

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA

FACULTAD DE AGRONOMIA

**EVALUACION DE LA FERTILIZACION NITROGENADA
DE CAMPO NATURAL BAJO PASTOREO DE VACUNOS
EN EL PERIODO OTOÑO-INVERNAL**

por

**María Elena PEIRANO PUIGVERT
Ana Daniela RODRIGUEZ CARVALLO**

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

**SALTO
URUGUAY
2004**

Tesis aprobada por:

Ing. Agr. M.Sc. Ricardo Rodriguez Palma

Ing. Agr. M.Sc. Ph.D. Pablo Boggiano

Ing. Agr. Paul Vergnes

Ing. Agr. Jorge Andion

Fecha: _____

Autores:

María Elena Peirano Puigvert

Ana Daniela Rodríguez Carvallo

AGRADECIMIENTOS

A nuestros padres Marta y Carlos, Ana María y Daniel por habernos dado la posibilidad de estudiar.

A nuestras familias por el apoyo brindado.

A nuestro director de tesis Ing. Agr. M.Sc. Ricardo Rodríguez Palma por orientarnos en el transcurso del trabajo, y a su familia por recibirnos en su hogar.

A las personas que colaboraron durante el período experimental, en especial a Teresa Rodríguez y a Silvia Saldanha.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PAGINA DE APROBACION	II
AGRADECIMIENTOS	III
LISTA DE CUADROS	IV
LISTA DE GRAFICAS Y FIGURAS	VI
1. <u>INTRODUCCION</u>	1
2. <u>REVISION BIBLIOGRAFICA</u>	3
2.1 <u>INTRODUCCION</u>	3
2.2 <u>ANALISIS DEL CRECIMIENTO DE PLANTAS FORRAJERAS</u>	4
2.2.1 <u>Características morfogénicas de las plantas</u>	5
2.2.2 <u>Características estructurales del tapiz</u>	8
2.3 <u>FACTORES QUE DETERMINAN EL CRECIMIENTO DE FORRAJE</u>	10
2.3.1 <u>Efecto de la cantidad y calidad de luz</u>	10
2.3.2 <u>Efecto de la temperatura</u>	12
2.3.3 <u>Efecto del nitrógeno</u>	14
2.4 <u>FLUJOS DE TEJIDO FOLIAR BAJO CONDICIONES DE PASTOREO</u>	17
2.4.1 <u>Efecto de la estructura de la pastura sobre los flujos de tejido foliar</u>	18
2.4.2 <u>Efecto de la fertilización nitrogenada sobre las características estructurales de la pastura y los flujos de tejido foliar</u>	21
2.4.3 <u>Efecto de la fertilización nitrogenada sobre los patrones de defoliación y la eficiencia de utilización del forraje</u>	24
2.5 <u>CONCLUSIONES</u>	26
2.6 <u>OBJETIVOS</u>	27
2.6.1 <u>Objetivos generales</u>	27
2.6.2 <u>Objetivos específicos</u>	27
2.7 <u>HIPOTESIS</u>	28
3. <u>MATERIALES Y METODOS</u>	29
3.1 <u>CONDICIONES EXPERIMENTALES GENERALES</u>	29
3.1.1 <u>Localización</u>	29
3.1.2 <u>Suelos</u>	29
3.1.3 <u>Material vegetal</u>	30
3.1.4 <u>Condiciones climáticas</u>	31
3.1.5 <u>Animales</u>	31

3.2	TRATAMIENTOS Y PERIODO EXPERIMENTAL	32
3.3	CONDUCCION DEL PASTOREO	32
3.4	MEDICIONES GENERALES EN LA PASTURA	33
3.4.1	<u>Disponible y rechazo</u>	33
3.4.2	<u>Crecimiento</u>	33
3.4.3	<u>Altura de la cubierta</u>	33
3.4.4	<u>Relación entre altura y disponibilidad de forraje</u>	33
3.5	MEDICIONES DETALLADAS EN LA PASTURA	34
3.6	MEDICIONES EN EL LABORATORIO	34
3.7	MEDICIONES EN LOS ANIMALES	35
3.8	ESTIMACION DE FLUJOS DE TEJIDOS	35
3.8.1	<u>Estimación del crecimiento</u>	35
3.8.2	<u>Estimación de la senescencia</u>	36
3.9	ESTIMACION DEL CONSUMO ANIMAL.....	36
3.10	BALANCE ENTRE LOS FLUJOS DE TEJIDOS.....	37
3.10.1	<u>Determinación del crecimiento neto del forraje</u>	37
3.10.2	<u>Estimación de la eficiencia de utilización del crecimiento de forraje</u>	37
3.11	ESTIMACION DE LOS MECANISMOS MORFOGENETICOS.....	38
3.12	ESTIMACION DE LOS PATRONES DE DEFOLIACION.....	38
3.13	RESPUESTA A LA SUMA TERMICA.....	38
3.14	ANALISIS ESTADISTICO	39
4.	<u>RESULTADOS</u>	41
4.1	CONDICIONES EXPERIMENTALES GENERALES	41
4.1.1	<u>Tasas de crecimiento</u>	41
4.1.2	<u>Forraje</u>	41
4.1.3	<u>Altura del tapiz</u>	41
4.2	EFFECTO DE LA FERTILIZACION NITROGENADA EN LAS TASAS FOLIARES	42
4.2.1	<u>Tasas de elongación foliar</u>	43
4.2.1.1	Relación entre la tasa de elongación y la suma térmica.....	44
4.2.2	<u>Senescencia foliar</u>	44
4.2.2.1	Relación entre la tasa de senescencia y la suma térmica.....	45
4.2.3	<u>Elongación foliar neta</u>	46
4.2.3.1	Relación entre la tasa de elongación neta y la suma térmica.....	46
4.2.4	<u>Consumo foliar</u>	47
4.3	EFFECTO DE LA FERTILIZACION NITROGENADA EN LAS TASAS POR INDIVIDUO	48
4.3.1	<u>Crecimiento bruto individual</u>	48
4.3.2	<u>Senescencia individual</u>	49
4.3.3	<u>Crecimiento neto individual</u>	50
4.3.4	<u>Consumo a nivel de individuo</u>	50

4.4 EFECTO DE LA FERTILIZACION NITROGENADA EN LOS FLUJOS DE TEJIDO POR UNIDAD DE SUPERFICIE	51
4.4.1 <u>Crecimiento bruto diario por superficie</u>	51
4.4.2 <u>Senescencia diaria por superficie</u>	52
4.4.3 <u>Crecimiento neto diario por superficie</u>	52
4.4.4 <u>Consumo diario por superficie</u>	53
4.4.4.1 Relación entre el consumo diario por superficie y la carga promedio	54
4.5 EFECTO DE LA FERTILIZACION NITROGENADA SOBRE LOS PATRONES DE DEFOLIACION POR CATEGORIA DE EDAD DE LA HOJA	55
4.5.1 <u>Porcentaje de defoliación por categoría de edad de la hoja</u>	55
4.5.2 <u>Tasa de defoliación por categoría de edad de la hoja</u>	56
4.5.3 <u>Consumo por categoría de edad de la hoja</u>	57
4.6 EFECTO DE LA FERTILIZACION NITROGENADA SOBRE LOS PATRONES DE DEFOLIACION POR INDIVIDUO	59
4.6.1 <u>Porcentaje de defoliación promedio por individuo</u>	59
4.6.2 <u>Tasa de defoliación promedio por individuo</u>	61
4.6.3 <u>Intervalo de defoliación promedio por individuo</u>	61
4.7 EFECTO DE LA FERTILIZACION NITROGENADA SOBRE LAS VARIABLES MORFOGENETICAS Y CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES.....	62
4.7.1 <u>Intervalo de aparición de hojas</u>	63
4.7.2 <u>Tasa de aparición foliar</u>	64
4.7.3 <u>Vida media foliar</u>	64
4.7.4 <u>Longitud de hoja promedio</u>	65
4.7.5 <u>Longitud foliar total</u>	66
4.7.5.1 Relación entre la longitud total foliar y la suma térmica	66
4.7.6 <u>Población de macollos</u>	67
4.7.7 <u>Porcentaje de individuos según tamaño</u>	68
4.7.8 <u>Peso promedio del macollo por tipo de individuo</u>	68
4.7.9 <u>Peso gravimétrico de la hoja</u>	69
4.7.10 <u>Ancho de lámina</u>	70
4.7.11 <u>Número de hojas verdes por macollo</u>	70
4.8 EFECTO DE LA FERTILIZACION NITROGENADA EN LA EFICIENCIA DE USO DEL FORRAJE	71
4.9 EFECTO DE LA FERTILIZACION NITROGENADA EN LA PRODUCCION ANIMAL.....	72
5. <u>DISCUSION</u>	75
5.1 CONSIDERACIONES SOBRE EL CONTROL DEL ESTADO DE LA PASTURA	75
5.2 CRECIMIENTO	76

5.3 CONSUMO	78
5.4 SENESCENCIA	79
5.5 CRECIMIENTO NETO	83
5.6 PATRONES DE DEFOLIACION	85
5.6.1 <u>Intervalo de defoliación del individuo</u>	85
5.6.2 <u>Porcentaje de hoja defoliada por individuo</u>	86
5.6.3 <u>Patrones de defoliación por categoría de edad de las hojas</u>	87
5.7 LONGITUD FOLIAR TOTAL	88
5.8 RELACION ENTRE PESO Y NUMERO DE MACOLLOS	89
5.9 NUMERO DE HOJAS VERDES.....	90
5.10 EFICIENCIA DE UTILIZACION DEL FORRAJE	90
5.11 PRODUCCION ANIMAL	91
6. <u>CONCLUSIONES</u>	92
7. <u>RESUMEN</u>	94
8. <u>SUMMARY</u>	96
9. <u>BIBLIOGRAFIA</u>	98
10. <u>ANEXOS</u>	104

LISTA DE CUADROS

Cuadro N°	Página
1. Perfil de Litosol.....	29
2. Perfil de Brunosol	30
3. Temperatura media del aire (° C), precipitaciones acumuladas (mm) y número de ocurrencia de heladas durante el experimento	31
4. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre la tasa de crecimiento del forraje (Kg MS/ha/día) durante el período de mediciones detalladas	41
5. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre la altura del tapiz promedio (cm) durante el período de mediciones detalladas	42
6. Significancia de los análisis de varianza para la tasa de elongación, senescencia, elongación neta y consumo en función de los factores considerados.....	43
7. Efecto de la fertilización nitrogenada y la especie sobre la tasa de elongación foliar (cm/macollo/día).....	43
8. Efecto de la fertilización nitrogenada y la especie en la relación entre la tasa de elongación foliar y la suma térmica	44
9. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre la tasa de senescencia foliar (cm/macollo/día).....	45
10. Efecto de la fertilización nitrogenada y la especie en la relación entre la tasa de senescencia foliar y la suma térmica	45
11. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre la tasa de elongación foliar neta (cm/macollo/día).....	46
12. Efecto de la fertilización nitrogenada y la especie en la relación entre la tasa de elongación neta y la suma térmica	47
13. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el consumo foliar (cm/macollo/día)	47

14. Significancia de los análisis de varianza para el crecimiento bruto, senescencia, crecimiento neto y consumo individual en función de los factores considerados	48
15. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el crecimiento bruto (mg MS/macollo/día)	49
16. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre la senescencia individual (mg MS/macollo/día)	49
17. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el crecimiento neto individual (mg MS/macollo/día)	50
18. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el consumo a nivel de individuo (mg MS/macollo/día)	50
19. Significancia de los análisis de varianza para crecimiento bruto, senescencia, crecimiento neto y consumo por superficie en función de los factores considerados	51
20. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el crecimiento bruto por superficie (Kg MS/ha/día)	52
21. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre la senescencia por superficie (Kg MS/ha/día)	52
22. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el crecimiento neto por superficie (Kg MS/ha/día)	53
23. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el consumo por superficie (Kg MS/ha/día)	53
24. Relación entre el consumo diario total por superficie y la carga promedio	54
25. Efecto de la especie sobre el porcentaje de defoliación por categoría de edad de la hoja en cada nivel de fertilización nitrogenada	56
26. Significancia de los análisis de varianza para tasa de defoliación por categoría de hoja en función de los factores considerados	56
27. Efecto de la especie sobre la tasa de defoliación por categoría de edad de la hoja (hojas/día) en cada nivel de fertilización nitrogenada	57

