona el mes con la variable dependiente

β es el coeficiente que relaciona el bloque con la variable dependiente

δ es el coeficiente que relaciona el tratamiento con la variable dependiente

ϵ es el error experimental

Al igual que en el grupo anterior se analizó el efecto de las mismas variables sobre el porcentaje de MS de las muestras.

3.5.3. Ganancia de peso de los animales

Como en los grupos anteriores se realizó un análisis de los principales indicadores de dispersión de los datos a través del procedimiento UNIVARIATE (SAS, 1988).

Para este grupo se realizaron análisis de varianza utilizando el procedimiento ANOVA (SAS, 1988) con el fin de cuantificar los efectos de los tratamientos, los bloques y el mes sobre las ganancias diarias de peso de los novillos que pastorearon el ensayo. El modelo explicativo aplicado en este análisis fue :

$$\mathbf{GAN} = \boldsymbol{\mu} + \boldsymbol{\alpha} (\text{MES}) + \boldsymbol{\beta} (\text{TRAT}) + \boldsymbol{\delta} (\text{BLOQUE}) + \boldsymbol{\varepsilon}$$

donde : $\boldsymbol{\mu}$ es la media de la muestra

$\boldsymbol{\alpha}$ es el coeficiente que relaciona el mes con la variable dependiente

$\boldsymbol{\beta}$ es el coeficiente que relaciona el bloque con la variable dependiente

$\boldsymbol{\delta}$ es el coeficiente que relaciona el tratamiento con la variable dependiente

$\boldsymbol{\varepsilon}$ es el error experimental

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. FORRAJE DISPONIBLE

En primer lugar se presentan los principales indicadores de dispersión de éste grupo y del rechazo de forraje, **cuadro 23**.

Cuadro 23. Indicadores de dispersión de forraje disponible y rechazo.

	Disponible	Rechazo
N	480	480
Media	1557.6	1261.6
Desvío Estándar	808.6	790.3
Varianza	653884.1	624619.1
C.V. (%)	51.9	62.6
Moda	600	797
Rango	5545.7	4348.5
Máximo	5728.6	4391.4
Mínimo	182.9	42.9

En este cuadro puede observarse una gran dispersión de los datos, dada por los valores que toman tanto la varianza, el coeficiente de variación y el rango. Con el fin de identificar el origen de esta variación se realizó un análisis de componentes de varianza que se presenta a continuación:

Componentes de varianza para forraje disponible.

Bloque	28,5%	Bloque	26,6%
estación	4,1%	mes	8,4%
tratamiento	11,2%	tratamiento	12,5%
error	56,2%	error	52,6%

Se debe destacar la alta proporción de la varianza total debida al efecto bloque. Esto puede ser explicado en parte por el mosaico de suelos presentes en el área del ensayo que determina productividades muy diferentes de la pastura, independientemente del efecto determinado por los tratamientos (fertilización y carga). La baja contribución de la estación a la varianza total podría atribuirse a que en los cortes realizados en una determinada fecha, se cosechan remanentes y crecimiento provenientes de la estación previa. Este hecho estaría enmascarando la producción de forraje de ese período, determinando que no se encuentren grandes diferencias entre estaciones. Es claro que los componentes de la variable forraje disponible son: a) el crecimiento de la pastura previo al corte, y b) el rechazo de forraje no consumido por los animales en el pastoreo anterior.

En forma arbitraria se definen las cuatro estaciones de la siguiente forma:

- otoño, de el 1° de marzo al 31 de mayo;
- invierno, 1° de junio al 31 de agosto;
- primavera, 1° de setiembre al 30 de noviembre;
- verano, 1° de diciembre al 28 de febrero.

Además, se debe remarcar el hecho que en los tres meses que se agrupan dentro de una estación pueden haber grandes diferencias climáticas, hídricas, etc., que determinen disponibles diferentes, los cuales son promediados. Al sustituir estación por mes (reducción del período considerado) se incrementa el porcentaje de la varianza atribuible a este componente, disminuyendo la varianza del error correspondiente a factores no incluidos en el análisis.

El porcentaje atribuido al efecto de los tratamientos, si bien no es demasiado elevado, es suficiente para explicar las diferencias encontradas entre tratamientos con significancia estadística.

Por otra parte se destaca la existencia de otros factores no considerados (error), que determinan el porcentaje más alto de la varianza total. Estos pueden deberse en parte a errores en la metodología de muestreo y a los procedimientos de manipulación en laboratorio (período de permanencia en la heladera, cortes de muestras con alto grado de humedad y alto número de muestras extraídas, etc.), aparte de otros.

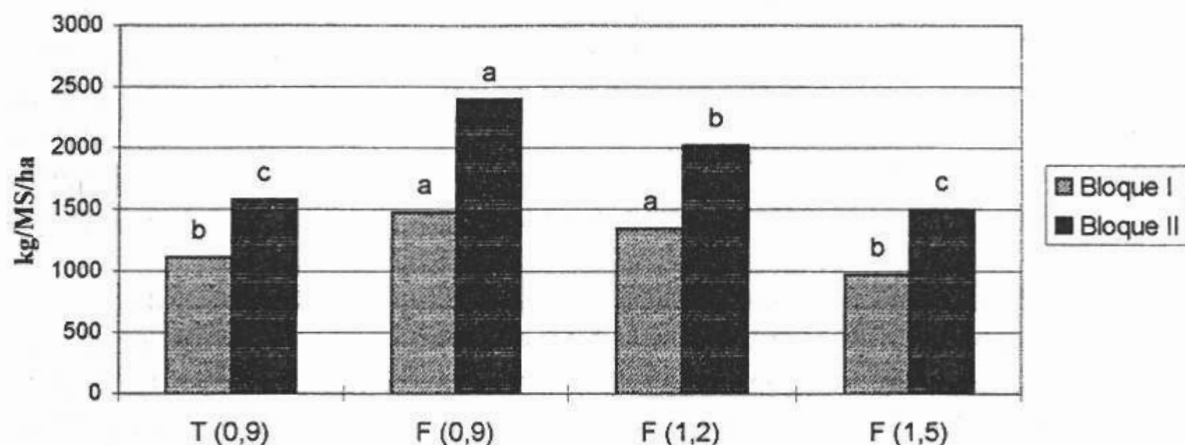
En el **cuadro 24** se presentan los resultados del análisis de varianza para éstas variables.

Cuadro 24. Resultados del análisis de varianza para el forraje disponible.

Fuente de Variación	$r^2 = 0,348$
	p > F
Bloque	0,0001
Tratamiento	0,0001
Mes	0,0001
Tratamiento x Bloque	0,0499

Los valores presentados muestran la existencia de efectos del bloque de muestreo, de los tratamientos, del mes en el que fueron tomadas las muestras y una interacción entre las variables tratamiento y bloque. Con relación al efecto del bloque, se observó una producción significativamente mayor del bloque II para todos los tratamientos. Asimismo la interacción detectada estaría dada por la diferencia en la magnitud de las variaciones entre tratamientos encontradas dentro de los bloques (**figura 11**).

Figura 11. Efecto de la interacción Bloque x Tratamiento sobre el forraje disponible



a,b,c Medias con diferente letra dentro de un mismo bloque son diferentes con $p < 0,05$

Como se observa, los tratamientos fertilizados con cargas de 0,9 y 1,2 UG/ha no difieren significativamente para el caso del bloque I, mientras que en el bloque II el tratamiento F (0,9) es mayor ($p < 0,05$).

Al haberse encontrado efecto del tratamiento sobre el disponible de forraje, se realizó una prueba de separación de medias, la cual se presenta en el siguiente cuadro:

Cuadro 25. Contraste de medias de forraje disponible por tratamiento.

Nro.	Tratamiento	kg MS/ha	%
1	Testigo (0,9 UG/ha)	1348,5 c	100
2	Fertilizado (0,9 UG/ha)	1934,9 a	143
3	Fertilizado (1,2 UG/ha)	1648,2 b	122
4	Fertilizado (1,5 UG/ha)	1237,4 c	92

a, b, c Medias con diferente letra son diferentes con $p < 0,05$

Se encuentran diferencias significativas entre los tratamientos 2 y 3 ($P < 0.01$) y de éstos a su vez con los tratamientos 1 y 4, los cuales no difieren entre sí. Esto último estaría indicando la posibilidad de mantener la producción de forraje de la pastura a través de la fertilización N-P, con un aumento de carga de 0.6 UG/ha, siendo el forraje producido por la pastura fertilizada de superior calidad a la observada en el testigo, como se podrá apreciar más adelante.

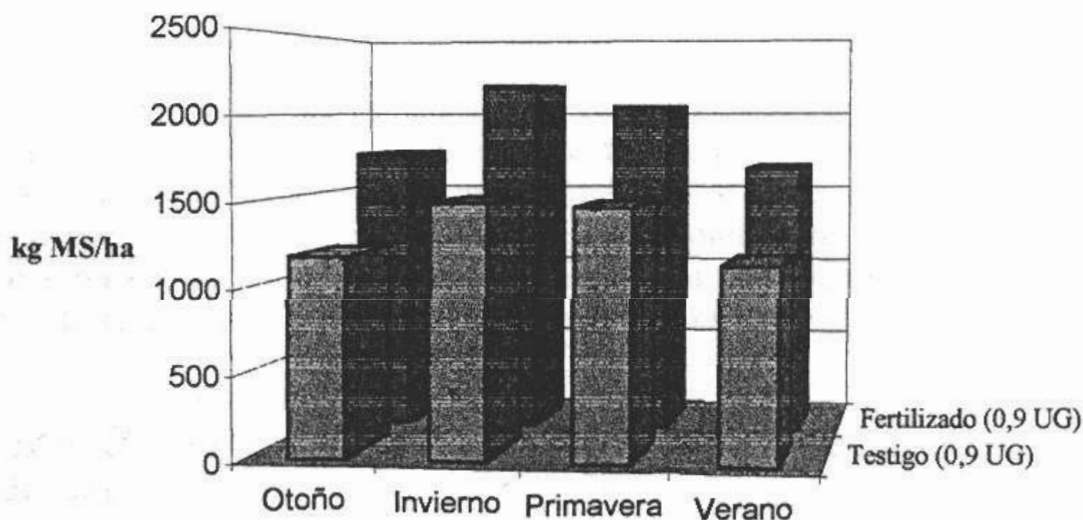
El efecto tratamiento muestra la diferencia en producción, medida en kg de MS/ha, entre parcelas con y sin fertilización, así como también las variaciones

existentes entre las distintas cargas empleadas en los tratamientos fertilizados. Al mantenerse constante la dosis de fertilización (en los tratamientos 2, 3 y 4) y los períodos de descanso y ocupación de las subparcelas de los distintos tratamientos, las diferencias en producción encontradas podrían explicarse por el efecto de las distintas cargas sobre: a) el área foliar remanente luego de cada pastoreo, b) el hábito de crecimiento que adoptan las especies componentes de la pastura, y c) la evolución del contenido de reservas de las plantas. En el largo plazo es posible que también sean detectados cambios en la composición botánica de la pastura, como resultado de la fertilización N-P y de la aplicación de cargas diferenciales.

Con respecto a la variación existente entre estaciones, se observan valores más altos de lo esperado en el invierno, con un pico en primavera y un descenso durante el período estival. Como ya fue mencionado anteriormente, los datos de disponible de forraje para cada estación pueden no estar representando fielmente el crecimiento del período, debido fundamentalmente al método de pastoreo utilizado (períodos de descanso de 42 días). Más adelante este aspecto se analiza considerando también el porcentaje de materia seca de las muestras tomadas. A través del análisis conjunto de ambas variables se intenta obtener una idea de la proporción de restos secos. Esta se encuentra estrechamente relacionada con la cantidad de forraje rechazado por los animales en el pastoreo anterior, que pasa a formar parte del disponible siguiente.

La ausencia de interacción tratamiento por estación estaría indicando un comportamiento similar de los tratamientos para cada estación del año (**figura 12, cuadro 26 y cuadro 28**).

Figura 12. Producción de forraje estacional según fertilización



Cuadro 26. Forraje disponible estacional en función de la fertilización.

	Primavera		Verano		Otoño		Invierno	
	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%
T (0,9)	1476,1 b (a)	100	1143,1 b (b)	100	1184,6 b (ab)	100	1499,2 b (a)	100
F (0,9)	2050,0 a (a)	138	1659,1 a (a)	145	1745,4 a (a)	147	2186,5 a (a)	146

a, b Medias en una columna con diferente letra son diferentes con $p < 0,05$

(a), (b) Medias en una fila con diferente letra son diferentes con $p < 0,05$

De la lectura del cuadro resulta evidente la superioridad del tratamiento fertilizado sobre el testigo para todas las estaciones. Puede apreciarse que la diferencia entre tratamientos es muy similar durante todo el período considerado, situándose en el orden del 40 al 45%. La mejora en la nutrición mineral de las especies componentes de la pastura atrasa los procesos de senescencia y determina una mayor velocidad de rebrote luego de los pastoreos. Ambos factores estarían explicando una mayor acumulación de forraje en el tratamiento fertilizado.