28. Efecto de la especie sobre el consumo por categoría de hoja (%) en cada nivel de fertilización nitrogenada.....	58
29. Significancia de los análisis de varianza para porcentaje, tasa de defoliación e intervalo de defoliación promedio por individuo en función de los factores considerados.....	59
30. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el porcentaje de hoja promedio defoliada por individuo.....	60
31. Relación entre el porcentaje de hoja promedio defoliada y la carga animal promedio.....	60
32. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre la tasa promedio de defoliación por individuo (hojas/día).....	61
33. Efecto de la fertilización nitrogenada y la especie sobre el intervalo de defoliación promedio (días) por individuo.....	61
34. Relación entre el intervalo de defoliación y la carga animal promedio.....	62
35. Significancia de los análisis de varianza para las variables morfológicas y características estructurales en función de los factores considerados.....	63
36. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el intervalo de aparición de hojas (días).....	64
37. Efecto de la fertilización nitrogenada y la especie sobre la tasa de aparición foliar (hojas/días).....	64
38. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre la vida media foliar (días).....	65
39. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre la longitud de hoja promedio (cm/hoja).....	65
40. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre la longitud foliar total del macollo (cm/individuo).....	66
41. Efecto de la fertilización nitrogenada en la relación entre la longitud foliar total y la suma térmica.....	67

42. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre la población de macollos (n° macollos/m ²)	67
43. Efecto de la aplicación de nitrógeno sobre el porcentaje por tipo de individuo	68
44. Efecto de la aplicación de nitrógeno sobre el peso promedio del macollo (gramos) según su tamaño.....	69
45. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el peso gravimétrico (mg/mm) en hojas elongando y maduras	70
46. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el ancho de lámina (mm)	70
47. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el número de hojas verdes por macollo	71
48. Significancia de los análisis de varianza para la eficiencia de utilización potencial y actual en función de los factores considerados.....	71
49. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre la eficiencia de utilización potencial y actual (%)......	72
50. Efecto de la aplicación de nitrógeno sobre las variables de producción animal	73

LISTA DE GRAFICAS Y FIGURAS

Gráfica N°	Página
1. Evolución de la altura del tapiz en el período de mediciones detalladas	42
2. Consumo diario total de <i>B. auleticus</i> y <i>S. setigera</i> en función del nivel de nitrógeno	54
3. Relación entre consumo diario promedio por especie y consumo total por superficie en función de la carga promedio	55
4. Consumo promedio de ambas especies por categoría de hoja (expresado como porcentaje del consumo total) según nivel de fertilización nitrogenada, (H1, H2, H3, H4, H5 = hoja 1, 2, 3, 4, 5; desde la más nueva a la más vieja)	58
5. Evolución del peso vivo en el período del experimento	73
6. Tasa de elongación foliar (TEF) de las especies en función de la suma térmica para ambos niveles de fertilización nitrogenada	77
7. Tasa de senescencia foliar (TSF) de las especies en función de la suma térmica para ambos niveles de fertilización con nitrógeno	80
8. Efecto de la fertilización nitrogenada en la relación entre la tasa de elongación neta (TEN) y la suma térmica en las dos especies.....	83
9. Relación entre el intervalo de defoliación y la carga animal promedio	85
10. Relación entre el consumo total (CT) y el intervalo de defoliación (ITD)	86
11. Relación entre el porcentaje de hoja defoliada promedio y la carga animal.....	87
12. Efecto de la fertilización nitrogenada en la relación entre la longitud foliar total (LFT) y la suma térmica.....	89
13. Relación entre el logaritmo neperiano de peso y número de macollo	90

Figura N°

Página

1. Relación entre las variables morfogenéticas y las características estructurales de la pastura (Lemaire, 1997; Lemaire; Agnusdei, 1999) 7

1. INTRODUCCION

Las pasturas naturales del Uruguay, principal base forrajera de la ganadería, poseen una rica diversidad genética de especies nativas que determinan su estabilidad productiva a través de los años. A pesar de ello, las escasas medidas de manejo que se realizaron desde la introducción del ganado han determinado un progresivo deterioro de esta base forrajera (Zanoniani et al., 2001).

Las pasturas nativas constituyen asociaciones complejas y heterogéneas de carácter herbáceo con diferentes características morfológicas y biológicas. El principal componente son las gramíneas, las cuales alcanzan a un número cercano a 400 (Del Puerto, 1969, citado por Carámbula, 1997). Completando este grupo se encuentran una cantidad pequeña de leguminosas y un conjunto elevado de malezas (Carámbula, 1997).

Nuestros tapices naturales presentan una mayor aptitud estival que invernal, lo que resulta lógico ya que las gramíneas C₄ contribuyen entre un 75 a un 95% de la biomasa aérea (Millot et al., 1987), lo que lleva por lo tanto a una tendencia generalizada de disponer de una mayor producción de forraje en el período primavera-estivo-otoño. Por consiguiente las especies invernales, menos frecuentes, resultan de gran valor para sobrellevar la crisis invernal, debiéndose favorecer en todos los casos su desarrollo (Carámbula, 1997).

El pastoreo continuo sin variaciones de la carga, ante las fluctuaciones climáticas, determina el aumento de la presión de pastoreo durante el invierno sobre las especies invernales, provocando su reducción, y en muchos casos la desaparición y consecuente disminución de la productividad total del predio (Zanoniani et al., 2001).

Al realizar mejoramientos de campo incrementando las condiciones de fertilidad, es posible que algunas de las especies presentes de mayor eficiencia en el uso de los nutrientes prosperen ciertamente, pero el avance de las mejores adaptadas a un nivel de fertilidad mayor (C₃) puede ocurrir muy despacio (Carámbula, 1997).

En pasturas naturales bajo corte y con aplicaciones moderadas de nitrógeno (150 Kg/ha), es posible obtener niveles similares o superiores en producción de forraje que con pasturas sembradas (Tallowin et al., 1990).

Al aumentar la producción de la pastura natural, la carga animal es la herramienta más importante para elevar la productividad, requiriéndose un ajuste del número de animales para mantener la pastura a una altura o volumen predeterminada de acuerdo con las condiciones ecológicas y de producción de cada situación, tratando de lograr siempre la máxima productividad animal y la mayor eficiencia económica.

Este trabajo tiene como objetivo evaluar el efecto de la fertilización nitrogenada en el período otoño principio de invierno, de tapices naturales desarrollados sobre suelos de Basalto medio-profundos, con una altura del tapiz mantenida a un nivel relativamente estable mediante carga animal variable. Las mediciones detalladas se llevaron a cabo en dos especies nativas: *Bromus auleticus* y *Stipa setigera*, las cuales aportan un 33% del disponible en materia seca total del tapiz en el sitio experimental (Saldanha, no publicado).

Se pretende determinar la dinámica del crecimiento, senescencia y consumo de forraje, la eficiencia de utilización del forraje producido y el patrón de defoliación así como también evaluar la capacidad de carga animal y los niveles de productividad secundaria. El enfoque metodológico se basa en el análisis del efecto del nitrógeno sobre la morfogénesis de hojas y el estudio de la cinética de la elongación y senescencia foliar (Arosteguy, 1982; Bircham; Hodgson, 1983; Grant et al., 1983; Mazzanti; Lemaire, 1994) y del consumo animal (Mazzanti et al., 1994).

El área experimental fue parte de un proyecto instalado en la Estación Experimental de la Facultad de Agronomía en Salto (EEFAS), titulado “Evaluación de la fertilización nitrogenada de campo natural bajo pastoreo de vacunos”.

Existen escasos antecedentes en el país de este tipo de evaluaciones (Saldanha et al., 2002; Rodríguez Palma et al., 2003), en cambio en países vecinos hay mayor información (Marino, 1997; Mazzanti, 1997; Labreveux et al., 1998; Rodríguez Palma, 1998; Agnusdei, 1999; Eggers, 1999; Boggiano, 2000).

2. REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1 INTRODUCCION

Los tapices naturales del Uruguay constituyen la principal fuente de alimentos en los establecimientos ganaderos, y la única en la gran mayoría de ellos. Cubren aproximadamente entre el 80 y 85% de la superficie destinada a la explotación agropecuaria (Rovira, 1996). Dada la estacionalidad en la producción de las pasturas y teniendo en cuenta que la carga animal total y la relación vacuno-lanar son parámetros que generalmente permanecen constantes a lo largo del año, es evidente que se producen sobrepastoreos en los períodos de escasez y subpastoreos en las épocas de abundancia, lo cual conduce a problemas tanto en los animales como en la pastura limitando las producciones de carne, lana y leche (Carámbula, 1997).

En nuestras pasturas naturales las especies invernales (C_3) son poco frecuentes, en particular las de tipo productivo tierno y fino. Estos tipos de pastos se encuentran en general en los suelos medios y profundos. El incremento del nivel trófico del suelo debido a la introducción de especies de leguminosas, fertilización y el manejo favorecen la frecuencia de invernales finas y tiernas. El empleo de fertilizantes inorgánicos nitrogenados hacia comienzos del otoño puede estimular el rebrote y crecimiento de las invernales y alargar el período vegetativo de las estivales, antes del descenso de las temperaturas. Por otra parte, la fertilización de fines de invierno seguiría estimulando a las invernales y ayudaría al rebrote mas temprano de las estivales. Por lo tanto, el rebrote mas temprano de ambos tipos de especies y el alargamiento del ciclo de las estivales tendería a reducir el período de escaso crecimiento invernal (Berretta *et al.*, 1998).

En esta parte se recopilará parte de la información recabada por otros autores sobre los factores que afectan el crecimiento de las pasturas naturales. En primer lugar se describe el crecimiento de las plantas forrajeras teniendo en cuenta las características morfogénicas de las mismas y estructurales del tapiz. Posteriormente se analizan los factores que determinan el crecimiento del forraje tales como cantidad y calidad de luz, temperatura y nitrógeno. Finalmente se analizan los efectos de la estructura de la pastura

y de la fertilización nitrogenada sobre los flujos de tejido foliar bajo condiciones de pastoreo.

2.2 ANALISIS DEL CRECIMIENTO DE PLANTAS FORRAJERAS

Para comprender el crecimiento de las plantas forrajeras es necesario estudiar las características morfogenéticas de las plantas y su efecto en la estructura del tapiz. La gran variabilidad botánica presente en las gramíneas, es caracterizada por un amplio rango de formas de la estructura aérea de las plantas, algunos de los ejemplos de estas características morfológicas son: hábito de crecimiento, ubicación de los meristemas y órganos de reserva. Estas características tienen grandes consecuencias en la capacidad de producción de forraje de cada especie, pero particularmente en términos de controlar la producción de biomasa bajo pastoreo a través del uso de la fertilización nitrogenada (Cruz; Boval, 1999).

En una pastura en rebrote a partir de un bajo índice de área foliar, la aparición y expansión de nuevas hojas resulta en un incremento de biomasa aérea, intercepción de luz y fotosíntesis bruta. En los primeros estadios de rebrote existe una pequeña cantidad de material muerto, por lo que se equipara la acumulación neta de forraje con la tasa de asimilación neta de la canopia. La tasa de senescencia de hojas expresada como flujo, inicialmente es menor que la tasa de producción de tejido nuevo debido a que las primeras hojas que mueren son producidas al inicio del rebrote y de menor tamaño. La tasa de acumulación neta de forraje es máxima durante este período inicial, pero decrece hasta que la tasa de senescencia de tejido es compensada por la tasa de producción de tejido nuevo logrando así alcanzar el rendimiento “techo” de tejido vivo (Lemaire; Chapman, 1996).