Dos Santos *et al.* (1992) y Alvarez *et al.* (1990), trabajando en éste mismo potrero, con diferentes métodos de pastoreo (rotativo y continuo) y una carga de 0.8 UG/ha, encontraron los valores de disponible que se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro 27. Forraje disponible estacional y anual en pastoreo rotativo (kg MS/ha).

Años	Otoño	Invierno	Primavera	Verano	Prom. Anual
1984/1985	3097	2938	1912	2122	2517
1985/1986	2396	2723	2192	2847	2539

Fuente: adaptado de Dos Santos *et al.* (1992) y Alvarez *et al.* (1990).

Los valores registrados para forraje disponible por estos autores se encuentran por encima de los encontrados en el presente ensayo. Existen muchos factores que estarían incidiendo sobre los disponibles registrados en los diversos trabajos. Entre ellos se puede nombrar el manejo previo, la disponibilidad al inicio del ensayo, el efecto año (temperatura, precipitaciones, etc.) y la carga animal utilizada. Por éstas razones se hace difícil efectuar comparaciones que resulten válidas.

Al comparar los tratamientos fertilizados entre sí puede observarse una relación inversa entre la producción de forraje y la dotación establecida para cada uno de ellos (cuadro 28).

Cuadro 28. Efecto de la carga sobre el forraje disponible estacional en tratamientos con fertilización.

	Primavera		Verano		Otoño		Invierno	
	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%	kg/ha	%
F (0,9)	2050,0 a (a)	153	1659,1 a (a)	168	1745,4 a (a)	141	2186,5 a (a)	159
F (1,2)	1790,2 a (ab)	133	1566,1 a (ab)	158	1384,4 b (b)	112	1854,8 a (a)	135
F (1,5)	1337,7 b (a)	100	986,8 b (b)	100	1233,2 b (ab)	100	1370,2 b (a)	100

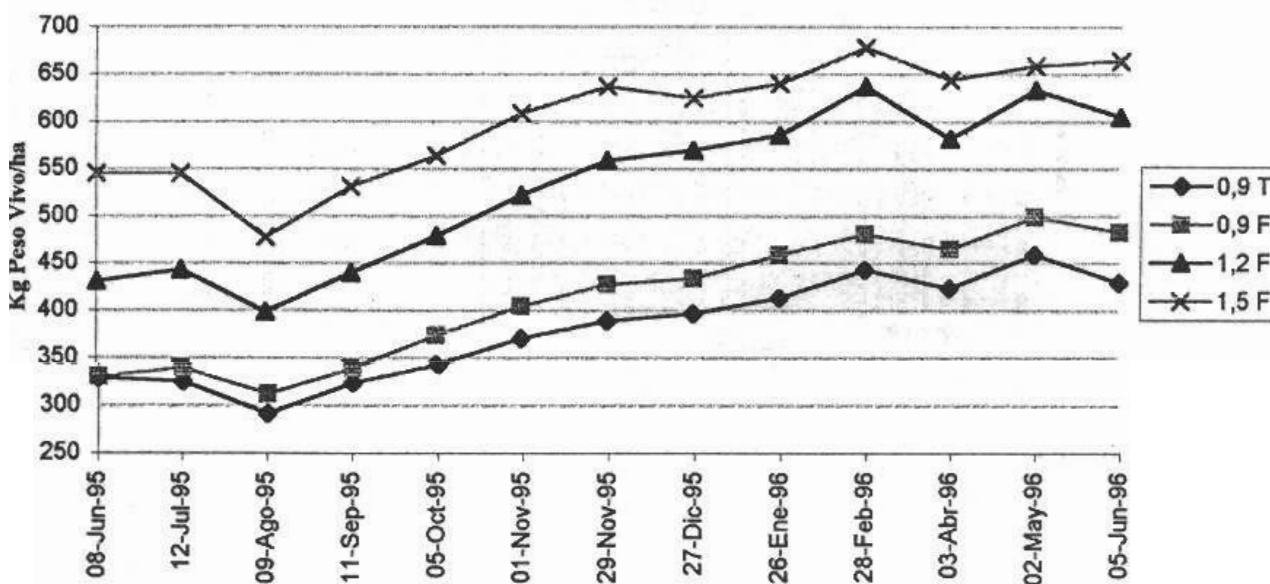
a, b Medias en una columna con diferente letra son diferentes con $p < 0,05$

(a), (b) Medias en una fila con diferente letra son diferentes con $p < 0,05$

Debe resaltarse que las diferencias entre los disponibles de los distintos tratamientos se mantienen relativamente constantes para todas las estaciones, siendo también similar la evolución de los disponibles para cada tratamiento a lo largo del período.

En este ensayo la carga se mantiene constante a lo largo de todas las estaciones, si se considera el término unidades ganaderas. En cambio, si expresamos el concepto dotación como kg de peso vivo/hectárea, puede observarse que la carga va en aumento a medida que transcurre el tiempo, debido a las ganancias de peso de los animales (**figura 13**). La evolución de la dotación expresada de esta forma no es igual para todas las parcelas, dependiendo fundamentalmente del aumento de peso de los animales por tratamiento.

Figura 13. Evolución de la dotación por tratamientos



4.1.1. Altura de la pastura

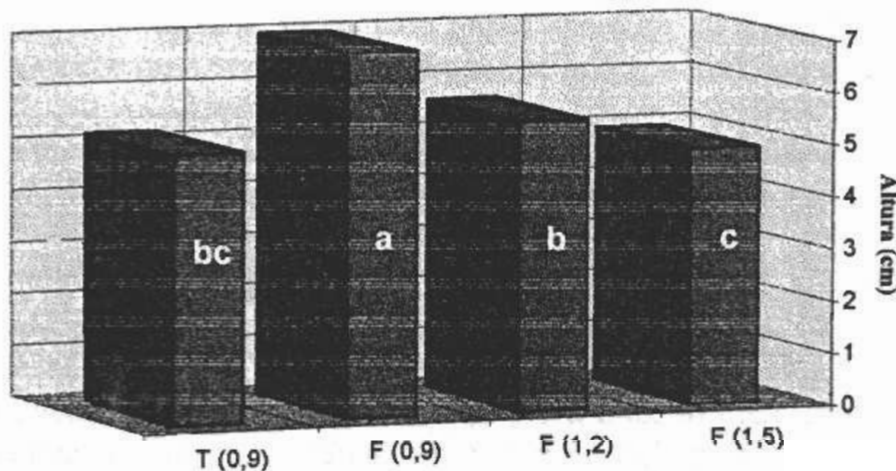
Al igual que para el caso del forraje disponible, para esta variable se realizó un análisis de varianza, considerando los mismos efectos. Los resultados se presentan en el cuadro 29.

Cuadro 29. Resultados del análisis de varianza para la variable altura.

Fuente de Variación	$r^2 = 0,394$
Bloque	$p > F$
Tratamiento	0,0189
Mes	0,0001
Tratamiento x Bloque	0,0001

Como se observa, las tres fuentes de variación presentan efectos significativos, así como también se verifica una interacción entre los bloques y tratamientos. Las alturas por tratamiento se aprecian gráficamente en la figura 13.

Figura 13. Efecto de los tratamientos sobre la altura del forraje disponible



A continuación se presentan los valores registrados de altura del forraje disponible, promediadas por estación (**cuadro 30 y 31**).

Cuadro 30. Efecto de la fertilización sobre la altura del forraje disponible.

	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
Testigo (0,9)	4,15 a	5,33 a	4,58 a	5,69 a
Fertilizado (0,9)	5,50 b	6,57 a	6,34 b	8,22 b

a, b Medias en una columna con diferente letra son diferentes con $p < 0,05$

Cuadro 31. Efecto de la carga sobre la altura del forraje disponible.

	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
Fertilizado (0,9)	5,50 a	6,57 a	6,33 a	8,22 a
Fertilizado (1,2)	4,71 a	5,36 b	4,91 b	6,54 ab
Fertilizado (1,5)	4,74 a	4,39 c	3,90 b	5,78 b

a, b Medias en una columna con diferente letra son diferentes con $p < 0,05$

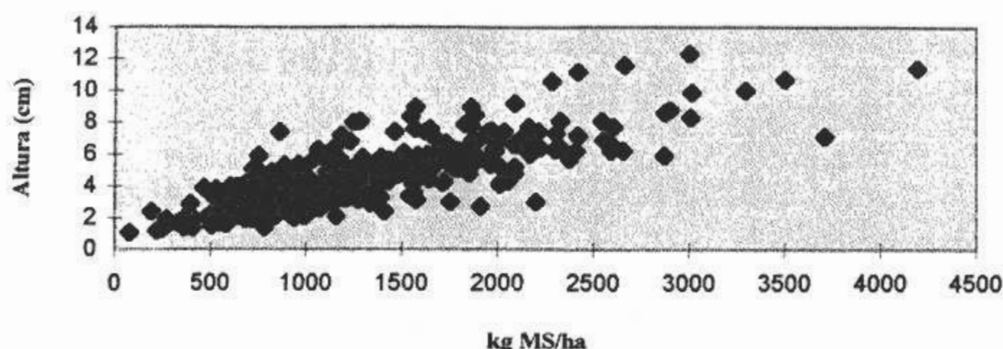
Al analizar el contenido de los cuadros presentados lo primero que llama la atención es que los valores máximos de altura aparecen en invierno para todos los tratamientos. Esto es resultado de la presencia de forraje diferido de la estación anterior (otoño) al momento de realizar las determinaciones, como consecuencia del método de pastoreo empleado.

Con respecto al efecto de los tratamientos dentro de cada estación, se verifican diferencias significativas entre el testigo y el tratamiento fertilizado con menor carga (0,9 UG), poniendo en evidencia la importancia de la fertilización en la producción de forraje. Esta variable (altura) ha tomado importancia en los últimos tiempos al haber sido utilizada frecuentemente como estimador de la disponibilidad de campo natural.

Al comparar las parcelas fertilizadas entre sí puede observarse una relación inversa entre la altura del forraje y la dotación para cada tratamiento.

A continuación se presenta el resultado obtenido al analizar el grado de asociación entre las variables altura y forraje disponible (**figura 14**). El coeficiente de correlación encontrado fue de 0,73. Se trata de un valor altamente significativo ($p < 0,01$) y puede ser considerado como medio a alto, lo cual implica que la altura pueda utilizarse como un indicador *a priori* relativamente confiable de la disponibilidad de forraje, aún existiendo una gran variabilidad en los datos obtenidos tanto de forraje disponible (C.V. = 51.9%) como de altura (CV = 49.0%).

Figura 14. Correlación entre disponible de forraje y altura del mismo



4.1.2. Porcentaje de materia seca

En el cuadro 32 se presentan los datos de materia seca para el forraje disponible.

Cuadro 32. Porcentaje de materia seca por estación y por tratamiento.

	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
0,9 T	44.5 c (a)	62.3 a (a)	42.5 c (a)	50.5 b (a)
0,9 F	45.6 b (a)	64.4 a (a)	41.6 b (a)	45.5 b (b)
1,2 F	44.0 b (a)	65.5 a (a)	43.2 b (a)	43.8 b (bc)
1,5 F	42.8 b (a)	62.5 a (a)	40.0 b (a)	42.5 b (c)

a, b, c Medias en una fila con diferente letra son diferentes con $p < 0,05$

(a), (b), (c) Medias en una columna con diferente letra son diferentes con $p < 0,05$

Como era de esperar el mayor porcentaje de materia seca aparece en las muestras tomadas en verano, probablemente debido a un balance hídrico negativo a lo largo de este período, y al estado fenológico de las pasturas (madurez de las estivales y reposo de las invernales). Los valores para los distintos tratamientos en verano no difieren entre sí en forma significativa siendo en todos los casos mayores al 60%.

Puede también observarse el alto porcentaje de materia seca registrado en el testigo durante la estación invernal. Esto puede señalarse como un indicador de la mayor susceptibilidad de la pastura no fertilizada a las temperaturas bajas extremas (heladas), que estarían determinando muerte de órganos vegetales y plantas. Este factor estaría agravado por el estrés determinado por el pastoreo y la alta exposición de brotes a estas condiciones extremas. La escasa acumulación de forraje que se da en este tratamiento no permite amortiguar los descensos de temperatura. A pesar de esto

debemos señalar que en el tratamiento 1.5 UG fertilizado, si bien los disponibles registrados son similares a los del testigo, el porcentaje de MS es sensiblemente más bajo, lo cual estaría indicando un efecto protector de la fertilización N-P frente a las bajas temperaturas. Durante el período invernal fue posible observar claramente las diferencias de color entre ambos tratamientos, habiéndose mantenido el tratamiento fertilizado de un color verde intenso.

4.1.3. Proteína cruda y fósforo en planta

En este primer año de evaluación, se analizaron tres grupos de muestras en laboratorio, dos corresponden a invierno (29-junio-95 y 12-jul-95, disponible y rechazo respectivamente), y el otro grupo corresponde a primavera (29-nov-95, disponible).

En el **cuadro 33** se presentan los datos obtenidos para tres tratamientos y tres fechas de muestreo.

Cuadro 33. N como Proteína Cruda y P en planta.

	% Proteína Cruda			Fósforo (mg P/gr.)		
	<i>Invierno</i>		<i>Primavera</i>	<i>Invierno</i>		<i>Primavera</i>
	Disponible	Rechazo	Disponible	Disponible	Rechazo	Disponible
T 0,9	6.50	5.41	7.19	0.80	0.70	1.20
F 0,9	7.03	7.13	7.25	0.95	1.05	1.20
F 1,2	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d	s/d
F 1,5	8.47	8.22	7.00	1.10	1.20	1.10

Para los cortes de disponible y rechazo realizados en la estación invernal, en general se observa un mayor porcentaje de proteína cruda en los tratamientos fertilizados en relación al testigo. Dentro de éstos el correspondiente a la mayor carga animal es el que registra los mayores valores para ambos cortes. En primavera no existe una tendencia muy clara, con respecto a la fertilización y con relación al % P.C. del campo natural, ya que normalmente en primavera se obtienen valores menores de proteína que en invierno.

Estos valores de proteína cruda son inferiores a los obtenidos por Bernhaja *et al.* (1994), en ensayos realizados en ésta misma estación experimental, (campo natural: 9.25; CN+80N: 13.20; CN+120N: 13.45), éstos autores afirman que el cambio cualitativo en el balance entre las especies invernales y estivales explica la diferencia en la calidad de las gramíneas con y sin N.

4.2. CRECIMIENTO DE FORRAJE

En el **cuadro 34** que se presenta a continuación se muestran los principales indicadores de dispersión de este grupo:

Cuadro 34. Indicadores de dispersión de la variable crecimiento.

N	144
Media	16.15
Desvío Estándar	7.45
Varianza	55.58
C.V.(%)	46.15
Moda	16.07
Rango	41.88
Máximo	45.45
Mínimo	3.57

En el **cuadro 35** se presentan los resultados del análisis de la varianza efectuado para esta variable. En este modelo se sustituyó la estación por el mes, por darse un mejor ajuste del mismo.

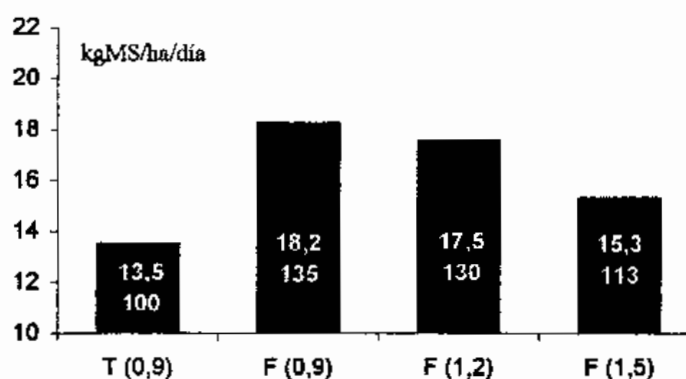
Cuadro 35. Resultados del análisis de varianza

Fuente de Variación	$r^2 = 0,668$
	$p > F$
Bloque	0,0140
Tratamiento	0,0001
Mes	0,0001

Al igual que para la variable disponible, se visualiza un efecto producido por el bloque que determina un 11% más de crecimiento diario del bloque II con respecto al I (17 vs. 15,3 kg/MS/ha/día respectivamente).

El efecto de los tratamientos se presenta en forma gráfica en la **figura 15**.

Figura 15. Tasa diaria de crecimiento de forraje por tratamiento

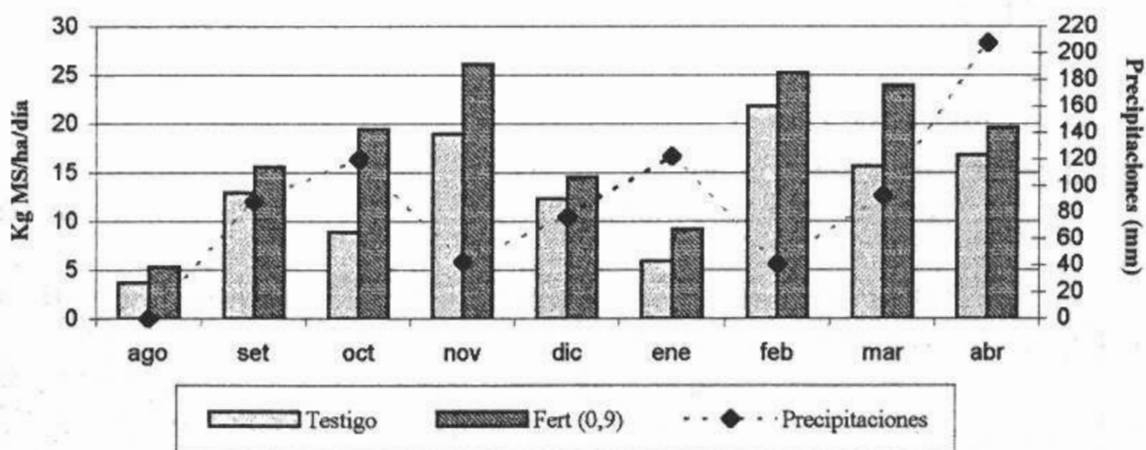


Los tratamientos F (0.9) y F (1.2) tienen mayores tasas diarias de crecimiento que los tratamientos F (1.5) y testigo ($P < 0,05$). A una misma carga, el agregado de fertilizante determina un aumento del 35% en el crecimiento de la pastura.

La menor tasa del tratamiento F (1,5) frente a los otros dos tratamientos con fertilización, podría explicarse por un bajo contenido de carbohidratos de reserva en las plantas, al ser sometidas a condiciones de defoliación muy intensa. Aún bajo estas condiciones limitantes del crecimiento, este tratamiento supera al testigo, produciendo un 13% más de kg MS/ha/día ($P < 0,05$).

En la **figura 16** se observan las importantes variaciones existentes en la tasa de crecimiento diaria de la pastura expresada en valores promedio mensuales. Estas variaciones están determinadas por los cambios en factores ambientales como temperatura, precipitaciones, radiación solar, etc. A pesar de estas variaciones mensuales en la tasa de crecimiento diaria, el tratamiento con fertilización (0,9 UG) presenta crecimientos superiores a los registrados para el testigo para todos los meses analizados en este ensayo.

Figura 16. Tasa de crecimiento diaria y precipitaciones durante el periodo evaluado

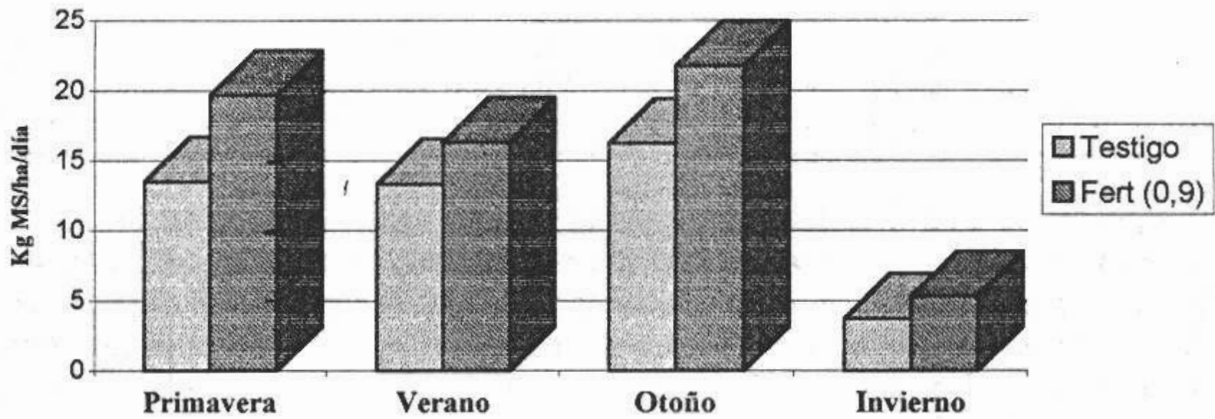


En cuanto a las estaciones de crecimiento, el invierno tuvo un crecimiento significativamente menor al registrado para el resto de las estaciones en ambos tratamientos (**figura 17**). Para el resto de las estaciones los valores de tasa de crecimiento en el tratamiento fertilizado (0,9 UG) no difieren entre sí de manera significativa ($P < 0,05$). Lo mismo ocurre en el caso del testigo.

Es importante señalar que la evaluación del crecimiento comenzó a fines de julio, lo cual determina que los datos correspondientes a invierno son sólo registros de agosto. Para otoño se promediaron los datos de marzo y abril.

A pesar de no existir diferencias significativas para el resto de las estaciones puede destacarse la tendencia hacia mayores tasas de crecimiento diario en el tratamiento fertilizado, que se manifiestan en una mayor producción total de la pastura.

Figura 17. Tasas diarias de crecimiento de forraje por estación testigo y fertilizado



Con respecto al resto de los tratamientos, en el **cuadro 36** se aprecian las tasas de crecimiento por estación para todos los tratamientos del ensayo.

Cuadro 36. Tasas de crecimiento estacional por tratamiento (kg MS/ha/día).

	Primavera	Verano	Otoño	Invierno
Testigo	13.5 a (b)	13.4 a (a)	16.2 a (b)	3.7 b (a)
Fert (0,9)	19.7 a (a)	16.3 a (a)	21.8 a (a)	5.3 b (a)
Fert (1,2)	19.9 a (a)	16.2 a (a)	18.5 a (ab)	5.4 b (a)
Fert (1,5)	17.6 a (ab)	13.4 a (a)	16.9 a (b)	4.8 b (a)

a, b Medias en un misma fila con diferente letra son diferentes con $p < 0,05$

(a), (b) Medias en un misma columna con diferente letra son diferentes con $p < 0,05$

En general las tasas de crecimiento son mayores en los tratamientos fertilizados, encontrándose en algunos casos diferencias significativas en las estaciones de mayor crecimiento (primavera y otoño). En invierno (agosto) el crecimiento del tratamiento sin fertilización fue menor al promedio de catorce años de registros en

GLENCOE, mientras que el resto de las estaciones tuvieron crecimientos similares a los promedios anteriormente citados.

A pesar de que el método de jaulas móviles evalúa diferentes áreas de la subparcela, no es posible en un año de ensayo evaluar el efecto de la carga sobre la tasa de crecimiento, aunque se observa una tendencia a menores tasas con la mayor carga en los tratamientos fertilizados.

En base a los valores de crecimientos diarios se calcula el crecimiento en las estaciones y por lo tanto la producción total anual (**cuadro 37**).

Cuadro 37. Producción anual y distribución estacional (%) por tratamiento (kgMS/ha).

	Primavera	%	Verano	%	Otoño	%	Invierno	%	Total
T (0,9)	1228,5	28,8	1219,4	28,6	1474,2	34,6	336,7	7,9	4258,8
F (0,9)	1792,7	31,2	1483,3	25,8	1983,8	34,5	482,3	8,4	5742,1
F (1,2)	1810,9	33,2	1474,2	27,0	1683,5	30,8	491,4	9,0	5460,0
F (1,5)	1601,6	33,4	1219,4	25,4	1537,9	32,1	436,8	9,1	4795,7

En los tratamientos fertilizados la producción anual de forraje es mayor, a su vez varían los porcentajes de contribución por estación, estudios realizados muestran que el uso del nitrógeno magnifica la ya conocida estacionalidad del campo natural. No obstante, no se debe descuidar el hecho de que el efecto de la fertilización en cada estación puede afectar la marcha de otra estación del año. Así es, bien conocido el efecto positivo de la fertilización otoñal para incrementar el macollaje de las especies activas en invierno y favorecer mayores rendimientos en primavera (Ayala y Carámbula, 1994). En el **cuadro 37** se puede apreciar un aumento en el porcentaje de la producción anual correspondiente a primavera e invierno.