La respiración y la senescencia resultan en pérdidas del carbono fijado por la canopia, encontrándose separadas en el tiempo durante la formación de órganos individuales (respiración de biosíntesis, de mantenimiento y senescencia), siendo reguladas por diferentes factores (Lemaire; Chapman, 1996).

Al estudiar la productividad de una pastura utilizando la altura y el índice de área foliar como medidas del estado de la misma, se observó que la cantidad de materia seca producida por día tiene una relación lineal positiva hasta alcanzar un estado estable que

se obtiene cuando la pastura se mantiene con un área intermedia de hojas. En este estado ocurren mecanismos compensatorios entre la producción de macollos y su nivel de crecimiento (tamaño) y senescencia de hojas, generando cambios en la estructura de la cubierta y en la eficiencia fotosintética de la población foliar (Hodgson, 1985). Ello determina que la producción neta de forraje permanezca relativamente constante en un amplio rango de altura, índice de área foliar o biomasa aérea (Hodgson; Wade, 1978; Birchman; Hodgson, 1983). Luego de alcanzado dicho estado ocurre una disminución de la producción neta de forraje como consecuencia de modificaciones en la población de macollos y en la producción por macollo en la eficiencia fotosintética foliar, y en la relación entre las tasas de crecimiento y senescencia del forraje (Hodgson, 1985). La plasticidad fenotípica tiene influencia en la estructura de la pastura, juega un rol importante en la adaptación de las mismas frente al manejo del pastoreo y es expresada como modificaciones reversibles de las características morfológicas de plantas individuales en respuesta a variaciones ambientales o de manejo (Lemaire; Chapman, 1996).

2.2.1 Características morfogénicas de las plantas

La morfogénesis comprende el estudio del origen y desarrollo de diferentes órganos en una planta; sucesión de determinados eventos de producción, expansión y forma vegetal en el espacio (Gomide, 1997). También puede ser definida como la dinámica de generación y expansión de la forma de la planta en el espacio (Lemaire; Chapman, 1996). Esta dinámica está basada en la producción secuencial de fitómeros compuestos por una hoja con nudo, entrenudo y meristemo axilar. El crecimiento del entrenudo en gramíneas templadas se da exclusivamente durante el estado reproductivo (Cruz; Boval, 1999).

La morfogénesis incluye la tasa de aparición de nuevos órganos y sus tasas de expansión, senescencia y descomposición (Lemaire; Chapman, 1996). La aparición y expansión de hojas, tallos y raíces están bajo el control de los meristemas de las plantas. La actividad de un meristema (zona de crecimiento de hoja, ápice de raíz, yema de macollo, o meristema intercalar de tallo) es analizada a través de las tasas potenciales de división y expansión celular, que resultan de parámetros ambientales como temperatura, calidad de luz percibida por las plantas, o signos externos tipo fotoperíodo, los cuales determinan la diferenciación de las plantas al desarrollo reproductivo (Lemaire, 1997).

Para cierta cantidad de carbono absorbido la morfogénesis de planta determina los flujos de tejidos y en oportunidad los flujos internos de carbono y nitrógeno. La morfogénesis es definida a nivel de planta individual o de unidad de crecimiento

autotrófica como por ejemplo el macollo en las gramíneas. Los flujos de tejidos de hoja a nivel de macollos individuales son comprendidos al considerar los macollos axilares como una producción secuencial de fitómeros, cada uno de los cuales continúa una serie preprogramada de estados de desarrollo desde primordios a órganos maduros y finalmente senescencia. El estudio de la secuencia de aparición de hojas en los macollos permite describir el desarrollo de macollos hijos en las axilas de las hojas (Lemaire; Chapman, 1996).

En una pastura de gramíneas en estado vegetativo en la cual solo se producen hojas, la morfogénesis de las plantas puede ser descripta por tres características principales: tasa de aparición de hojas, tasa de elongación foliar y vida media foliar. Estas características están determinadas genéticamente, pero tienen influencia de variables ambientales como por ejemplo temperatura, suministro de nutrientes y condición hídrica del suelo. La morfología del reemplazo de hojas o de unidades de crecimiento refleja el ambiente en el cual se desarrollaron como plantas individuales, adaptadas al mantenimiento del equilibrio entre el recurso disponible y los patrones de translocación (Lemaire; Chapman, 1996).

La tasa de aparición de hojas juega un rol central en la morfogénesis de las plantas por que influye directamente en cada uno de los tres componentes de la estructura de la pastura, como se observa en la figura N° 1 (Cruz; Boval, 1999; Lemaire; Chapman, 1996). En gramíneas templadas está directamente influenciada por la temperatura y depende muy poco del nivel de suministro de nitrógeno. Las variaciones interespecíficas en tasa de aparición de hojas determinan la estructura de la pastura; altas tasas se corresponden a mayor densidad de macollos pequeños y bajas tasas a menores poblaciones de macollos grandes. Durante el rebrote, luego de una defoliación severa, la tasa tiende a disminuir levemente al ir desarrollándose la canopia, como consecuencia del aumento del tamaño de vainas de sucesivas hojas. Por lo tanto, en pasturas defoliadas frecuentemente, mantenidas a bajos niveles de índice de área foliar, la tasa de aparición de hojas es mayor que en pasturas defoliadas intermitentemente (Lemaire; Chapman, 1996).

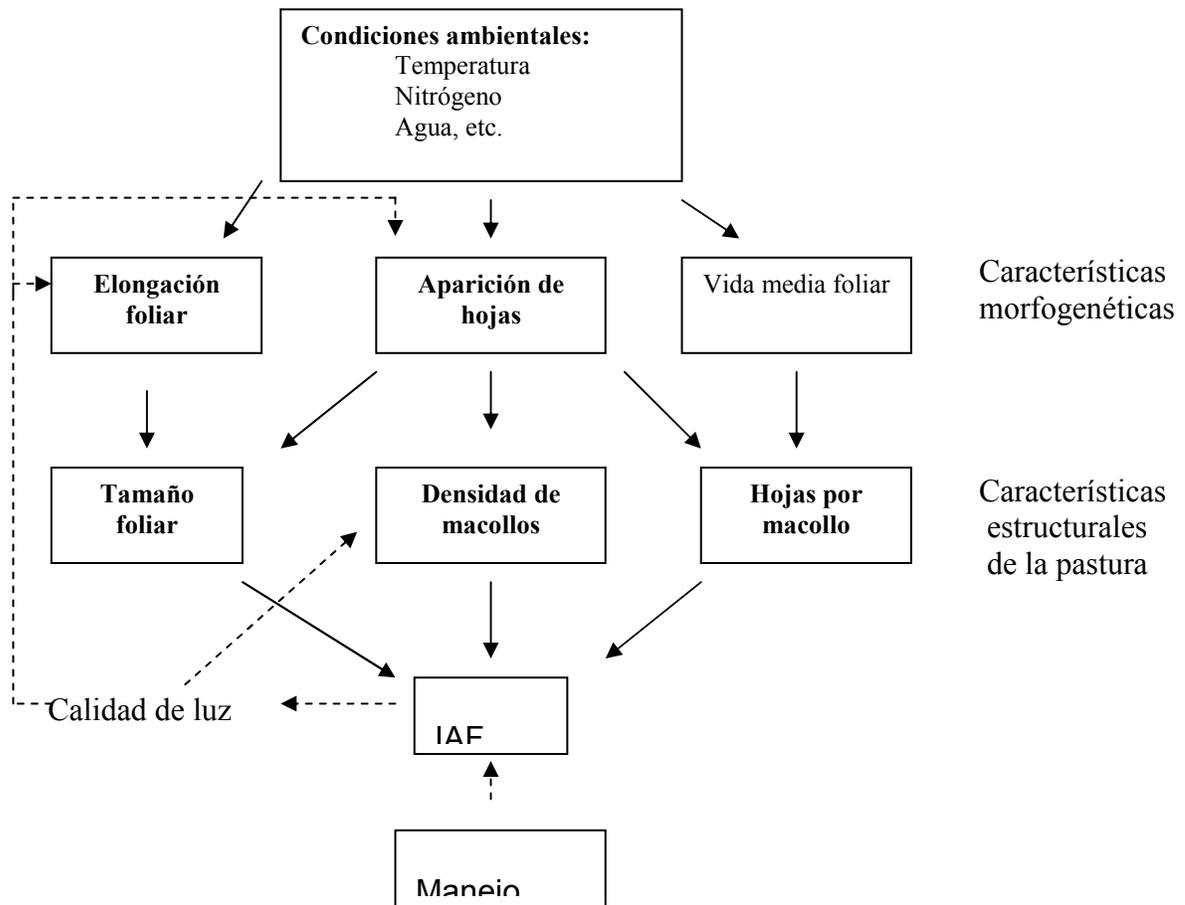


Figura N° 1. Relación entre las variables morfológicas y las características estructurales de la pastura (Lemaire, 1997; Lemaire; Agnusdei, 1999)

La tasa de elongación foliar es el producto de dos componentes: tamaño de la zona de crecimiento (por ejemplo longitud) y la tasa promedio de crecimiento relativo de los tejidos en dicha zona. La misma puede ser definida como el producto entre la tasa de producción de células y la tasa y duración de la expansión celular. Los efectos del genotipo o el ambiente sobre la tasa de elongación son el resultado de su acción sobre uno a más de estos componentes del crecimiento. Por ejemplo, la temperatura principalmente reduce la tasa de crecimiento elemental relativa, mientras que la sequía reduce el tamaño y la tasa de crecimiento elemental relativa en la zona de crecimiento (Schnyder *et al.*, 1999).

La elongación de la lámina de hoja cesa cuando la lígula es expuesta, y la hoja se encuentra completamente expandida, denominándose hoja adulta (Gomide, 1997). La

hoja en elongación alcanza su tamaño final y permanece verde durante un período determinado por su vida media (Lemaire; Agnusdei, 1999). Luego, los procesos de senescencia de la hoja comienzan, variando en intensidad, acorde a la estación del año y a factores ambientales (Gomide, 1997). La senescencia del tejido ocurre desde el ápice hacia la base de la hoja (Lemaire; Agnusdei, 1999).

La elongación foliar es proporcional al intervalo de aparición de hojas (Lemaire; Agnusdei, 1999). La tasa de elongación varía de acuerdo al genotipo, nivel de inserción de hoja, estrés hídrico, temperatura, luz, estación del año y nutrición mineral. Las tasas de aparición y elongación foliar están correlacionadas negativamente, determinando el peso de los macollos (Gomide, 1997).

La vida media foliar representa el período durante el cual, luego de una completa defoliación, se acumulan los tejidos verdes de hojas en macollos adultos individuales sin pérdidas por senescencia. Luego de este período comienza la acumulación de tejidos de hojas muertas, compitiendo con la acumulación de material de nuevas hojas, conduciendo a un balance entre aparición y desaparición de tejidos de hojas en macollos individuales. En este estado de rebrote, se alcanza la máxima cantidad de tejido de hoja verde (rendimiento “techo”) por macollo y no se puede acumular más forraje en la pastura (a menos que se produzca un aumento en densidad de macollos) (Lemaire; Chapman, 1996).

La vida media foliar se puede usar para caracterizar las diferentes aptitudes de las especies para acumular tejidos de hojas verdes. Esta característica determina el máximo número de hojas vivas que un macollo puede tener cuando se alcanza el rendimiento “techo”. Puede ser medida directamente en macollos marcados determinando la demora entre la aparición de la porción nueva de tejido de hoja y cuando comienza a senescer (Lemaire; Agnusdei, 1999). El conocimiento de la vida media foliar de diferentes especies es muy importante para un manejo eficiente de pasturas bajo pastoreo por que fuertemente determina la cantidad de forraje producido que puede ser efectivamente cosechado en un manejo programado de pastoreo (Lemaire; Chapman, 1996).