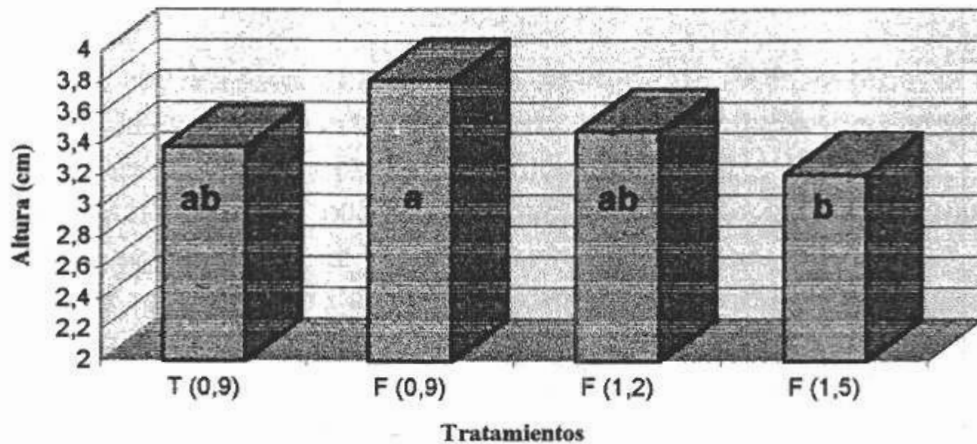
Berretta *et al.* (1996), evaluando pasturas naturales en la misma Unidad Experimental, encontraron valores de 4574,6 kg MS/ha/año para suelos profundos, resaltando la importancia del efecto año, especialmente del régimen de lluvias. Los datos corresponden al promedio de evaluaciones de catorce años (1980-1994).

Dos Santos *et al.* (1992) realizando cortes mensuales en el mismo potrero de este ensayo, con diferentes cargas (0,6 y 0,8 UG/ha), diferentes métodos de pastoreo (rotativo y continuo) y dos valores de relación lanar/vacuno: 2-1 y 5-1; obtuvieron una producción anual de materia seca de 4660 y 5320 kg/ha, mínimos y máximos respectivamente. Continuando con este ensayo, Alvarez *et al.* (1990) obtuvieron producciones anuales de 4659 kg/ha de MS, estos datos son promedio de tratamientos bajo pastoreo rotativo, y de 4497,5 kg/ha de MS para pastoreo continuo.

4.2.1. Altura

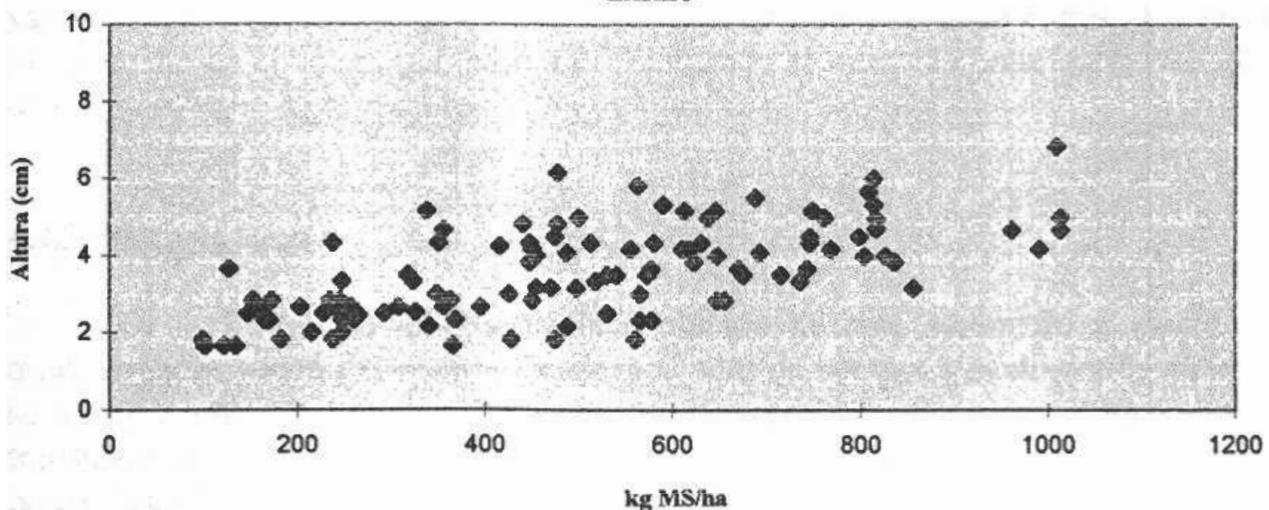
Los valores de altura del forraje cosechado en las jaulas se presentan en la (figura 18).

Figura 18. Altura del forraje en jaulas en función del tratamiento



La tendencia de los valores de altura es similar a la observada para el disponible de forraje en las jaulas, lo cual se visualiza en forma clara al analizar el coeficiente de correlación entre éstas dos variables, cuyo valor es de 0,644 (figura 19).

Figura 19. Correlación entre disponible de forraje en jaulas y altura del mismo



Estos datos concuerdan con resultados obtenidos por Meirelles y Riani (1987), quienes obtuvieron un coeficiente de correlación de 0.776 entre la altura promedio del forraje cosechado dentro de jaulas, y el rendimiento del mismo expresado en kg de

MS/ha, para un intervalo de 30 días entre cortes. Los datos corresponden al promedio de cinco suelos de basalto y se obtuvieron a través del método de jaulas móviles. En el mismo trabajo, cuando se realizaron cortes con un intervalo mayor (60 días), el coeficiente de correlación entre las variables anteriormente mencionadas para este tratamiento aumentó (0.918). Los autores afirman que al ser mayor el intervalo de crecimiento, la pastura se eleva y el rendimiento de la misma es acompañado por una mayor altura. En contraste cuando el intervalo entre cortes es menor, los valores de altura son bajos y el rendimiento no acompaña en forma tan marcada esta disminución.

Esto estaría explicado por el hábito de crecimiento de la pastura, la vegetación predominante en estos suelos esta compuesta por gramíneas perennes de hábito postrado, y malezas de bajo porte en aquellos suelos más superficiales. Diversos autores han demostrado que en pasturas de hábito postrado la mayor proporción del forraje cosechable se encuentra en los estratos inferiores más cercanos al suelo. Esto explicaría la menor relación entre altura y rendimiento cuando el intervalo de corte es inferior, ya que aún cuando la altura es muy baja, se obtienen altos rendimientos.

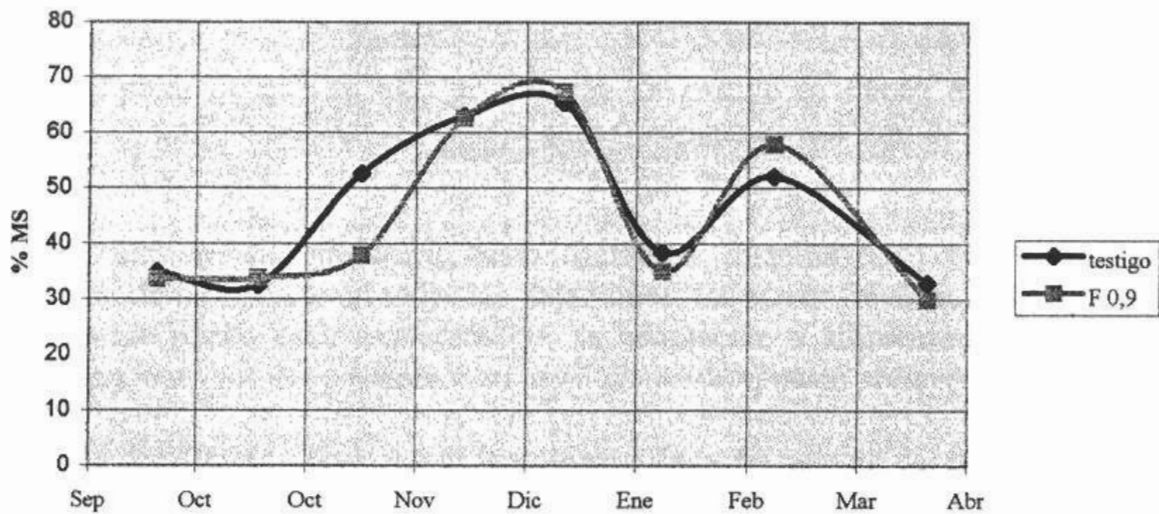
Una tendencia similar se puede apreciar en el presente ensayo: en los cortes realizados en las jaulas (cada 28 días), el coeficiente de correlación entre las variables mencionadas es de 0.654, mientras que en la determinación del disponible que se realizó cada 56 días (período de descanso de 42 días y 14 días de ocupación), se registra un aumento en el valor del coeficiente de correlación situándose en 0.73.

Zunino y Baptista (1988), continuando con los trabajos realizados por Meirelles y Riani (1887) obtuvieron resultados similares en lo que se refiere a la relación existente entre altura y rendimiento. El coeficiente de correlación encontrado para las variables mencionadas fue de 0.648 con 30 días de intervalo entre cortes, y se registró un aumento en el valor, que pasó a 0.792 cuando el intervalo entre cortes fue de 60 días.

4.2.2. Materia Seca

En la **figura 20** se observa la evolución de este parámetro a medida que transcurren los meses del ensayo. Desde mediados de octubre a mediados de diciembre se verifica una importante diferencia en el porcentaje de materia seca entre el tratamiento testigo y el fertilizado a igual carga. La pastura sin fertilización tiende a perder calidad antes en el tiempo, al elevar su contenido de materia seca anticipadamente en relación al tratamiento con fertilización.

Figura 20. Evolución del contenido de Materia Seca en jaulas



4.3. COMPOSICION DEL TAPIZ VEGETAL

En verano (28 de febrero de 1996) se hicieron transectas combinadas con puntos en los cinco tratamientos (para cada bloque) a efectos de estudiar posibles diferencias en la vegetación. Con el fin de comparar los efectos se construyó el **cuadro 38**, presentándose las especies dominantes para cada tratamiento. Las especies fueron ordenadas según su Contribución Específica Presencia (CEP) por orden decreciente para el tratamiento testigo (campo natural).

Cuadro 38. Composición específica presencia por tratamiento.

	Testigo	Fert (0.9)	Fert (1.2)	Fert (1,5)	Ciclo
Schizachyrium spicatum	17,6	7,0	9,7	7,9	Perenne estival
Paspalum notatum	12,2	11,4	16,4	14,2	Perenne estival
Paspalum plicatum	10,7	4,5	4,6	4,4	Perenne estival
Bothriochloa laguroides	9,5	16,5	9,3	5,1	Perenne estival
Andropogon ternatus	7,3	3,7	4,9	2,7	Perenne estival
Aristida uruguayensis	3,5	6,1	1,9	4,0	Perenne estival
Piptochaetium stipoides	3,4	2,6	2,6	6,3	Perenne invernai
Coelorhachis selloana	3,3	4,1	2,9	2,7	Perenne estival
Stipa setigera	2,9	6,9	3,5	8,7	Perenne invernai
Evolvulus sericeus	2,9	0,4	3,8	4,8	Perenne estival
Richardia stellaris	2,9	1,4	1,3	2,0	Perenne estival
Carex bonariensis	2,5	6,5	4,2	6,7	Perenne invernai
Adesmia bicolor	1,7	3,5	2,6	1,2	Perenne invernai
Paspalum dilatatum	1,4	3,8	2,3	1,2	Perenne estival
Panicum milioides	0,7	3,4	6,3	1,2	Perenne estival
Axonopus affinis	0,0	2,5	0,3	0,4	Perenne estival

Las especies con mayor frecuencia de aparición coinciden con las encontradas por Dos Santos *et al.* (1992).

A pesar de que en este primer año de ensayo se tienen datos de una sola estación, es posible resaltar *a priori* algunas tendencias que son de importancia para futuras evaluaciones.

Schizachyrium spicatum, pasto ordinario, disminuye su frecuencia con la aplicación de fertilizante en todas las dotaciones. La mayor frecuencia de esta especie en el testigo podría estar explicada por su adaptación a ambientes más pobres. Un comportamiento similar presenta *Paspalum plicatulum*, pasto ordinario a tierno.

La fertilización favorece el incremento de la frecuencia de especies invernales finas como flechilla (*Stipa setigera*) y babosita (*Adesmia bicolor*); de especies de muy baja frecuencia como poa (*Poa lanigera*) y de estivales finas como el pasto miel (*Paspalum dilatatum*). Los pastos tiernos tienen una frecuencia similar en los tratamientos con NP y el testigo, siendo los más frecuentes otra flechilla (*Piptochaetium stipoides*) y el pasto horqueta (*Paspalum notatum*). Dentro de los pastos ordinarios, las ciperáceas (*Carex spp.*) son las invernales más frecuentes en todos los tratamientos, estando su frecuencia relacionada con la época y las condiciones de humedad. *Bothriochloa laguroides*, considerada también como pasto ordinario dentro de la clasificación por tipos productivos, aumenta su frecuencia con fertilización y dotación baja (Rosengurtt, 1979).

La aplicación de NP determina un incremento en el vigor de las especies que se manifiesta por colores más intensos y mayor tamaño de órganos. Se insinúa un rebrote más temprano de las invernales y un alargamiento del ciclo de crecimiento de las estivales. Esta sería la explicación de la mayor producción registrada en el otoño en los tratamientos fertilizados. Las altas cargas utilizadas aún no han tenido un efecto apreciable sobre la vegetación, aunque el tiempo transcurrido puede considerarse como corto para detectar cambios que no sean debidos a factores estacionales. Sin embargo, puede apreciarse una disminución progresiva de especies muy apetecibles tales como *Paspalum dilatatum* y *Adesmia bicolor* al incrementarse la carga.

4.3.1. Análisis de la cobertura del suelo

La superficie no recubierta por la vegetación esta compuesta por restos secos, suelo desnudo y piedras. La cubierta vegetal la componen todas las gramíneas y no gramíneas que cubren el suelo. Los datos que se muestran en el cuadro 39 son

extraídos de las transectorias efectuadas en cada uno de los tratamientos (para cada bloque).

Se analizaron estadísticamente los datos obtenidos, no habiéndose encontrado diferencias significativas entre tratamientos ni entre bloques para restos secos, suelo desnudo y cubierta vegetal ($p < 0,05$).

Cuadro 39. Recubrimiento del suelo (%) en los tratamientos.

	Testigo	Fert (0,9)	Fert (1,2)	Fert (1,5)
Piedras	0	0	0	0
Restos Secos	11	11	8,5	9,5
Suelo Desnudo	1,5	0,5	1,5	4
Cubierta vegetal	87,5	88,5	90,0	86,5

En general, en los tratamientos fertilizados hay un recubrimiento levemente superior del suelo y menor cantidad de restos secos. En el tratamiento que soporta una mayor carga es donde se registra una menor proporción de restos secos, seguido por el testigo.

El estudio de la vegetación permite observar algunos cambios en densidad y comportamiento de las especies que la componen. La superficie no recubierta por la vegetación (S.N.R.V) es de 12,5% en el campo natural, ésta disminuye en los tratamientos fertilizados con cargas de 0,9 y 1,2 UG/ha y aumenta a 13,5% en la parcela fertilizada con mayor dotación (1,5 UG/ha). Además, la densidad se manifiesta en un mayor número de especies por unidad de muestreo a medida que se aumenta la fertilidad. Este aumento en la densidad explicaría las diferencias en producción antes expuestas Berretta *et al.* (1995).

4.3.2. Tipos productivos

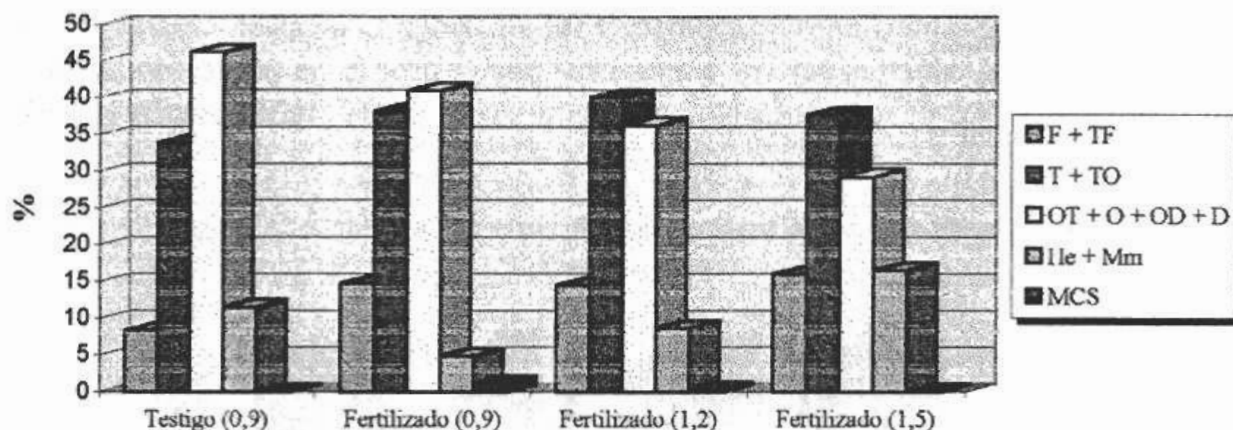
Esta clasificación tiene por objeto: 1) suplir la ausencia de datos precisos acerca del valor nutritivo de las especies campestres con una primera calificación aproximativa, 2) calificar los centenares de especies espontáneas más o menos importantes, de manera que el ganadero pueda tomar decisiones en el manejo presente y futuro del tapiz. Y en particular facilitar la decisión de mantener, quitar o agregar reses en categoría y cantidad adecuadas a cada potrero (Rosengurt, 1979).

En la **figura 21** observamos las especies agrupadas por tipos productivos siguiendo el criterio establecido por Rosengurt (1979).

Los tipos productivos considerados se agruparon de la siguiente manera:

- pastos finos y tiernos-finos (F + TF);
- tiernos y tiernos-ordinarios (T + TO);
- ordinarios-tiernos, ordinarios, ordinarios-duros y duros (OT + O + OD + D);
- hierba enana y malezas menores (He + Mm);
- maleza de campo sucio (MCS).

Figura 21. Contribución específica por presencia según tipos productivos en los tratamientos.



El análisis estadístico no detecta diferencias significativas entre tratamientos excepto para el caso de las hierbas enanas y malezas menores entre los tratamientos fertilizado (0,9) y fertilizado (1,5). Sin embargo, la fertilización determina (a una misma carga) un incremento de las especies de mayor calidad (F+TF y T+TO) con la consiguiente disminución de gramíneas de baja calidad (OT+O+OD+D). Asimismo, se verifica una disminución de hierbas enanas, las cuales son sustituidas por especies de mayor calidad.

Agrupando las especies por los tipos productivos se observa que en los tratamientos fertilizados hay mayor frecuencia de pastos finos que en el sin N-P.

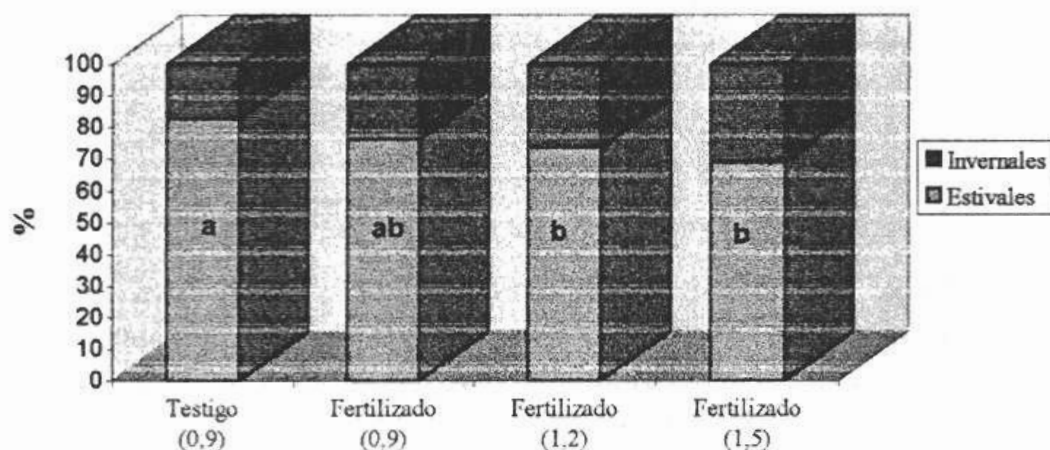
Entre las diferentes cargas, no existen diferencias en los tipos de mayor calidad. La mayor carga determina un aumento en hierbas enanas ($p < 0,05$), las cuales sustituyen a las gramíneas del tipo ordinario y duro.

4.3.3. Ciclo anual de las especies

Como se puede apreciar en la **figura 22**, la producción de materia seca de los tratamientos se debe básicamente al aporte que realizan las gramíneas estivales, con valores de porcentaje de CEP que van desde 68 a 84%. Entre ellas se destacan las siguientes: *Schizachyrium spicatum*, *Paspalum notatum*, *Paspalum plicatulum*, *Bothriochloa laguroides*, *Andropogon ternatus* y *Aristida uruguayensis*.

Las especies invernales aportan entre 16 y 32% de CEP, siendo las de mayor frecuencia: *Piptochaetium stipoides* y *Stipa setigera*. A su vez dentro de las invernales es importante destacar el aporte de las Ciperáceas, como las del género *Carex spp.* Los valores obtenidos en el testigo son similares a los presentados por Dos Santos *et al.*, 1992 y Alvarez *et al.*, 1990.

Figura 22. Contribución específica por presencia por ciclo anual en los tratamientos



a,b Medias con diferente letra son diferentes con $p < 0,05$

Por otra parte, se observa un incremento en la frecuencia de las especies invernales en los tratamientos fertilizados. Algunas especies de este ciclo presentan sobretodo en las parcelas con N-P con media y baja carga, un mayor vigor, cambios en el porte, y sus hojas parecen ser menos afectadas por las bajas temperaturas, al ser comparadas con las presentes en el tratamiento sin fertilizar.

4.3.4. Tipos vegetativos

Respecto a las especies agrupadas por su tipo vegetativo, las perennes dominan el tapiz con valores de CEP nunca inferiores a 99%, siendo este valor superior al encontrado por Dos Santos *et al.* (1992).

4.4. GANANCIAS DIARIAS DE PESO DE LOS ANIMALES

En el siguiente cuadro se presentan los indicadores de dispersión para ésta variable:

Cuadro 40. Indicadores de dispersión de las ganancias diarias de peso.

N	96
Media	0.304
Desvío Estándar	0.74
Varianza	0.548
C.V.(%)	243.5
Moda	0.73
Rango	3.074
Máximo	1.598
Mínimo	-1.476

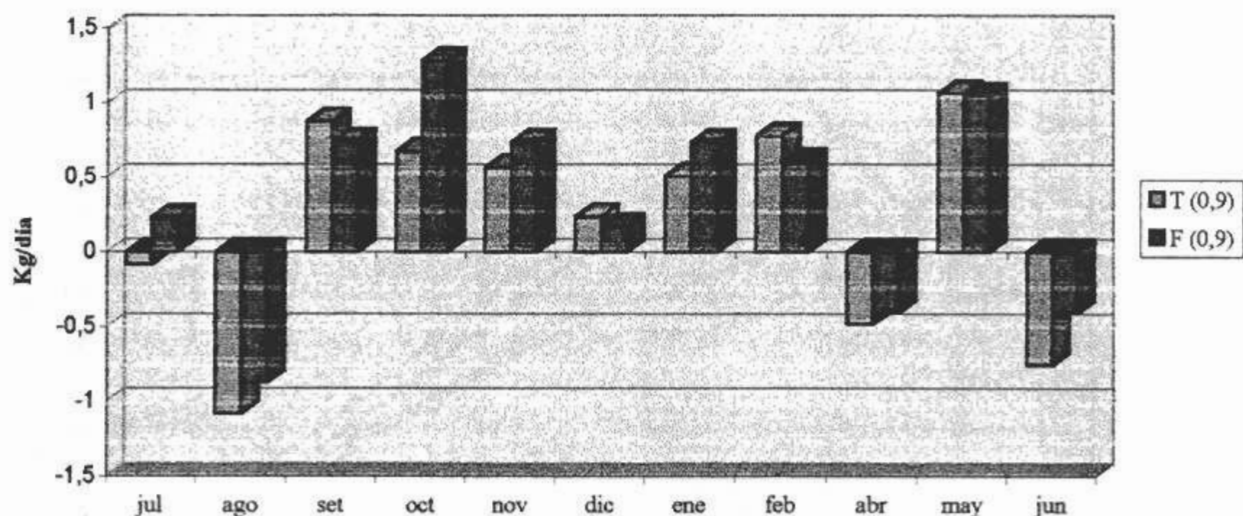
Para esta variable no se encontraron diferencias significativas para los diferentes tratamientos, lo cual probablemente esté explicado por la variabilidad presente en los datos de ganancias registrados. A pesar de esto se observa una tendencia a verificarse ganancias superiores en los tratamientos fertilizados, resultando esto en diferencias apreciables entre tratamientos para las producciones totales acumuladas (medidas en kg de carne/ha) durante el periodo en que se llevó a cabo el ensayo. Los resultados obtenidos en el análisis de varianza se presentan en el siguiente cuadro:

Cuadro 41. Resultados del análisis de varianza para ganancias diarias de peso.

Fuente de Variación	$r^2 = 0,654$
	p > F
Bloque	0,3324
Tratamiento	0,4128
Mes	0,0001

Solamente se observaron efectos significativos debidos al mes ($p < 0.001$). Las ganancias promedio para esta variable se presenta en la **figura 23** para los tratamientos testigo y 0.9 fertilizado.

Figura 23. Ganancias diarias de peso por mes en CN y CN + N-P (0.9UG/ha).