2.2.2 Características estructurales del tapiz

Combinaciones de las variables morfogenéticas elementales (tasas de aparición y elongación de hojas y vida media foliar) determinan las tres principales características estructurales de una pastura: tamaño foliar, densidad de macollos y número de hojas verdes por macollos (Lemaire; Chapman, 1996).

El tamaño final de una hoja puede ser considerado como el producto de la tasa de elongación foliar y la duración del período de elongación de una hoja individual. Este período es proporcional al intervalo de aparición de hoja, dando una proporcionalidad entre el tamaño final de hoja y la relación de las tasas de elongación y aparición de hojas (Lemaire, 1997).

La aparición de hojas en un macollo determina la secuencia de aparición de yemas axilares susceptibles de desarrollar nuevos macollos, llevando al concepto de “site filling” para describir la tasa de desarrollo de macollos hijos en relación con la tasa de aparición de hojas (Lemaire, 1997; Matthew *et al.*, 1999). Especies con alta tasa de aparición foliar tienden a producir alto número de hojas cortas por macollo y una alta densidad de macollos obteniéndose una estructura baja y densa de la pastura. Las especies con baja tasa de aparición foliar tienden a producir pocas hojas largas por macollo y una baja densidad de macollos conduciendo a una estructura potencialmente alta de la pastura (Lemaire; Chapman, 1996). Por otra parte, las especies que tienen larga vida media foliar y baja tasa de aparición de hojas es esperable que acumulen hojas más largas y por lo tanto muestran mayor capacidad de rendimiento “techo” (Lemaire; Agnusdei, 1999).

El número de hojas verdes por macollo es el producto de la vida media foliar y la tasa de aparición de hojas (Lemaire; Chapman, 1996). Esta característica es razonablemente constante de acuerdo al genotipo, condiciones ambientales y de manejo. La estabilización del número de hojas por macollo y del número de macollos por planta constituyen objetivos para aconsejar sobre el manejo de las pasturas a fin de evitar pérdidas de hojas a través de la senescencia y muerte, maximizando la eficiencia de cosecha bajo sistemas de corte o pastoreo rotacional. El progresivo aumento de hojas por macollos y de los macollos por planta determina que el índice de área foliar de la pastura incremente y subsecuentemente, el rendimiento de forraje por aumentos porcentuales en la intercepción y captura de la radiación lumínica (Gomide, 1997).

En condiciones estables, se alcanza un equilibrio entre aparición y muerte de hojas con un máximo de hojas vivas por macollo. La diferencia en vida media foliar entre especies influye fuertemente en la capacidad de acumular biomasa verde y alcanzar un alto rendimiento “techo”. Es importante hacer notar que no es el máximo número de hojas vivas el que determina el rendimiento “techo” de una pastura, sino la duración de la vida de la hoja, la cual esta muy relacionada con la temperatura (Lemaire; Chapman, 1996).

Asumiendo una relación constante entre área y tamaño foliar para un genotipo dado, el producto de las tres características estructurales determina el índice de área foliar de la canopia. Otras características de la pastura, como relación lámina/pseudotallo o densidad de hojas influyen escasamente en la expansión del índice de área foliar, pero son importantes en la interacción planta-animal por que afectan la proporción de tejidos de plantas que pueden ser fácilmente removidos por los animales en pastoreo. Alterando la calidad de luz dentro de la canopia, con aumentos en el índice de área foliar, se pueden modificar algunas variables morfogénicas a nivel de plantas individuales, como la tasa de elongación foliar y la tasa de producción de macollos, y consecuentemente pueden cambiar algunas características estructurales de la pastura como densidad y tamaño de macollos (Lemaire; Chapman, 1996).

2.3 FACTORES QUE DETERMINAN EL CRECIMIENTO DE FORRAJE

La tasa neta de producción de forraje resulta de un balance entre la tasa de crecimiento de las plantas jóvenes y la pérdida de tejido maduro por senescencia y descomposición (Hodgson, 1985).

La producción de tejido de hoja puede ser analizada como el resultado de la interacción de dos procesos, síntesis de asimilados de las plantas individuales como consecuencia de la intercepción de luz y fotosíntesis de las hojas; y el uso de asimilados por los meristemas de hojas para la producción de nuevas células y para la expansión de área foliar (Lemaire; Agnusdei, 1999).

Las plantas que tienen alta tasa de translocación de carbono hacia los meristemas de las hojas (alta relación biomasa/raíces, o lámina/tallo), están asociadas con alta área específica de hoja, lo que se corresponde con alta relación de área foliar (m^2 de área foliar/g de biomasa) y pueden tener alta tasa de crecimiento luego de defoliaciones severas en comparación con plantas con baja relación de área foliar (Lemaire, 1997).

2.3.1 Efecto de la cantidad y calidad de luz

El carbono fijado por la canopia de una planta por unidad de tiempo depende directamente de la cantidad de radiación fotosintéticamente activa absorbida por el área foliar verde. Esta es determinada por la radiación fotosintéticamente activa incidente y por la eficiencia de intercepción de la canopia. (Lemaire; Chapman, 1996). Tanto la profundidad como la distribución de las hojas en una pastura tienen influencia en la intercepción de luz y asimilación de carbono (Hodgson, 1985).

La proporción de radiación incidente fotosintéticamente activa que es absorbida por la canopia de las plantas, o eficiencia de absorción, es determinada por las siguientes variables de la pastura: índice de área foliar, ángulo medio de lámina, y propiedades ópticas del tejido foliar como la transmitancia y reflectancia de longitudes de ondas visibles. Algunas características de la radiación solar también influyen en la eficiencia de absorción de la canopia de las plantas, como la relación luz difusa/directa y el ángulo de la radiación incidente (Lemaire, 1997). Variaciones en la distribución de hojas y tallos dentro de la canopia y en la población de edad de las hojas, podrían influir en la eficiencia fotosintética del tejido foliar (Hodgson, 1985).

La eficiencia de uso de la radiación es una estimación global de la eficiencia de los procesos de fotosíntesis y respiración, representándose por la pendiente de la relación lineal entre la producción de biomasa y la cantidad de radiación interceptada por la pastura (Lemaire; Chapman, 1996).

Para el manejo de pasturas se ha definido el índice de área foliar óptimo como aquel al cual se logra interceptar el 95% de la radiación incidente por la canopia. El nivel de índice de área foliar óptimo puede variar según el hábito de crecimiento de la especie (erecta vs. planófila), estación del año (intensidad de luz) y cantidad de radiación directa interceptada (Lemaire; Chapman, 1996).

Mientras el índice de área foliar aumenta en una pastura en rebrote, las sucesivas hojas emergen a la sombra y por ello la capacidad de fotosíntesis a saturación de luz es debilitada; la fotosíntesis bruta máxima puede por tanto declinar una vez que se intercepte el 95% de la radiación lumínica. El índice de área foliar óptimo coincide con el punto donde el carbono fijado por el tejido de hojas nuevas compensa la respiración extra demandada por las hojas en crecimiento que se desarrollan en la sombra, por encima del valor óptimo de índice de área foliar, un aumento en la cantidad de carbono fijado es desviado para sustentar la respiración de los tejidos sombreados (Lemaire; Chapman, 1996).

Cuando hay insuficiente área foliar para interceptar toda la radiación incidente la fotosíntesis de la canopia se ve disminuida. La misma puede aumentar de dos maneras: por aumentos de área foliar (mayor cantidad de luz es interceptada) o por aumentos en la tasa fotosintética de las hojas (aumentando el carbono fijado por unidad de luz interceptada) (Woledge; Pearse, 1985).

Las variables morfogenéticas: intervalo de aparición de hojas y duración de la expansión de hojas individuales, responden a cambios en calidad de luz, aumentando gradualmente con el desarrollo del índice de área foliar en asociación con niveles bajos de luz azul y relación rojo/rojo lejano, llevando a incrementos del tamaño maduro de sucesivas vainas y láminas de hojas, favoreciendo un hábito de crecimiento erecto (Lemaire, 1997).

Las pasturas mantenidas a altos niveles de índice de área foliar responden al efecto de la calidad de luz y, más precisamente, a la relación rojo/rojo lejano limitando la emergencia de nuevos macollos desde las yemas axilares de las hojas (Lemaire; Agnusdei, 1999). Una importante causa de muerte de macollos en pasturas densas es la falta de carbono debida a la competencia por luz. En plantas a la sombra, se ha demostrado, que mayor cantidad de materia seca es depositada en los macollos en crecimiento y menos para el desarrollo de nuevos macollos. Los jóvenes son los primeros en morir como resultado de ser dominados y sombreados por los macollos maduros y algunas yemas llegan a abortar antes de emerger el macollo en canopias sombreadas (Lemaire; Chapman, 1996).

El efecto del índice de área foliar sobre la tasa de aparición de hojas puede ser explicado por la respuesta de las plantas frente a cambios en la calidad lumínica del ambiente (luz azul). En la tasa de elongación de hojas no está claramente explicada la incidencia del índice de área foliar; pues se ha observado que el crecimiento de hojas es fuertemente reducido por la luz completa. Esta respuesta puede estar mediada por fitocromos o por la influencia de la vaina al proteger a la hoja en elongación de la luz completa directa (Lemaire; Agnusdei, 1999).

2.3.2 Efecto de la temperatura

El crecimiento de las especies nativas de ciclo otoño-inverno-primaveral es modulado principalmente por la temperatura y entre ellas existen especies adaptadas a crecer con temperaturas relativamente bajas.

La temperatura determina la actividad específica de los meristemas a través de efectos coordinados en las tasas de elongación y división celular (Lemaire, 1997). El promedio de la tasa de elongación de la población de hojas responde inmediatamente frente a cualquier cambio de temperatura en el ápice vegetativo (Lemaire; Agnusdei, 1999). Para la mayoría de las gramíneas templadas la curva de respuesta de la tasa de elongación de hoja en función de la temperatura es exponencial en el rango de 0 a 12 ° C

de temperatura promedio diaria, y lineal sobre estos valores hasta el óptimo el cual se alcanza cercano a 20 – 25 ° C (Lemaire; Chapman, 1996).

La respuesta de la tasa de aparición foliar en función de la temperatura es aproximadamente lineal (Lemaire, 1997). La misma para gramíneas templadas tipo C₃ aumenta desde 15 a 35 ° C, pudiendo calcular el intervalo de aparición de hojas en términos de grados días (Cruz; Boval, 1999).

El tamaño final de hojas aumenta rápidamente con el incremento de temperatura antes de alcanzar una estabilización o insignificante declinación a altos valores de este factor (Lemaire, 1997). Dada la respuesta lineal entre la tasa de elongación de hojas y la temperatura, el tamaño de hoja aumenta al incrementar ésta y, a similar valor es mayor para pasturas en primavera en estado reproductivo que en pasturas vegetativas en verano y otoño (Lemaire; Chapman, 1996).

La senescencia foliar y la vida media son afectadas por la temperatura de una manera similar que la tasa de aparición foliar, por eso la vida media foliar permanece relativamente constante cuando se expresa en tiempo térmico y parece estar determinada genéticamente (Lemaire; Chapman, 1996; Lemaire, 1997). La tasa promedio de senescencia no sigue las fluctuaciones estacionales de la temperatura por que la porción de tejido de hoja que muere cada día corresponde a la porción de hoja producida con una vida media anterior. En un período de disminución de temperaturas la porción de tejido de hoja que senesce es mayor que la que se está produciendo, esto lleva a un balance negativo entre crecimiento y senescencia. Por el contrario, en períodos de incremento de temperatura se obtiene un balance positivo entre ambos flujos (Lemaire; Agnusdei, 1999).