Pese a las apreciables variaciones en la performance animal a través del año se observa un mejor comportamiento general en el tratamiento fertilizado frente al testigo (67% superior). Las pérdidas de peso en los meses de invierno son mayores en el testigo debido probablemente a una menor disponibilidad de forraje, lo cual asociado a las bajas temperaturas determina un pobre desempeño animal. En los momentos del año en que mejoran las condiciones (aumento de la disponibilidad de forraje y temperaturas favorables) las ganancias del tratamiento fertilizado superan en general a las del testigo.

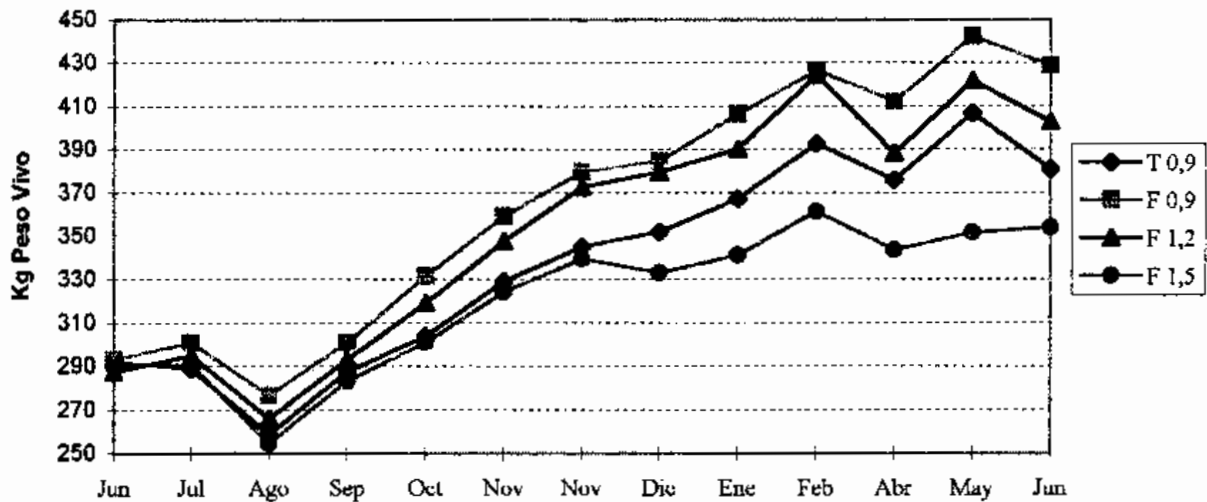
La ganancias diarias promedio y producción total medida en kg de carne/ha para los distintos tratamientos se presenta en el **cuadro 42**.

Cuadro 42. Ganancias diarias y producción de carne/ha por tratamiento.

Tratamiento	Ganancia individual	kg carne/ha
testigo	0.246	101.3
0.9 fertilizado	0.374	153.1
1.2 fertilizado	0.319	174.7
1.5 fertilizado	0.175	119.8

Como se observa en el cuadro el tratamiento 3 (1,2 UG fertilizado) es el que presenta una mayor producción por unidad de superficie durante el período analizado, mientras que la menor fue la del testigo (0,9 UG sin fertilización). Las mejores performances individuales corresponden a los animales del tratamiento 2, donde se obtuvieron los mejores pesos individuales al finalizar el período (Figura 24).

Figura 24. Evolucion de peso vivo de los novillos por tratamiento



En el tratamiento 4 correspondiente a la dotación más elevada fue donde se registraron los menores pesos individuales, pese a que la producción de carne de este tratamiento es un 20% superior a la presentada en el testigo. Estos resultados coinciden con las apreciaciones de Morley (1978). Este autor identifica a la dotación o número de animales por hectárea, como uno de los factores mas importantes en determinar el rendimiento y estabilidad de pasturas y la productividad animal. El comportamiento individual y la producción/ha, guardan una relación prácticamente lineal con la dotación en el rango de valores de relevancia económica, existiendo además diferencias importantes en la respuesta al aumento de carga debidas a la duración del período de pastoreo y al potencial animal.

Altas cargas resultan en un mayor grado de utilización del forraje en oferta, con más alto consumo de energía por hectárea, aunque a nivel individual sea menor. En muchos casos, la mayor productividad animal/ha sería consecuencia de la mayor utilización, y no necesariamente de más altos rendimientos de forraje (Morley, 1978).

En los tratamientos 1 y 4 no se llegó al peso de faena ni al grado de terminación requerido por la industria para esta categoría (novillos de 3 años), mientras que en los

restantes tratamientos (2 y 3) una proporción de los animales tuvieron como destino la venta a frigorífico al finalizar el período considerado. Este punto (destino final de los animales al finalizar el período de evaluación) será tenido en cuenta para la determinación del resultado económico del ensayo.

4.5. ANALISIS ECONOMICO

Si bien el análisis biológico, tanto del crecimiento de la pastura como las ganancias animales en función de los diferentes tratamientos es de gran relevancia, también es de suma importancia la realización de un análisis económico que justifique la utilización de esta alternativa a nivel comercial.

En este ensayo, además de las diferencias en productividad medidas en kilogramos de carne por hectárea, logradas al final del período en cada uno de los tratamientos, existieron diferencias en cuanto al destino final de los animales; algunos no alcanzaron el peso y/o grado de terminación de faena y por consiguiente, son destinados a invernada, considerándose su valor como el producto de su peso final por el precio de reposición a la fecha de finalización del ensayo.

En el cuadro 43 se presentan los principales indicadores productivos y el ingreso bruto por cabeza y por hectárea para los cuatro tratamientos.

Cuadro 43. Producción e ingreso por venta de los animales por tratamientos.

Tratamiento		0,9 T	0,9 F	1,2 F	1,5 F
Peso inicial promedio (kg)		292	293	287	291
Peso final promedio (kg)		381	429	403	354
Nº de animales		6	6	6	6
Ganancia (kg/día)		0,245	0,375	0,320	0,174
Ganancia total (kg)		534	816	696	378
Producción de carne (kg/ha)		100,38	153,38	174,00	118,13
Período (días)		363	363	363	363
Destino (nº animales/kg)	Invernada	6 / 2287	3 / 1205	4 / 1517	5 / 1712
	Frigorífico	0 / 0	3 / 1367	2 / 900	1 / 412
	Total	6 / 2287	6 / 2572	6 / 2417	6 / 2124
Ingreso Bruto (US\$/cabeza) ¹		247,8	306,0	279,8	238,3
Ingreso Bruto (US\$/ha)		279,5	345,1	419,8	446,9

¹ Calculado en base a 0,65 US\$ el kg. de reposición y 0,77 US\$ el kg. gordo (julio 1996)

Como se observa, el ingreso es mayor en los tratamientos fertilizados con respecto al testigo; asimismo, dentro de los tratamientos con fertilización NP se

aprecia un incremento del Ingreso Bruto por hectárea en los tratamientos con mayor dotación. En el **cuadro 44** se presenta un análisis económico donde se incluyen los costos imputables a la actividad y el margen bruto de cada tratamiento.

Cuadro 44. Resultados económicos por hectárea para cada tratamiento.

Tratamientos	T 0,9	F 0,9	F 1,2	F 1,5
Producto Bruto				
Novillos-precio mercado	279,5	345,1	419,8	466,9
Costos				
Sanidad	4,5	4,5	6,0	7,5
Mano de obra	6,3	6,3	6,3	6,3
Fertilización ¹	0	93,4	93,4	93,4
Costo de producción	10,8	104,2	105,7	107,2
Costo de oportunidad	11,2	11,2	14,7	18,6
Compra del novillo de reposición ²	224	224	293	371
Gastos de compra y venta (3%)	15	17	21	25
Total	261	356,4	434,4	521,8
Margen Bruto=P.Bruto - Costos	18,5	-11,3	-14,6	-54,9

Costo del kg producido	0,37	0,86	0,81	1,27
-------------------------------	-------------	-------------	-------------	-------------

¹ Se consideró un precio de 295 U\$\$/tt. para urea y 132 U\$\$/tt. para superfosfato

Incluye costo de aplicación

² Calculado en base a U\$\$ 0,68 por kg en pie (junio 1995)

En el cuadro presentado puede observarse que los tratamientos con mayor producción de carne no se corresponden necesariamente con un mayor margen bruto por unidad de superficie. Por el contrario, el tratamiento testigo registrando la menor producción de carne por hectárea (100 kg), aparece con el mayor margen (U\$\$ 18.5/ha) como consecuencia de la ausencia del costo de fertilización. Los demás tratamientos, con la fertilización como principal costo de producción determinan márgenes negativos, aún con producciones de hasta 174 kg/ha de carne. Esto se explica por el alto costo del kg producido en los tratamientos fertilizados, el cual llega a un valor máximo de U\$\$ 1,27 para el tratamiento con carga 1,5 UG. A pesar de esto debe tenerse en cuenta que la interpretación de los resultados económicos, debe hacerse en función de los objetivos perseguidos dentro de un determinado sistema de producción, los cuales pueden ser salvar animales con déficit nutricional, evitar pérdidas de peso invernal, o lograr ganancias de peso para engorde o terminación. Es claro entonces que el análisis económico asociado a cada una de éstas situaciones es diferente. Más adelante será presentado un análisis de sensibilidad, mostrando la forma en que afectan

las variaciones en el precio del fertilizante y la relación de precio del novillo de reposición/precio del novillo gordo, al resultado económico obtenido.

Es importante señalar además que se trata del primer año de evaluación del ensayo, y que posiblemente la pastura comience a responder a los cambios en la nutrición mineral y el manejo con el correr del tiempo. Son de esperar cambios en la composición botánica, estacionalidad y productividad de la pastura en el largo plazo, lo cual continuará siendo evaluado.

Cabe destacar que en un período corto de evaluación el efecto año incide de manera importante en los resultados físicos y económicos obtenidos. Los factores climáticos, muy cambiantes entre años, determinan variaciones importantes en la performance productiva animal y vegetal obtenida, lo cual obliga a continuar con las evaluaciones durante períodos de mayor duración.

4.5.1. Análisis de sensibilidad

Para realizar este análisis se consideró la variación relativa frente a un aumento y una disminución en el valor del producto final (carne) de un 10 y un 20%, efectuándose el mismo procedimiento para el precio de la urea. De esta manera se obtuvieron las fluctuaciones del resultado económico (expresado como margen bruto) para cada tratamiento. Estos resultados se presentan en los cuadros 45 y 46.

Cuadro 45. Variación del MB/ha frente a modificaciones en el precio del novillo gordo

	-20%	-10%	Situación real	+10 %	+20%
Precio (US\$/kg)	0.616	0.693	0.770	0.847	0.924
Testigo	-35.7	-8.6	18.5	45.6	72.7
0,9 Fert.	-78.3	-44.8	-11.3	22.1	55.6
1,2 Fert.	-96.3	-55.6	-14.6	25.8	66.6
1,5 Fert.	-145.5	-100.2	-54.9	-9.7	35.6

Cuadro 46. Variación del MB/ha frente a modificaciones en el precio de la urea

	-20%	-10%	Situación real	+10 %	+20%
Precio (US\$/tt)	236	265.5	295	324.5	354
Testigo	18.5	18.5	18.5	18.5	18.5
0,9 Fert.	7.3	-2.0	-11.3	-20.7	-30.0
1,2 Fert.	3.7	-5.6	-14.6	-24.3	-33.6
1,5 Fert.	-36.3	-45.6	-54.9	-64.3	-73.7

Como puede observarse, el sistema presenta una mayor sensibilidad a la variación en los precios de la carne, frente a la observada al fluctuar los precios de la urea. Por otra parte, aún con incrementos del 20% en el precio del producto final, ninguno de los tratamientos supera al testigo desde el punto de vista económico.

Los márgenes serían similares si se diera la situación en que en el precio de la carne aumentara un 10% y el precio de la urea descendiera un 20%. En este caso tendríamos márgenes brutos de 45.5 U\$S/ha para el campo natural, 44.5 y 41.3 U\$S/ha en los tratamientos fertilizados con cargas 1.2 y 0.9 UG/ha respectivamente. En la parcela con mayor carga el margen bruto se mantiene bajo (9 U\$S/ha), con respecto al obtenido en el campo natural.

Solamente en el caso de que se verificaran las dos situaciones extremas en forma conjunta, es decir un incremento del 20% en el precio de la carne y un descenso del 20% en el precio de la urea, los tratamientos fertilizados con una carga de 1.2 y 0.9 UG/ha superarían el margen bruto del testigo en 13 y 3 dólares por hectárea respectivamente (85 y 75 U\$S vs. 72U\$S). El tratamiento con mayor carga tendría un MB de 55 U\$S/ha.

5. CONCLUSIONES

Un solo año de evaluación en ensayos sobre campo natural, no es tiempo suficiente como para extraer conclusiones definitivas acerca de los efectos de los diferentes tratamientos sobre el tapiz. Puede sí permitir realizar algunas apreciaciones generales que se dieron en cuanto a la evolución de ciertos parámetros, tanto vegetales como animales, teniendo en cuenta que los factores climáticos son la principal causa en la variabilidad de la producción.

Las comunidades de plantas del campo natural responden a la fertilización con N y P. El agregado de fertilizante promueve cambios cualitativos y cuantitativos en la producción de forraje, así como en la composición botánica de las comunidades nativas de basalto.

La mejora en la nutrición mineral permite incrementar la producción primaria durante el año. Esta mayor productividad y mejor calidad de las pasturas se reflejan en una mayor producción secundaria (animal), cuya magnitud se encuentra directamente relacionada con la dotación utilizada.

La vegetación comienza a sufrir modificaciones que se manifiestan en una mayor densidad y un incremento de las frecuencias relativas de algunas especies invernales y pastos finos, los cuales ejercen mayor competencia con las especies de tipo ordinario, frente a esta tendencia se podría prever una evolución hacia niveles superiores de productividad del complejo suelo-planta-animal. El agregado de nutrientes conduce a la pradera natural hacia un nuevo punto de equilibrio, el cual puede ser inestable si se retira la presión de los factores determinantes de la evolución de la pastura.

A lo largo del período de evaluación pudo también observarse un rebrote más temprano de las pasturas desarrolladas sobre las parcelas fertilizadas, además de un retraso en la entrada en reposo de las especies componentes de las mismas, con el consiguiente alargamiento del período de crecimiento de las pasturas.

Las pasturas bajo fertilización mostraron una mayor capacidad para mantenerse verdes durante un mayor período de tiempo, lo que estaría demostrando una mayor resistencia frente a condiciones climáticas adversas para el crecimiento vegetal.

En función de los objetivos productivos planteados, el aumento en cantidad y calidad de la pastura, permite por un lado incrementar la capacidad de carga del campo natural, y por otro mejorar la performance individual de los animales con cargas superiores a las normalmente utilizadas en ésta región.

Si bien los resultados obtenidos en este primer año de evaluación tanto en la parte vegetal como animal pueden señalarse como satisfactorios, el uso de la fertilización en pasturas naturales a nivel comercial dependerá fundamentalmente de la relación insumo/producto.

Para que el uso de esta alternativa sea exitoso tanto desde el punto de vista biológico como económico, probablemente sea necesario definir claramente las categorías y las cargas animales a utilizar de forma que la misma tenga impacto sobre el sistema de producción.

6. BIBLIOGRAFIA

1. **ALBERDA, T.** 1960. The effect of nitrate nutrition on the carbohydrate content of *Lolium perenne*. In: International Grassland Congress (8th, 1960, Reading). Proceedings. pp. 612 - 617.
2. **ALVAREZ, C.P.; CLAVIJO, J.M.; RODRIGUEZ, J.C.** 1990. Evaluación de los sistemas de pastoreo, continuo y rotativo en campo natural sobre Basalto, en pastoreo mixto. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 150 p.
3. **ARNON, D.; STOUT, P.** 1989. Nutrición mineral. Montevideo, Facultad de Agronomía. Código 080. p. 3.
4. **AYALA, W.; CARAMBULA, M.** 1994. Nitrógeno en campo natural. INIA. Serie técnica 51: 33-42.
5. **BABER, H.L.; WILSON, A.T.** 1972. Nitrate pollution of groundwater in the Waikato region. *Chemistry N.Z.*, 36: 179 - 183.
6. **BALL, P.R.; KEENEY, D.R.** 1983. Nitrogen losses from urine - affected areas of a New Zealand pastures, under contrasting seasonal conditions. In: *International Grassland Congress (14th, 1983, Lexington) Proceedings*. pp. 342 - 344.
7. **BARROW, N.J.** 1975. The response to phosphate of two annual pasture species. I. effect of soil's ability to adsorb phosphate on comparative phosphate requirement. *Australian Journal of Agricultural Research* 26: 137 - 143.
8. **BECKWITH, R.S.** 1965. Sorbed phosphate at standard supernatant concentration as an estimate of the phosphate needs of soils. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 5: 52 - 58.
9. **BEMHAJA, M.; BERRETA, E.J.; RISSO, D.** 1994. Mejoramiento de campo: Fertilización nitrogenada. Pasturas y Producción Animal en Basalto. Jornada GLENCOE. pp. 2 - 7.

10. **BEMHAJA, M.; OLMOS, F.; LEVRATTO, J.** 1985. Caracterización Productiva de Tapices Naturales de Queguay Chico, Tacuarembó y Cuchilla de Caraguatá. *In: Seminario Nacional sobre Campo Natural (1º, 1985, Montevideo) Resúmenes, Montevideo, Facultad de Agronomía, MAP, Soc. Urug. Pasturas Naturales.* pp. 11.
11. **BERRETTA, E.J.; SAN JULIAN, R.; MONTOSI, F.; SILVA, J.A.** 1994. Pasturas Naturales y Producción Ovina en la Región de Basalto en Uruguay. *In: Congreso Mundial de Merino (4º, 1994, Montevideo) Montevideo, SUL.* pp. 259 - 270.
12. **BIDDISCOMBE, E.F.; OZANNE, P.G.; BARROW, N.J.; KEAYJ, J.** 1969. A comparison of growth rates and phosphorus distribution in a range of pasture species. *Australian Journal of Agriculture Research* 20: 1023 - 1034.
13. **BODDEY, R.M.; VICTORIA, R.L.** 1986. Estimation of biological nitrogen fixation associated with *Brachiaria* and *Paspalum* grasses using ¹⁵N labelled organic matter and fertilizer. *Plant Soil*, 90: 265 - 292.
14. **BOTTARO, C.; ZAVALA, F.** 1973. Efecto de la fertilización mineral NPK en la producción de forraje de algunas pasturas naturales del Uruguay. Tesis Grado Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía, 171 p.
15. **BROMFIELD, S.M.; SIMPSON, J.R.** 1974. Effects of management in soil fertility under pasture. 2. Changes in nutrient availability. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 14: 479 - 486.
16. **CABREIRA, C.; LOPES, G.; ROSITO, J.M.; SALDANHA, J.; DENARDIN, C.E.** 1988. Efeito da uréia sobre uma pastagem natural do Rio Grande do Sul. *Revista. Centro de Ciências Rurais.* 18: (3-4): 355 - 367
17. **CARAMBULA, M.** 1978. Producción de pasturas. *In: Centro de Investigaciones Agrícolas "Alberto Boerger". La Estanzuela, Colonia, Uruguay. Pasturas IV.* pp. 1 - 31.
18. **CASTRO, M.; SARAVIA, H.** 1989. Evaluación de un sistema de pastoreo sobre suelo de Basalto para producción de carne y lana. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 277 p.
19. **CASTRO, E.** 1980. Trabajos en pasturas. I. Jornada Ganadera de Basalto. Molles del Queguay. Estación Experimental del Norte. CIAAB. Tacuarembó. 102 p.

20. **CASTRO, J.L.; ZAMUZ, E.M. de; OUDRI, N.** 1976. Guía para fertilización de pasturas. La Estanzuela, Centro de Investigaciones Agrícolas "Alberto Boerger". (Mimeografiado).
21. **CASTRO, E.; GONZALEZ, J.; GUTIERREZ, A.; MENDOZA, N.; MORALES, R.** 1973. Proyecto Regional en la Zona de Basalto. *In: Centro de Investigaciones Agrícolas "Alberto Boerger". La Estanzuela, Colonia, Uruguay. Pasturas II.* pp. 1 - 31.
22. **CATCHPOOLE, V.R.** 1975. Pathways for losses of fertiliser nitrogen from a Rhodes grass pasture in South-eastern Queensland. *Australian Journal of Agriculture Research* 26: 259 - 268.
23. **CHANG, S.C.; JACKSON, M.L.** 1957. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Science*, Baltimore, 84 (2): 133 - 144.
24. **CHOPPING, G.D.; LOWE, K.F.; CLARKE, L.** 1983. Irrigation systems. *In: 'Dairy management in the '80s, focus on feeding, 1. Seminar sessions and farm feeding workshops'*. (Ed. L. Wisbart), pp. 109 - 120.
25. **CLARK, F.E.; PAUL, E.A.** 1970. The microflora of grassland. *Advances of Agronomy* 22: 375 - 435.
26. **COLL, J.; ZARZA, A.** 1992. Leguminosas Nativas Promisorias: Trébol Polimorfo y babosita. INIA. Boletín de Divulgación N° 22.
27. **CONFORTH, I.S.; SINCLAIR, A.G.** 1984. Pasture maintenance phosphorus. *In: Ministry of Agriculture & Fisheries, ed. Fertiliser and lime recommendations for pastures and crops in New Zealand. 2^a ed.*, pp. 10 - 13.
28. **CORONEL, F.; MARTINEZ, P.** 1983. Evolución del tapiz natural bajo pastoreo continuo de bovinos y ovinos en diferentes relaciones. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 109 p.
29. **CORSI, W.C.** 1978. Clima. *In: C.I.A.A.B. La Estanzuela. Pasturas IV.* pp. 255 - 266.
30. **CREMPIEN, CH.** 1983. Antecedentes Técnicos y Metodología Básica para Utilizar en Presupuestación en Establecimientos Ganaderos. Buenos Aires. Hemisferio Sur. 72 p.

31. **CULLEN, N.A.; STEELE, K.W.** 1983. Nitrogen in New Zealand Agriculture - A research viewpoint. *In: Fert. Manuf. Res. Assoc. (8th, 1983, Auckland, N.Z.) Proceedings.* pp. 5 - 10.
32. **DENMEAD, O.T.; FRENEY, J.R.; SIMPSON, J.R.** 1979. Studies of nitrous-oxide emission from a grass sward. *Soil Scientific Society Am. Journal* 43: 726 - 728.
33. **DOS SANTOS, J.A.; RICCETO, J.P.; RIOS, C.M.** 1992. Efectos del método de pastoreo, relación lanar/vacuno y dotación sobre la productividad de pasturas naturales. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 118 p.
34. **DURING, C.** 1972. 'Fertilisers and Soils in New Zealand Farming'. 2^a ed. Wellington, N.Z., Govt Printer.
35. **ESCUADERO, J.; MORÓN, A.** 1978. Caracterización de la capacidad de fijación de fósforo de distintos suelos del Uruguay. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 100 p.
36. **FIELD, T.R.O.; BALL, P.R.** 1982. Nitrogen balance in an intensively utilised dairy farm system. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*, 43: 64 - 69.
37. **FORMOSO, F.A.** 1994. Efecto de dosis y momento de aplicación de nitrógeno sobre la producción de semilla de Festuca Tacuabé, Falaris Urunday y Dactilis Oberon. *In: Morón A., Nitrógeno en Pasturas, Montevideo, INIA. (Serie técnica, 51).* pp. 19 - 25.
38. **GILLINGHAM, A.G.; DURING, C.** 1973. Pasture production and transfer of fertility within a long-established hill pasture. *New Zealand Journal of Experimental Agriculture*, 1: 227 - 232.
39. **GONZO, C.R.; MARROIG, J.G.** 1982. Evaluación de diferentes relaciones ovino-vacuno sobre pasturas naturales de Basalto. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 114 p.
40. **GRAHAM, T.W.G.; MYERS, R.J.K.; DORAN, J.W.; CATCHPOOLE, V.R.; ROBBINS, G.B.** 1985. Pasture renovation: the effect of cultivation on the productivity and nitrogen cycling of a Buffel grass (*Cenchrus ciliaris*) pasture. *In: International Grassland Congress (15th, 1985, Kyoto) Proceedings.* pp. 640 - 642.

41. **HAAS, H.J.; GRUNES, D.L.; REICHMAN, G.A.** 1961. Phosphorus changes in great plains soils as influenced by cropping and manure applications. *Soil Science Society of American proceedings*, 25 (3): 214 - 218.
42. **HARPER, L.A.; CATCHPOOLE, V.R.; VALLIS, I.** 1983. Ammonia loss from fertiliser applied to tropical pastures. *In: Gaseous loss of nitrogen from plant soil systems.* (Eds. J.R. Freney and J.R. Simpson). pp. 195 - 214. The Hague. Martinus Nijhoff.
43. **HAYNES, R.J.** 1984. Lime and phosphorus in the soil-plant-system. *Advances in Agronomy* 37: 249 - 315.
44. **HAYNES, R.J.; WILLIAMS, P.H.** 1993. Nutrient Cycling and Soil Fertility in the Grazed Pasture Ecosystem. *Advances in Agronomy*, 49: 119 - 199.
45. **HENZELL, E.F.; ROSS, P.J.** 1973. The nitrogen cycle of pasture ecosystems. (Eds: G.W. Budler and R.W. Bailey) *In: 'Chemistry and Biochemistry of Herbage'* 2: 227 - 246.
46. **HOGLUND, J.H.; BROCK, J.L.** 1978. Regulation of nitrogen fixation in a grazed pasture. *New Zealand Journal of Agriculture Research* 21: 73 - 82.
47. **HOLMES, W.** 1974. The role of nitrogen fertilizer in production of beef from grass. *Proceedings Symposium Fertiliser Society* 142: 57 - 66.
48. **JOHNSTON, A.; SMOLIAK, S.; SMITH, A.P.; LUTWICK, L.E.** 1969. Seasonal precipitation, evaporation, soil moisture and yield of fertilized range vegetation. *Canadian Journal of Plant Science* 49 (2): 123 - 128.
49. **LINDSAY, W.L.; VLEK, P.L.G.** 1977. Phosphate minerals. *In: J.B. Dixon and S.B. Weed (ed.) Minerals in soil environments.* *Soil Science Society of America.* pp. 639 - 672.
50. **LOWE, K.F.; HAMILTON, B.A.** 1986. Dairy pastures in the Australian tropics and subtropics. *In: Australian Conference on Tropical Pastures.* (3rd, 1986, Australia) Proceedings. pp. 68 - 79.
51. **MACEDO, W.; NETO, J.O.; GIRARDI-DEIRO, A.M.** 1985. Melhoramento de pastagem natural com fosfatos e introdução de leguminosas em solo da fronteira oeste do Rio Grande do Sul. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo* 9: 63 - 74.