Relacionando las tasas de elongación y aparición de hojas y la vida media foliar con la temperatura para una especie dada, es posible modelar la dinámica de los flujos de tejido foliar a nivel de macollo individual. De esta manera se puede predecir la dinámica de aparición, crecimiento y senescencia de las hojas en respuesta a la temperatura media del aire a través del tiempo. Cuando una hoja emerge crece diariamente a una tasa determinada por la temperatura (tasa de elongación). Conociendo la relación entre las tasas de elongación y aparición de hoja con este factor es posible simular los flujos de producción y senescencia de tejidos de hojas bajo las condiciones de fluctuación de la temperatura (Lemaire; Agnusdei, 1999).

La producción de tejidos de hojas sigue las variaciones estacionales de la temperatura, la longitud de hoja final tiende a decrecer al disminuir ésta desde otoño a invierno, y aumenta progresivamente con la temperatura durante la primavera. En condiciones naturales, cualquier evento que aumente la tasa de elongación foliar y la longitud de hoja final, como aumentos en temperaturas o aplicación de nitrógeno, pueden incrementar la tasa de crecimiento de las pasturas sin alterar la senescencia actual y pueden modificar el balance de flujos de tejido foliar (Lemaire; Agnusdei, 1999).

2.3.3 Efecto del nitrógeno

La tasa de acumulación de biomasa en una comunidad de plantas esta determinada por la tasa de acumulación de carbono. Esta última, es influenciada por el contenido de nitrógeno en los tejidos de las plantas, por lo tanto, la dinámica de nitrógeno y carbono en plantas en crecimiento están muy unidas. Dado que el carbono es adquirido por las hojas y el nitrógeno por las raíces, los flujos de tejidos en pasturas solo pueden comprenderse analizando la dinámica de captura, reparto y uso de los recursos en raíces y parte aérea (Lemaire; Chapman, 1996).

El suministro y la utilización del carbono en actividades meristemáticas en las pasturas dependen del nivel de nutrición nitrogenada y el contenido de este nutriente en las hojas está directamente relacionado con la capacidad fotosintética. Por lo tanto los flujos de carbono están muy influenciados por la absorción de nitrógeno, partición y reciclaje del mismo dentro de la pastura (Lemaire; Chapman, 1996).

El nitrógeno modifica el crecimiento del forraje directamente a través del aumento de la capacidad fotosintética de las hojas e indirectamente aumentando el índice de área foliar el cual posteriormente tiende a disminuir la tasa fotosintética (Woledge; Pearse, 1985).

Deficiencias de nitrógeno solo afectan la fotosíntesis bruta máxima de la pastura y no producen cambios significativos en el máximo rendimiento lumínico. Sin embargo este efecto directo del nitrógeno en la fotosíntesis neta de la canopia es menor comparado con el efecto de este nutriente en el crecimiento de las pasturas, particularmente en la dinámica de expansión del índice de área foliar y en cambios en el reparto de asimilados entre la parte aérea y las raíces (Lemaire; Chapman, 1996).

En una pastura bajo condiciones no limitantes de nutrición nitrogenada es posible relacionar directamente la tasa de acumulación de nitrógeno con la tasa de producción de forraje. Al aumentar la biomasa, ocurre una disminución en la acumulación de nitrógeno, lo que se ha interpretado como una reducción intrínseca en los requerimientos del nutriente a medida que la planta envejece, conteniendo una mayor proporción de material estructural, y al mismo tiempo el nitrógeno contenido en las hojas sombreadas decrece. Este segundo fenómeno corresponde a la removilización desde las hojas sombreadas hacia las bien iluminadas de manera de optimizar el reparto de este nutriente en la canopia para la fotosíntesis (Lemaire; Chapman, 1996).

Defoliaciones severas llevan a una importante disminución del nitrógeno en planta y para que el área foliar remanente se recupere es necesario que ocurra removilización de las reservas de nitrógeno desde las raíces y tallos. El rebrote de plantas luego de defoliaciones no se encuentra directamente determinado por el nivel de carbohidratos de reserva, pero sí por el almacenamiento y capacidad de removilización del nitrógeno. La disminución del carbono soluble en plantas en rebrote luego de defoliaciones es debida principalmente a pérdidas de respiración y solo una parte por removilización directa de carbono para la síntesis de nuevos tejidos. Por lo tanto la cantidad de proteínas de reservas y la tasa a la cual ellas se reciclan determinan la tasa de expansión de nuevas hojas (Lemaire; Chapman, 1996).

Bajo pastoreo continuo como las hojas nuevas están bien iluminadas con alto contenido de nitrógeno y se encuentran más accesibles al pastoreo, con mayor probabilidad de ser removidas, una mayor proporción de nitrógeno proveniente del suelo es requerida para la síntesis de hojas nuevas, por lo cual se puede pronosticar que una pastura depende más del nitrógeno del suelo cuando el pastoreo es más severo (Lemaire; Chapman, 1996).

Defoliaciones frecuentes no presentan efectos en la removilización de las reservas de nitrógeno, por que la adaptación morfogenética de las gramíneas frente a repetidas defoliaciones permite que las plantas mantengan un área foliar suficiente como para soportar altas tasas de extracción de nitrógeno, necesarias para satisfacer los requerimientos de la biomasa en crecimiento, y por esto cantidades pequeñas o nulas de nitrógeno de reserva tienen que ser removilizadas para asegurar el rebrote de la parte aérea (Lemaire, 1997).

Desde un punto de vista ecológico, la severidad del pastoreo determina la importancia relativa de las dos vías de reciclaje del nitrógeno: el reciclaje interno que se refiere a la removilización del nitrógeno desde las hojas senescentes, y el reciclaje externo vía el consumo animal y retorno por orina y heces. El primero esta sujeto a

menores pérdidas de nitrógeno desde el ecosistema de la pastura (lavado, pérdidas gaseosas) en comparación con el segundo. Por lo tanto al maximizar el consumo animal, incrementando la utilización del forraje en crecimiento, se conduce a disminuir la eficiencia de utilización del nitrógeno en sistemas bajo pastoreo, y puede no ser sustentable si las tasas de remoción del nitrógeno no están balanceadas con las tasas de entrada del mismo (Lemaire; Chapman, 1996).

El nitrógeno tiene un efecto importante en la expresión de la morfogénesis de las plantas por diferentes acciones en las variables morfogénicas que determinan la estructura de la pastura. En gramíneas templadas en macollaje el nitrógeno incrementa fuertemente la tasa de elongación foliar y tiene un menor efecto en la tasa de aparición de hojas a nivel de macollos. La tasa de elongación depende principalmente de la nutrición nitrogenada (Cruz; Boval, 1999).

Con niveles altos de nitrógeno la tasa de aparición, ancho foliar y senescencia de hoja son escasamente aumentadas pero no significativamente diferentes a las manifestadas con bajo nivel de nitrógeno (Gastal; Lemaire, 1988).

El nitrógeno tiene gran efecto sobre el tamaño foliar y en la tasa de expansión foliar, debido a esto, en términos absolutos la tasa de senescencia aumenta con niveles crecientes de fertilización nitrogenada. Por lo tanto un incremento de la misma sin un ajuste apropiado del manejo del pastoreo puede conducir a aumentar la senescencia y la acumulación de material muerto en pasturas (Lemaire; Chapman, 1996). El nitrógeno disponible tiene un efecto positivo aumentando el tamaño final de las láminas de las hojas y el macollaje (Cruz; Boval, 1999).

Resultados conflictivos se han reportado sobre el efecto del nitrógeno en el tamaño final de lámina. De hecho se ha mostrado, que en gramíneas templadas, esta variable principalmente depende del régimen de defoliación, el cual determina la longitud de la vaina (Cruz; Boval, 1999).

Disponibilidades altas de nitrógeno pueden incrementar la proporción de macollos en desarrollo en los “sitios potenciales de desarrollo” y consecuentemente, la tasa de macollaje, sin modificar la tasa de aparición de hojas (Cruz; Boval, 1999). La aplicación de nitrógeno incrementó en gran parte el número de nuevas emergencias de macollos en relación al número de “site filling” que están en producción (Wilman; Pearse, 1984). A pesar del efecto positivo de la nutrición de nitrógeno en la tasa de aparición de macollos, la utilización de la fertilización nitrogenada puede llevar a que la densidad de éstos

disminuya debido al rápido desarrollo de biomasa y acelerada muerte de macollos (Lemaire; Chapman, 1996).

En el caso de pasturas en crecimiento bajo restricciones de nitrógeno no todas las yemas axilares inducen a desarrollar macollos. Sin embargo e independientemente de cualquier efecto del nitrógeno, la tasa de macollaje continúa dependiendo de la tasa de aparición de hojas y el potencial de macollaje de cada especie depende de variaciones interespecíficas en la tasa de aparición foliar (Cruz; Boval, 1999). Deficiencias de nitrógeno conducen a bajos valores de “site filling” y reprimen la tasa de aparición de macollos antes que esta llegue a su valor potencial, aún en pasturas con bajo índice de área foliar (Lemaire; Chapman, 1996).

2.4 FLUJOS DE TEJIDO FOLIAR BAJO CONDICIONES DE PASTOREO

Al utilizar flujos de tejidos en macollos individuales y cuantificar los cambios en la densidad de macollos para obtener las tasas de crecimiento, senescencia y producción neta nos aproximamos a comprender los procesos que ocurren en las pasturas (Grant et al., 1983).

Las plantas bajo pastoreo están sujetas a secuencias de defoliaciones, la frecuencia e intensidad de las mismas dependen principalmente del manejo del pastoreo (Lemaire; Chapman, 1996). Las variaciones en la intensidad de pastoreo no solo afectan la proporción de hojas del tapiz reduciendo el área foliar, sino que también afectan la fotosíntesis y la tasa de producción de tejidos (Parsons; Johnson, 1986).

Se pueden distinguir dos tipos de respuestas a la defoliación a nivel de planta individual. En primer lugar, una aclimatación fisiológica inmediata para compensar la restricción de carbohidratos en las plantas en crecimiento, resultado de la remoción del tejido fotosintetizador. Los efectos de la defoliación en las tasas de flujos de tejidos en comunidades de plantas bajo pastoreo, tienen que ser analizadas durante este período para comprender los cambios en los ciclos de carbono y nitrógeno que ocurren en el crecimiento de la pastura. En segundo lugar, una respuesta morfológica a largo plazo resultado de cambios en el suministro de carbono entre órganos en crecimiento permitiendo a la planta adaptar su morfología ante sucesivos eventos de defoliación, para reducir la probabilidad de defoliación y conferir resistencia al pastoreo (Lemaire; Chapman, 1996; Lemaire, 1997).

La muerte de macollos es debida a diferentes causas, la principal es la remoción de los ápices por los animales en pastoreo. Este fenómeno es importante en pasturas en estado reproductivo dado que la elongación de los entrenudos de los tallos eleva los ápices al horizonte de pastoreo. Existen especies en que los regímenes de defoliaciones aliviados, aún cuando están en estado vegetativo conducen a extensiones de los entrenudos basales y de esta manera aumentan los ápices que quedan expuestos a los animales (Lemaire; Chapman, 1996).

En pasturas bajo pastoreo continuo la densidad de macollos esta muy determinada por las condiciones de equilibrio del índice de área foliar, pastoreos severos generan una mayor densidad de macollos que pastoreos aliviados. En estas situaciones, el estado de equilibrio de la densidad de macollos es influenciado por el nivel de nutrición nitrogenada si las comparaciones son realizadas a igual índice de área foliar. El estado de equilibrio de la densidad de macollos refleja la capacidad de macollaje de diferentes especies, lo cual está ligado a la tasa de aparición foliar (Lemaire; Chapman, 1996).

Bajo pastoreo continuo o rotativo, modificaciones en la carga animal afectan el balance entre el crecimiento y la utilización de la pastura, así como también la estabilidad del pastoreo. En la práctica la interacción entre plantas y animales es muy compleja dependiendo de las variaciones estacionales en las condiciones ambientales (Parsons; Johnson, 1986).

2.4.1 Efecto de la estructura de la pastura sobre los flujos de tejido foliar

Para mantener la pastura en condiciones de equilibrio, la altura de la canopia es la característica que mejor justifica la respuesta en producción de forraje y es la variable que posee mayor influencia en el comportamiento ingestivo de los animales. Esta característica podría ser usada como base común para definir la respuesta en producción y consumo de forraje o performance animal ante variaciones en el estado de la pastura (Hodgson, 1985).

La producción de tejidos de hojas es un proceso continuo que esta regulado por variables ambientales y por características del estado de la pastura. Bajo pastoreo, los tejidos foliares están sujetos a eventos de defoliaciones en los cuales la frecuencia e intensidad afectan profundamente la fisiología de las plantas, así como a la tasa de producción de nuevos tejidos foliares. De esta forma, la optimización del sistema de pastoreo no puede concebirse independientemente de la cantidad de forraje producido o

consumido por los animales sino como el resultado del compromiso entre tres flujos de tejidos foliares: crecimiento, senescencia y consumo (Lemaire; Agnusdei, 1999).

Las tasas de crecimiento y senescencia de lámina por macollo aumentan al incrementar la altura de la pastura. Esta respuesta puede tener modificaciones en relación a las variaciones climáticas (temperatura, radiación y agua) y al nivel de fertilización (Grant et al., 1983).

En pasturas mixtas sin pastoreo la acumulación neta de forraje es el resultado de los procesos de crecimiento y muerte pero bajo pastoreo la acumulación neta de forraje representa el balance entre crecimiento, muerte y consumo de forraje, todo expresado en tasas por unidad de área (Bircham; Hodgson, 1983).

En pasturas bajo pastoreo continuo existen mecanismos homeostáticos, por los cuales los cambios compensatorios en la población de especies y en la renovación de tejido en plantas individuales se combinan para mantener relativamente constante la producción neta de forraje verde alrededor de un rango de biomasa e índice de área foliar (Bircham; Hodgson, 1983; Grant et al., 1983).

Durante el rebrote en condiciones de pastoreo rotativo, las tasas de producción de tejidos y senescencia aumentan progresivamente al incrementar el largo de las hojas que están involucradas en la renovación de los tejidos. Sin embargo se ha observado que los cambios en la tasa de senescencia se encuentran retrasados respecto a los cambios en la tasa de producción de tejidos, conduciendo a un aumento en la producción neta bajo pastoreo rotativo (Parsons; Johnson, 1986).

En *Lolium perenne* bajo pastoreo continuo, manteniendo constante la altura y biomasa de la pastura, la tasa de crecimiento de lámina por macollo aumentó linealmente con el incremento en altura y biomasa (Bircham; Hodgson, 1983; Grant et al., 1983). La tasa de crecimiento total de forraje por unidad de área aumentó asintóticamente (Bircham; Hodgson, 1983). Durante el estado vegetativo esta relación fue parcialmente compensada con un aumento lineal en la tasa de senescencia por macollo (Bircham; Hodgson, 1983; Grant et al., 1983), pero la producción neta por macollo solo aumentó linealmente en relación con la altura y biomasa (Grant et al., 1983) desde un índice de área foliar de 2.3 a 4.7 y luego declinó suavemente. Los cambios compensatorios en densidad y flujo de tejido en macollos individuales mantuvieron una tasa de producción neta relativamente constante alrededor de un rango de biomasa aérea de 850 a 2500 Kg MS/ha, altura de la pastura de 2.5 a 6 cm e índice de

área foliar de 2 a 4.5 (Bircham; Hodgson, 1983). En estado reproductivo las tasas de crecimiento y senescencia por macollo no mostraron relación con el estado de la pastura (Grant et al., 1983).

El equilibrio entre la aparición y muerte de macollos es en gran parte dependiente del régimen de defoliación de la pastura, dado que determina la evolución del índice de área foliar. Este último es el factor más importante que gobierna la aparición y muerte de macollos. Para pasturas defoliadas intermitentemente la densidad de macollos aumenta hasta alcanzar un índice de área foliar de 3 a 4 y luego comienza a disminuir (Lemaire; Chapman, 1996).

Al mantener las pasturas con altos valores de índice de área foliar se pueden tener pérdidas en la producción potencial lo cual puede limitar la utilización actual del forraje prescindiendo de la eficiencia de utilización. La tasa de consumo de forraje y por lo tanto, la eficiencia de utilización del mismo pueden tender a disminuir en pasturas mantenidas a un índice de área foliar alto, como resultado de la reducción en la densidad de macollos de las gramíneas y en la relación hoja/tallo (Lemaire; Chapman, 1996).

Con valores de índice de área foliar superiores a 5 se reduce marcadamente la población de macollos (Bircham; Hodgson, 1983), debido a que se prolonga el período de sombreado lo que lleva a la muerte de los macollos más jóvenes y pequeños como consecuencia de la falta de carbono (Lemaire, 1997). El aumento de la densidad del canopeo provoca que la radiación interceptada aumente, pero la relación rojo/rojo lejano disminuye en la base de las plantas lo que conduce a una falta de estímulo en los sitios potencialmente productores de macollos (Casal et al., 1984).

La respuesta de la plasticidad fenotípica de las gramíneas frente a defoliaciones frecuentes y severas conduce a reducciones en el tamaño de los macollos individuales, acompañado por el incremento en la densidad de macollos. El mantenimiento de una alta tasa de macollaje bajo condiciones de defoliaciones repetidas puede ser debido a la amortiguación de variaciones en la calidad de luz dentro de la canopia, y específicamente a una disminución de la relación rojo/rojo lejano (Lemaire; Chapman, 1996).

2.4.2 Efecto de la fertilización nitrogenada sobre las características estructurales de la pastura y los flujos de tejido foliar

Si la aplicación de nitrógeno no es seguida de un manejo con defoliaciones relativamente frecuentes el efecto positivo del nitrógeno en la tasa de aparición de macollos puede ser compensado o sobrecompensado por un efecto negativo de inhibición de yemas de macollos y senescencia de los mismos. Por lo tanto, la aplicación de fertilizantes nitrogenados solo incrementa el componente morfogenético de la planta que es inicialmente favorecido por las adaptaciones morfológicas de las mismas frente al régimen de defoliación (Lemaire, 1997).

La fertilización nitrogenada tiene un efecto importante en la estructura de la canopia bajo pastoreo continuo al modificar la densidad de macollos y la distribución vertical de la biomasa. Estos parámetros tienen importante influencia en el consumo de forraje (Hodgson, 1985; Mazzanti; Lemaire, 1994).

La densidad de macollos en pasturas bajo pastoreo es el resultado del equilibrio dinámico entre tasa de aparición y muerte de macollos. El efecto de la nutrición nitrogenada en la densidad de macollos depende del índice de área foliar de la pastura. A bajos niveles de área foliar el nitrógeno tiene un efecto positivo en la densidad de macollos a través de la tasa de aparición maximizando el “site filling”. Este efecto no persiste al aumentar el desarrollo del área foliar, debido a que la nutrición nitrogenada lleva a una severa extinción de luz asociada a un cambio en calidad lumínica inhibiendo el desarrollo de yemas axilares con nuevos macollos (Lemaire, 1997).

El conocimiento del flujo del tejido foliar (crecimiento, senescencia y consumo), las tasas de aparición y desaparición de hojas y los patrones de defoliación en respuesta a la fertilización nitrogenada, para las principales especies de las pasturas naturales, contribuyen a la elaboración de estrategias racionales de utilización del nitrógeno para incrementar la producción invernal de forraje.

Con suministros de nitrógeno medios a altos, cuando el intervalo entre cortes es moderadamente largo, las tasas de emergencia y senescencia foliar fueron parcialmente aumentadas y el número de macollos puede reducirse debido a que incrementa la competencia por luz impidiendo una alta tasa de macollaje. Sin embargo el número de hojas emergidas por macollo no es afectado (Wilman; Wright, 1983). La información acerca de la fertilización nitrogenada sobre la tasa de aparición de hojas, en plantas aisladas y en pasturas instaladas, es escasa y contradictoria. En condiciones naturales se ha observado que la aplicación de nitrógeno tiene nulo efecto sobre la tasa de aparición de hojas (Davies, 1971; Whitehead, 1995, citados por Rodríguez Palma, 1998; Anslow, 1966). Sin embargo algunos autores mencionan que el nitrógeno aumenta la tasa de aparición de hojas (Ryle, 1964; Davies, 1979; Wilman; Mohamed, 1980; Thomas, 1983;

Marino, 1996, citados por Rodríguez Palma, 1998) y Lattanzi *et al.*, 1997 encontraron que la fertilización nitrogenada aumentó la tasa de aparición de las hojas en raigrás anual, pero no en avena. Longnecker *et al.*, (1993) y Longnecker y Robson (1994) (citados por Rodríguez Palma, 1998) trabajando con trigo de primavera mencionan reducciones del orden del 10 al 15% en la tasa de emergencia de hojas en condiciones de déficit severo de nitrógeno.

El efecto de la fertilización nitrogenada sobre la cantidad de hojas emergidas por macollo es variable. En la mayoría de los casos se coincide que la estimula (Ryle, 1964; Longnecker; Robson, 1994; Whitehead, 1995, citados por Rodríguez Palma, 1998; Wilman; Wright, 1983; Pearse; Wilman, 1984), aunque algunos autores no encontraron efecto del nitrógeno sobre el número de hojas nacidas por macollo (Davies, 1979; Wilman; Mohamed, 1980, citados por Rodríguez Palma, 1998).

El peso y el número de macollos fueron incrementados con aplicaciones de nitrógeno y con incrementos en el intervalo de pastoreo, en cambio la penetración de la luz a la base de la canopia presentó un comportamiento inverso (Wilman; Pearse, 1984).

Aplicaciones de nitrógeno tienen un gran efecto en el número y particularmente en el tamaño de macollos, estas características de la pastura pueden manipularse ajustando el suministro de este nutriente con el manejo del pastoreo. Para lograr un efecto positivo y sostenido de la aplicación de nitrógeno en número de macollos es necesario realizar defoliaciones moderadamente frecuentes con suministros adecuados de nitrógeno (Wilman; Wright, 1983).

El crecimiento de forraje puede ser considerado como el producto entre el crecimiento por macollo y la densidad de macollos. La tasa de elongación foliar es la principal componente del crecimiento de la unidad morfológica básica de las gramíneas. Altas aplicaciones de nitrógeno incrementan la producción de forraje como consecuencia del aumento en las tasas de crecimiento y elongación, área foliar y densidad de macollos (Laidlaw; Steen, 1989). Bajo condiciones de pastoreo continuo, en pasturas mantenidas a un bajo índice de área foliar el efecto del nitrógeno en la tasa de elongación foliar permanece limitado y es en parte contrabalanceado por una reducción del peso específico de hoja. Debido a esto, la importancia de la tasa de elongación es menor en pastoreos continuos que en rotativos y fue en parte balanceada por el efecto del nitrógeno en la densidad de macollos. La elongación foliar no es el único componente importante de las diferencias en el crecimiento de forraje y por eso la promoción de la tasa de macollaje es un camino adicional para las respuestas de nitrógeno (Mazzanti *et al.*, 1994).

Suministro de nitrógeno en cantidades medias a altas provoca un aumento en la actividad de los ápices vegetativos que resultan en mayor cantidad de primordios y hojas no emergidas por macollo, esto puede ser uno de los factores que promueve la mayor tasa de elongación foliar, lo que contribuye a una rápida recuperación luego de defoliaciones y de períodos de estrés como sequía y frío (Wilman; Wright, 1983).

La tasa de elongación de lámina de hoja puede duplicarse al aplicar nitrógeno resultando en una rápida recuperación luego de una defoliación y el tamaño maduro de las láminas individuales puede casi duplicarse sin una reducción en el número de hojas de la canopia, siempre que la defoliación no sea demasiado infrecuente. El incremento en el tamaño de las hojas y en la altura de la canopia proporciona mayor superficie de área para fotosíntesis (Wilman; Wright, 1983).