52. **MEIRELLES, M.E.; RIANI, J.E.** 1987. Producción de forraje según tres frecuencias de corte en suelos de diferente profundidad desarrollados sobre Basalto. Parte II. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 106 p.
53. **MENDES, J.; CODEVILLA, H.; SILVA, A.; MACEDO, W.** 1968. Influencia da adubação e sistemas de pastejo na produção de pastagens naturais. *In: Relatório Anual da Estação Experimental de Criação "Cinco Cruzes"* pp. 11 - 16.
54. **MILLER, E.; MUJICA, R.; RAVASCHIO, R.** 1986. Comparación de dos sistemas de pastoreo para producción de carne, en un campo natural sobre cristalino. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 166 p.
55. **MILLOT, J.C.; RISSO, D.F.; METHOL, R.** 1987. Relevamiento de pasturas naturales y mejoramientos extensivos en áreas ganaderas del Uruguay. Informe Técnico a la CHPA, Montevideo, Consultora FUCREA. 195 p.
56. **MORLEY, F.H.W.** 1978. Animal production studies. *In: Measurement of Grassland Vegetation and Animal Production (L. t Manetzi Ej)* C.A.B. XV: 260 pp.
57. **MORON, A.** 1992a. El fósforo en el sistema suelo-planta. *In: Morón, A.; Baethgen, W., ed. Revista INIA Investigaciones Agronómicas, 1 (1): 45 - 60.*
58. **MORON, A.; KIEHL, C.** 1992b. Dinámica del fósforo en tres sistemas agrícolas en el suroeste de Uruguay. *In: Morón, A.; Baethgen, W., ed. Revista INIA Investigaciones Agronómicas, 1 (1): 61 - 84.*
59. **MORON, A.** 1994. El ciclo del nitrógeno en el sistema suelo-planta-animal. INIA. Serie técnica 51: 1 -12.
60. **MORON, A.** 1996. El fósforo en los sistemas productivos: dinámica y disponibilidad en el suelo (I). INIA. Serie técnica 76: 37 - 43.
61. **MYERS, R.J.K.; HENZELL, E.F.** 1985. Productivity and Economics of legume-based versus nitrogen-fertilised grass-based forage systems in Australia. *In: 'Forage legumes for energy efficient animal production'*. (Eds. R.F. Barnes, P.R. Ball, R.W. Brougham, G.C. Martin and D.J. Minson). pp. 40 - 46.
62. **NATIONAL RESEARCH COUNCIL.** 1982. United States-Canadian Tables of feed composition. Washington, USDA. 148 p.

63. **NETO GONÇALVES, J.O.** 1979. Nitrogenio e produção de materia seca do azevem. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*. 14 (1): 47 - 51.
64. **NORMAN, M.J.** 1962. Response of native pasture to nitrogen and phosphate fertilizer at Katherine. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 4 (2): 27 - 34.
65. **O'CONNOR, K.F.** 1961. Nitrogen and grassland production in the mid- altitude zone of Canterbury. III. The effects of nitrogen and other fertiliser materials on uncultivated pastures. *New Zealand Journal of Agriculture Research* 4: 709 - 721.
66. **O'CONNOR, K.F.** 1974. Nitrogen in agrobiosystems and its environmental significance. *New Zealand Agricultural Science* 8: 137 - 148.
67. **O'CONNOR, M.B.** 1982. Nitrogen fertilizers for the production of out-of-season grass. *In: 'Nitrogen Fertilizers in New Zealand Agriculture'* (Ed. P.B. Lynch) Wellington, New Zealand Institute of Agricultural Science. pp 65 - 76.
68. **OLSEN, S.R.; KHASAWNEH, F.E.** 1980. Use and limitations of physical-chemical criteria for assessing the status of phosphorus in soils. *In: F.E. Kasawneh, E.N.C. Samples and E.J. Kamprath (eds.) The role of phosphorus in agriculture. Soil Science Society of America.* pp. 361 - 410.
69. **PEREIRA REGO, H.H.** 1977. Efeito de doses de nitrogenio e intervalos entre cortes sobre a produção de materia seca e proteína bruta de dois ecotipos de *Paspalum dilatatum* Poir, um ecotipo de *Paspalum notatum* fluegge e a cultivar pensacola (*P. notatum* fluegge var. *Saurae parodi*). Anuario técnico do IPZFO 4: 201 - 232.
70. **REBUFFO, M.** 1994. Fertilización nitrogenada en pasturas mezcla. *In: INIA, Nitrógeno en Pasturas. Serie técnica* 51: 19 - 25.
71. **RICHARDSON, H.L.** 1938. The nitrogen cycle in grassland soils: with special reference to the Rothamsted Park Grass Experiment. *Journal of Agriculture Science* 28: 73 - 121.
72. **SARATHCHANDRA, S.U; BOASE, M.R.; PERROT, K.W.; WALLER, J.E.** 1987. Seasonal changes and the effects of fertilisers on chemical and biochemical characteristics of high producing pastoral soil. II. Nitrogen. *New Zealand Journal of Agriculture Research*, 1987.

73. **SEARS, P.D.; GOODALL, V.C.; JACKMAN, R.H.; ROBINSON, G.S.** 1965. Pasture growth and soil fertility. VII. The influence of grasses, white clovers, fertilizers and the return of herbage clippings on pasture production of an impoverished soil. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 8: 270 - 283.
74. **SHARPLEY, A.N.; MENZEL, R.G.** 1987. The impact of soil and fertilizer phosphorus on the environment. *Advances in Agronomy*, 41: 297 - 324.
75. **SHARPLEY, A.N.; SMITH, S.J.** 1983. Distribution of phosphorus forms in virgin and cultivated soils and potential erosion losses. *Soil Science Society of America Journal* 47: 581 - 586.
76. **SIMPSON, J.R.** 1962. Mineral nitrogen fluctuations in soils under improved pasture in southern New South Wales. *Australian Journal of Agricultural Research* 13: 1059 - 1072.
77. **SIMPSON, J.R.** 1968. Comparison of the efficiencies of several nitrogen fertilizers applied to pasture in autumn and winter. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 8: 301 - 308.
78. **SIMPSON, J.R.; BROMFIELD, S.M.; Mc KINNEY, G.T.** 1974. Effects of management on soil fertility under pasture. 1. Influence of experimental grazing and fertilizer system on growth, composition and nutrient status of the pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 145: 470 - 478.
79. **SIMPSON, J.R.; STOBBS, T.H.** 1981. Nitrogen supply and animal production from pastures. In: 'Grazing Animals', ed. F.H.W. Morley. Amsterdam, Elsevier. pp. 261 - 287.
80. **SIMPSON, J.R.; STEELE, K.W.** 1983. Gaseous nitrogen exchanges in grazed pastures. In: Gaseous loss of nitrogen from plant soil systems. (Eds. J.R. Freney and J.R. Simpson) (The Hague, Martinus Nijhoff). pp. 215 - 236.
81. **SIMPSON, J.R.** 1987. Nitrogen nutrition of pastures. In: J.L. Wheeler, C.J. Pearson and G.E. Robards (eds), Temperate pastures. CSIRO, Australia. pp. 143 - 154.
82. **STEELE, K.W.** 1982. Nitrogen in Grassland Soils. In: Lynch, P.B., ed. Nitrogen Fertilizers in New Zealand Agriculture. Cap 3, pp. 29 - 44.

83. **STEELE, K.W.; JUDD, M.J.; SHANNON, P.W.** 1984. Leaching of nitrate and other nutrients from a grazed pasture. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 27: 5 - 11.
84. **STEELE, K.W.; BROCK, J.L.** 1985. Nitrogen cycling in legume-based forage production system in New Zealand. *In: 'Forage legumes for energy efficient animal production'*. (Ed. R.F. Barnes, P.R. Ball, R.W. Brougham, G.C. Martin and D.J. Minson). pp. 171 - 176.
85. **STEELE, K.W.** 1987. Nitrogen losses. *In: 'Managed Grasslands'*. (Ed. R.W. Snaydon). Amsterdam, Elsevier. pp. 197 - 204.
86. **STEELE, K.W.; VALLIS, I.** 1988. The nitrogen cycle in pasture. *In: Wilson, J.R., ed. Advances in nitrogen cycling in agricultural ecosystems*. Wallingford, Oxon, CAB. pp. 274 - 291.
87. **STEVENSON, F.J.** 1982. Origin and distribution of nitrogen in soil. *In: 'Nitrogen in Agricultural Soils'*. (Ed. F.J. Stevenson). Agronomy N° 22, pp. 1 - 42.
88. **TERMEZANA, A.** 1975. Región Basáltica. *In: Uruguay. Ministerio de Agricultura y Pesca. Centro de Investigaciones Agrícolas Alberto Boerger. Pasturas IV. Montevideo, 1978.* pp. 9 -24.
89. **THORNTON, R.F.; MINSON, D.J.** 1973. The relationship between apparent retention time in the rumen, voluntary intake and apparent digestibility of legume and grass diets in sheep. *Australian Journal of Agricultural Research* 24: 889 - 898.
90. **VALLIS, I.; GARDENER, C.J.** 1984. Short-term nitrogen balance in urine-treated areas of pasture on a yellow earth in the subhumid tropics of Queensland. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry* 24: 522 - 528.
91. **VALLIS, I.** 1983. Uptake by grass and transfer to soil of nitrogen from ¹⁵N-labeled legume materials applied to a Rhodes grass pasture. *Australian Journal of Agricultural Research* 34: 267 - 376.
92. **VICKERY, P.J.** 1981. Pasture growth under grazing. *In: 'Grazing Animals'*, ed. F.H.W. Morley, pp. 55 - 78. Elsevier Scientific Publishers Company, Amsterdam.

93. **WALKER, T.W.; THAPA, B.K.; ADAMS, A.F.R.** 1959. Studies on soil organic matter. 3. Accumulation of carbon, nitrogen, sulfur, organic and total phosphorus in improved grassland soils. *Soil Science* 87: 135 - 140.
94. **WERNER, J. C.** 1984. Adubação de pastagens. São Paulo. Secretaria de Agricultura e Abastecimento, Instituto de Zootecnia. Boletim técnico N° 18: 49 p.
95. **WHITEHEAD, D.C.** 1970. The role of nitrogen in grassland productivity. Common. Bur. Pastures Field Crops, Hurley, Berkshire, Bull. 48, 202 p.
96. **WOODMANSEE, R.J.** 1979. Factors influencing input and output of nitrogen in grasslands. *In: 'Perspectives in Grassland Ecology'*. (Ed. N. French). pp. 117 - 134.
97. **WOODMANSEE, R.G.; VALLIS, I.; MOTT, J.J.** 1981. Grassland nitrogen. *In: 'Terrestrial Nitrogen Cycles: Processes, Ecosystem Strategies and Management Impacts'*. (Eds. F.E. Clark and T. Rosswall). pp. 443 - 462.
98. **WOLDENDORP, J.W.** 1962. The quantitative influence of the rizosphere on denitrification. *Plant Soil* 17: 267 - 270.
99. **ZAMALVIDE, J.P.** 1992. Dinámica de fósforo en los suelos con especial referencia a la disponibilidad en rotaciones de cultivos y pasturas. *In: Morón, A., Revista INIA Investigaciones Agronómicas*, 1 (1): 85 - 93.
100. **ZAMALVIDE, J.P.** 1996. El fósforo en los sistemas productivos: dinámica y disponibilidad en el suelo (II). INIA. Serie técnica 76: 45 - 49.
101. **ZUNINO, R.F.; BAPTISTA, I.** 1988. Producción de forraje según tres frecuencias de corte en suelos de diferente profundidad desarrollados sobre Basalto. Parte II. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 100 p.