Incrementos en el intervalo de pastoreo permiten obtener una repuesta positiva a la aplicación de nitrógeno en rendimiento en materia seca, peso por macollo, longitud de lámina de hoja (Wilman; Pearse, 1984) y largo de vaina (Wilman; Wright, 1983; Wilman; Pearse, 1984). El número de macollos, la tasa de emergencia de nuevos macollos y la proporción de yemas que se desarrollan en macollos jóvenes se vieron aumentados con la nutrición nitrogenada (Wilman; Pearse, 1984).

Según Mazzanti *et al.*, (1994), el ancho de lámina no es afectado por el tratamiento nitrogenado y fue diferente significativamente entre los dos genotipos de festuca alta utilizada.

Las características longitud, ancho, espesor, área y peso seco de lámina aumentan con el aumento de la nutrición nitrogenada y la magnitud de la respuesta se reduce con suministros altos (Wilman; Wright, 1983) mientras que el peso fresco por unidad de área de lámina declina ligeramente (Wilman; Wright, 1983; Mazzanti *et al.*, 1994).

Deficiencias de nitrógeno en macollos defoliados continuamente producen una pequeña reducción en tasa de elongación foliar y producción de hoja por macollo principalmente por la disminución en la densidad de macollos, dado que se redujo el crecimiento de forraje por hectárea. Al analizar simultáneamente el efecto de las deficiencias de nitrógeno en procesos fotosintéticos y morfogénicos, el mayor efecto se puede explicar por una reducción en la tasa de expansión foliar y consecuentemente por una disminución en la cantidad de radiación fotosintéticamente absorbida por la

pastura, y por ende una menor proporción de asimilados que son translocados a la parte aérea en crecimiento (Mazzanti et al., 1994).

2.4.3 Efecto de la fertilización nitrogenada sobre los patrones de defoliación y la eficiencia de utilización del forraje

La eficiencia de utilización del forraje puede analizarse a través del estudio de los patrones de defoliación (frecuencia e intensidad) a nivel de individuo y de categoría de edad de las hojas. Los patrones de defoliación dependen principalmente del manejo del pastoreo.

La frecuencia de defoliación bajo pastoreos rotativos es determinada por el período de ocupación y descanso de cada parcela, la cual es función del tamaño y número de parcelas, tasa de acumulación neta de forraje y número de animales. La longitud del período puede ser ajustada por el promedio de la vida media foliar de las especies presentes, para minimizar las pérdidas de tejido foliar por senescencia, siempre que la carga y la duración del período de pastoreo sean suficientes para remover la máxima proporción de forraje acumulado (Lemaire; Chapman, 1996).

El crecimiento de forraje se ve disminuido por deficiencias de nitrógeno, estrés hídrico, bajas temperaturas y deficiencias minerales, determinando que la capacidad de carga de la pastura se reduzca pudiendo provocar un efecto similar en la frecuencia de defoliación y finalmente en el consumo de forraje. La magnitud de la reducción de la eficiencia bajo pastoreo puede depender de la relación entre el promedio del intervalo de defoliación de hojas individuales y de la vida media foliar de las especies de la pastura (Mazzanti; Lemaire, 1994).

El intervalo entre defoliaciones disminuye (o la frecuencia de defoliación aumenta) al aumentar la densidad de carga y las aplicaciones de nitrógeno. Esta disminución en el intervalo de defoliación con aplicaciones de nitrógeno puede ser debida al aumento en la densidad de carga y no a un efecto directo del nutriente en la estructura de la pastura (Mazzanti; Lemaire, 1994).

La intensidad de defoliación de hojas individuales puede ser analizada en cada evento de defoliación durante la vida media de la hoja. Es estimada por la relación entre la longitud de la porción de hoja removida por el animal para un evento de defoliación y la longitud de la hoja antes de ser defoliada. La intensidad de defoliación es

relativamente constante, aproximadamente un 50–55% de la longitud de hoja es removida en cada defoliación sin importar la categoría de edad de las mismas y la altura de la pastura (Lemaire; Agnusdei, 1999), aunque las hojas más nuevas tienen una mayor probabilidad de defoliación que las viejas (Lemaire; Chapman, 1996). Depende directamente de las características del sistema de manejo del pastoreo, como ser, carga animal y duración del período de pastoreo (Lemaire; Chapman, 1996).

El nitrógeno tiene un efecto positivo en las variables que definen la calidad del forraje, como por ejemplo digestibilidad o concentración de nitrógeno, lo que incrementa el consumo animal (Cruz; Boval, 1999). Tallowin *et al.*, (1990) y Rodríguez Palma (1998) no encontraron diferencias significativas entre niveles de fertilización nitrogenada en la digestibilidad *in vitro* de la materia seca del material verde del pastizal. Sin embargo Rodríguez Palma (1998) encontró diferencias estadísticas en el porcentaje de proteína bruta en *Lolium multiflorum*, *Stipa neesiana* y *Hordeum stenostachys* con 100 Kg N/ha respecto a los restantes tratamientos (0 y 50 Kg N/ha).

Según Ayala y Carámbula (1994) la digestibilidad y fibra detergente ácido no son afectadas por la fertilización nitrogenada. Por el contrario, el contenido de proteína cruda se ve significativamente incrementado.

Como consecuencia de la fertilización nitrogenada los tejidos se vuelven más turgentes, con paredes primarias más delgadas (Tisdale *et al.*, 1993, citados por Rodríguez Palma, 1998). Este nutriente en primer término es usado para la división celular, mientras que la síntesis de proteínas cloroplásticas se realiza con nitrógeno reciclado incorporado en las proteínas durante la producción celular (Gastal; Nelson, 1994, citados por Rodríguez Palma, 1998).

En sistemas bajo pastoreo la eficiencia de utilización puede ser definida como la proporción del forraje producido que es consumido por los animales antes de senescer, y por lo tanto depende de la proporción de la longitud de hoja que escapa a la defoliación y senesce. Para optimizar esta eficiencia se requiere comprender la vida media foliar de una pastura y los factores que influyen en la severidad de la defoliación (Lemaire; Chapman, 1996).

Asumiendo que la biomasa aérea es un factor que determina el consumo animal, es posible que bajos niveles de nitrógeno resulten en baja eficiencia de utilización de forraje para mantener cierto nivel de consumo (Laidlaw; Steen, 1989), debido a un

mayor intervalo de defoliación como consecuencia directa de la baja carga (Lemaire; Chapman, 1996).

En pasturas bajo pastoreos continuos mantenidas a un índice de área foliar constante, restricciones en el suministro de nitrógeno conducen a reducir la carga para mantener el estado de la pastura, debido a la disminución en la producción de tejido de hoja, todo lo que lleva a decrecer la eficiencia en el uso del forraje del sistema. La magnitud de este efecto puede ser dependiente de la vida media foliar de las gramíneas en la pastura y esta variable necesita ser considerada para optimizar la eficiencia de utilización. Teóricamente la reducción en la eficiencia de pastoreo debida a una disminución del crecimiento del forraje y de la carga puede ser mayor para especies con vida media foliar corta (Lemaire; Chapman, 1996).

Reducciones en la fertilización nitrogenada tienen mayor efecto en la tasa de consumo que en la tasa de crecimiento de forraje. En consecuencia, la eficiencia de utilización en condiciones de pastoreos continuos es reducida cuando las condiciones de nutrición nitrogenada son limitantes para el crecimiento del forraje. Este fenómeno no es directamente atribuible a las deficiencias de nitrógeno pero es un efecto indirecto propio de la reducción de la densidad de carga a bajos niveles de nitrógeno, lo cual lleva a baja frecuencia de defoliación de los macollos individuales (Mazzanti; Lemaire, 1994).

2.5 CONCLUSIONES

Es posible controlar las características morfológicas de una pastura teniendo en cuenta los siguientes tres pilares básicos: i) fertilización nitrogenada acorde a las especies presentes en el tapiz, ii) ajuste de la carga en función del crecimiento del forraje y iii) manejo del pastoreo de acuerdo al rebrote de la pastura.

El uso de la fertilización nitrogenada es un medio eficaz de aumentar la producción de gramíneas, pero es necesario que se utilice con eficiencia desde el punto de vista económico y de conservación de la energía (Wilman; Wright, 1983).

El consumo mundial de fertilizante nitrogenado ha aumentado, pero será difícil a largo plazo encontrar la energía requerida para fabricar fertilizante nitrogenado a bajo

precio suficiente como para motivar el mantenimiento o el incremento del consumo del mismo. Además existen crecientes problemas de polución que podrían limitar el consumo de fertilizante. Es importante entonces que el nitrógeno aplicado a la pastura sea utilizado eficiente y prudentemente (Wilman; Pearse, 1984).

Luego de una aplicación de fertilizantes nitrogenados la cantidad de tejido perdido por senescencia puede ser muy aumentada al comparar con pasturas no fertilizadas, si las pasturas no son defoliadas severamente antes de un período de tiempo correspondiente al promedio de la vida media foliar de las especies de la comunidad. Así pues, si el uso de la fertilización nitrogenada no es acompañado por un manejo controlado de la defoliación, se pueden obtener efectos adversos en la producción animal como consecuencia de acumulación excesiva de material foliar muerto (Lemaire, 1997).

2.6 OBJETIVOS

2.6.1 Objetivos generales

En una pastura natural desarrollada sobre suelos medios y profundos de Basalto se pretende estimar el efecto de la fertilización nitrogenada en el período otoño-principio de invierno en términos de crecimiento de forraje y producción animal individual y por unidad de superficie.

2.6.2 Objetivos específicos

- Manteniendo a un nivel relativamente estable la altura del tapiz mediante carga animal variable, se pretende determinar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre la dinámica de acumulación de forraje, a partir de los flujos de tejido foliar: crecimiento, senescencia y consumo animal, la eficiencia de utilización del forraje producido y los mecanismos de defoliación.

- Asimismo se pretende comprender la variación ocurrida en las variables morfológicas y de estructura de la pastura en las dos especies invernales predominantes en estos tapices naturales.

2.7 HIPOTESIS

- En una pastura natural mantenida a un nivel relativamente estable de altura de la cubierta mediante pastoreo con carga animal variable, la fertilización nitrogenada realizada en otoño incrementará el crecimiento de forraje en el período otoño-invernal, principalmente por su efecto en la densidad de individuos de las especies de ciclo OIP, con un efecto menos marcado en la elongación foliar.

- Este aumento permitirá incrementar la carga animal, lo que modificará principalmente la frecuencia de la defoliación, resultando en un aumento de la eficiencia de utilización del crecimiento de forraje y de los niveles de productividad secundaria.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1 CONDICIONES EXPERIMENTALES GENERALES

3.1.1 Localización

El trabajo se realizó en el potrero número 46 de la Estación Experimental de la Facultad de Agronomía en Salto (EEFAS). La misma se encuentra sobre la ruta 31, kilómetro 21 con 500 metros, a 31° 25' de latitud Sur y 57° 55' de longitud Oeste.

El sitio experimental ocupó un área de 8 hectáreas, divididas en cuatro parcelas con una superficie promedio de 2 hectáreas. Cada parcela estaba fraccionada en dos subparcelas para el manejo del pastoreo (ver anexo N° 1).

3.1.2 Suelos

El sitio experimental se encuentra en una zona de contacto entre la formación Arapey y Fray Bentos. La primera esta integrada por una sucesión de derrames basálticos con delgados niveles de areniscas eólicas interestratificadas, y la segunda es un loess limo arenoso sin estratificar, de color rosado a pardo claro dependiendo el mismo del nivel de carbonatos de calcio que contenga. Localmente, la calcificación ha sido tan intensa que se forma un nivel calcáreo muy resistente.

Los suelos encontrados en el relevamiento en orden de predominancia son Brunosoles eútricos y Litosoles (ver anexo N° 2). A continuación se presentan perfiles representativos de cada unidad de suelo.

Cuadro N° 1. Perfil de Litosol

Horizonte	Características
Au ₁ (0 – 15 cm)	Franco arcillo limoso, pardo, con gravas
R (+ 15 cm)	Basalto consolidado

Cuadro N° 2. Perfil de Brunosol

Horizonte	Características
Au ₁ (0 – 21 cm)	Arcillo limoso, pardo oscuro, transición gradual
Bt ₂ (21 – 51 cm)	Arcillo limoso pesado, pardo oscuro, transición gradual
BC (51 – 68 cm)	Arcillo limoso, pardo, con abundantes concreciones de carbonato de calcio, transición gradual.
C (+ 68 cm)	Tosca de Formación Fray Bentos, pardo claro, con abundantes concreciones de carbonato de calcio

Las características mencionadas en los perfiles tipo presentan algunas variaciones según la perforación efectuada, las mismas se detallan en el anexo N° 3.

Los Brunosoles se caracterizan por su color oscuro, alto contenido de materia orgánica, elevada saturación de bases, texturas medias o algo pesadas, de drenaje bueno a moderadamente bueno. En cuanto a los Litosoles los mismos pueden presentar color pardo, pardo grisáceo o pardo rojizo, aunque en el área basáltica son frecuentes los de color negro; la textura varía desde muy liviana hasta arcillo limosa, con relación al material generador.

3.1.3 Material vegetal

La vegetación presente en el sitio experimental se corresponde a una pastura típica desarrollada sobre suelos fértiles de Basalto profundo, en donde se observa un gran predominio de gramíneas invernales debido a manejos anteriormente realizados para favorecer su presencia.

Se determinó la composición botánica el 09 de Julio de 2002 con transectas fijas de 25 metros, utilizando cuadrados de 10 por 10 centímetros donde se calculó la disponibilidad por el método de rangos comparativos de Haydock y Shaw (1975). En cada unidad muestral se estimó visualmente la contribución relativa en materia seca de cada especie. En términos de porcentaje de kilos de materia seca total por hectárea los valores encontrados fueron de 40,3% para gramíneas invernales, 20,3% gramíneas estivales, 12,2% malezas y otros, y 27,2% de restos secos. Dentro de los componentes gramíneas, leguminosas y malezas, las especies se agruparon por tipos productivos según la clasificación de Rosengurtt (1979), el 35% correspondió a finas, el 15% a tiernas y el 15% a ordinarias y duras (Saldanha, no publicado).

3.1.4 Condiciones climáticas

En el anexo N° 4 se puede observar la comparación entre las temperaturas medias mensuales y precipitaciones acumuladas mensuales ocurridas en los meses de junio, julio y agosto del 2003 con los datos promedios de la serie histórica (1961 – 1990, DMM; 1996). Las temperaturas medias mensuales ocurridas en el año 2003 fueron superiores para el mes de junio y similares para julio y agosto. En cuanto a las precipitaciones se observa que fueron 30% inferiores, esta diferencia se aprecia principalmente en el mes de julio.

Los datos meteorológicos diarios se presentan en los anexos N° 5 y 6, corresponden a las temperaturas medias y precipitaciones acumuladas ocurridas durante el período del trabajo a campo.

La temperatura media del aire, las precipitaciones acumuladas y el número de ocurrencia de heladas registradas en el observatorio agrometeorológico de la EEFAS durante el experimento (25 de junio al 09 de agosto de 2003) se detallan en el siguiente cuadro.

Cuadro N° 3. Temperatura media del aire (° C), precipitaciones acumuladas (mm) y número de ocurrencia de heladas durante el experimento

Mes	Temperatura	Precipitaciones	N° de heladas (*)
Junio	17,7	0	0
Julio	12,2	13,7	12
Agosto	13,6	82,7	1
Promedio	14,5	--	--
Total	--	96,4	13

(*): heladas agrometeorológicas (a 0,005m)

3.1.5 Animales

Se utilizaron vaquillonas de la raza Hereford, que al inicio del experimento tenían de 8 a 9 meses de edad y un peso promedio de 195 ± 14 Kg, que fueron identificadas individualmente mediante caravanas. Los animales fueron asignados al azar a los dos tratamientos previa estratificación por peso vivo.

En todos los animales se realizaron tratamientos sanitarios contra parásitos internos y externos cuando correspondía (ver anexo N° 7).

3.2 TRATAMIENTOS Y PERIODO EXPERIMENTAL

El enfoque metodológico se basó en el análisis del efecto del nitrógeno sobre la morfogénesis de hojas y el estudio de la dinámica de los flujos de tejido foliar en dos especies de gramíneas invernales, *Bromus auleticus* y *Stipa setigera*, bajo pastoreo de vacunos (ver anexo N° 8).

En base a un diseño en parcelas completamente aleatorizadas, con dos repeticiones en el espacio, se compararon dos niveles de fertilización nitrogenada: 0 y 46 Kg N/ha, bajo la forma de nitrato de amonio (denominados N0 y N50, respectivamente). La misma se realizó en otoño el 5 de mayo de 2003. Este trabajo está inserto en una evaluación de 100 Kg de fertilización nitrogenada por hectárea por año.

Se realizó un período experimental de mediciones detalladas durante el invierno del 2003 desde el 25 de junio al 9 de agosto abarcando una duración de 45 días. Dichas mediciones fueron efectuadas en las gramíneas invernales anteriormente mencionadas.

3.3 CONDUCCION DEL PASTOREO

Se implementó un sistema de carga animal variable con ingreso y salida de animales volantes (método de “Put and Take”, Mott; Lucas, 1952), para tratar de mantener un rango de altura de la cubierta entre 6 y 10 cm, de manera estable y similar entre tratamientos. Se realizaron mediciones de altura que sirvieron para el ajuste periódico de la carga animal para lograr el objetivo de rango de altura.

Al inicio del trabajo se definió el número de animales fijos mínimo que podría sostener el tapiz durante el período experimental (1,5 y 2,5 vaquillonas por hectárea para los tratamientos sin y con fertilización, respectivamente). En cada parcela el manejo del pastoreo fue rotativo entre 2 subparcelas con 20 a 25 días de ocupación y descanso.

3.4 MEDICIONES GENERALES EN LA PASTURA

3.4.1 Disponible y rechazo

Al ingreso y salida de los animales a cada subparcela se midió el disponible y el rechazo de forraje (Kg MS/ha) respectivamente, mediante el método de rendimientos comparativos (Haydock; Shaw, 1975).

3.4.2 Crecimiento

Se midió el crecimiento del forraje a intervalos de 45 días utilizando dos jaulas de exclusión del pastoreo por repetición. En cada una se cortaron al ras del suelo cuatro marcos de 20 por 50 centímetros. El material fue pesado en verde, secado hasta peso constante a 60 ° C y pesado en seco, para determinar las tasas de crecimiento (en Kg MS/ha/día).

3.4.3 Altura de la cubierta

Semanalmente se determinó la altura de la pastura realizando 50 determinaciones por repetición utilizando un bastón graduado cada 0,5 cm, sobre el cual se desplaza manualmente una ventana de 1 por 1 cm en sentido vertical, hasta alcanzar el primer toque con el tejido verde de la pastura sin disturbar (Barthram, 1986).

3.4.4 Relación entre altura y disponibilidad de forraje

Al inicio del período experimental se realizó una determinación simultánea de disponibilidad de forraje y altura de la pastura, con 30 mediciones por repetición, estimando la ecuación de regresión entre ambas variables. A partir de esta regresión se estimó la disponibilidad de biomasa entre dos mediciones sucesivas de altura del forraje disponible.

3.5 MEDICIONES DETALLADAS EN LA PASTURA

Las determinaciones de flujos de tejidos y de las principales variables morfogénicas se realizaron en las dos especies de mayor aporte específico a la biomasa: *Bromus auleticus* Trin. y *Stipa setigera* Presl. (*Stipa neesiana* Trin. et Rupr.). La elección de las mismas se realizó previo al inicio del experimento, mediante muestreo del tapiz, que consistió en el estudio de la composición botánica y de la contribución específica. Estas especies en conjunto aportaron 33% del disponible en materia seca total del tapiz (Saldanha, no publicado), sin variaciones marcadas entre tratamientos de fertilización nitrogenada.

En cada repetición se marcaron al azar cuatro transectas de dos metros de longitud por especie. Dentro de ellas se individualizaron y marcaron con un anillo de cable telefónico coloreado, que se sujeto al suelo con un clavo, 10 macollos de la especie correspondiente a la transecta. En el experimento se trabajó con 160 individuos totales por especie. En las situaciones en que el efecto del pastoreo desmarcaba los individuos o removía completamente la hoja nueva o la totalidad del macollo, se remarcaba otro individuo en el cual se continuaban las mediciones.

Durante un periodo de 45 días con una frecuencia bisemanal en cada macollo se midió el largo de lámina verde de cada hoja, desde la lígula hasta la punta de la lámina o hasta el límite del área senescente (Arosteguy, 1982; Davies, 1993), y se registró la aparición de hojas y macollos. Se usaron códigos según el estado en que se encontraba la hoja: elongando, madura, consumida o redefoliada. En caso de hojas defoliadas la lámina fue marcada con una pequeña incisión longitudinal para detectar futuras defoliaciones.

3.6 MEDICIONES EN EL LABORATORIO

Se realizaron determinaciones complementarias conducentes a estimar el flujo de crecimiento de forraje en términos de Kg MS/ha/día (Arosteguy, 1982; Mazzanti et al., 1994).

Mediante muestreo destructivo se cosecharon individuos para cada especie en las cuatro repeticiones, con el fin de disponer de suficiente material vegetal representativo del tapiz para realizar las siguientes determinaciones. Parte de los individuos colectados se clasificaron según tamaño (chico, mediano y grande), en los que se determinó

proporción de cada tipo y peso seco promedio del macollo. Por otro lado se midió ancho foliar en láminas elongando y maduras en su parte media (ancho máximo) para determinar el ancho promedio. Posteriormente, en el restante material colectado, se midió longitud de hoja elongando y madura (aproximadamente 15-20 m), luego se determinó su peso seco para calcular el peso seco en miligramos del milímetro de lámina verde en hojas maduras y en elongación.

A mitad del período experimental se extrajeron 16 panes de suelo de 20 por 20 centímetros por repetición, en los cuales se determinó la densidad y el peso seco promedio en miligramos por macollo para los siguientes componentes: *B. auleticus*, *S. setigera*, otras gramíneas invernales, gramíneas estivales y malezas más leguminosas. Cabe resaltar que las leguminosas fueron agrupadas con las malezas por su bajo aporte a la biomasa.

3.7 MEDICIONES EN LOS ANIMALES

Los animales fijos se pesaron a intervalos de aproximadamente 20 – 25 días durante el período experimental, sin desbaste previo, utilizando una balanza con precisión de 0.5 Kg, mientras que el peso de los animales volantes se registró a la entrada y salida de las parcelas a fin de estimar la capacidad de carga animal (Kg PV/ha y animales/ha) de cada tratamiento (ver anexo N° 9).

Mediante regresión lineal de la evolución de peso de los animales fijos dentro del período en estudio (25/06/03 al 14/08/03) se calcularon las ganancias diarias. La productividad secundaria ó producción de carne por unidad de superficie (Kg PV/ha), se calculó como el producto de la producción de carne individual (Kg PV producido/animal) por la carga animal promedio (animales fijos y volantes, en número de animales por hectárea).

3.8 ESTIMACION DE FLUJOS DE TEJIDOS

3.8.1 Estimación del crecimiento

La tasa de elongación foliar (cm/macollo/día) en cada una de las especies evaluadas se calculó a partir de las variaciones positivas en el largo foliar de los individuos en el intervalo de tiempo entre dos mediciones sucesivas, excluyendo las hojas defoliadas.

Con los valores de tasa de elongación foliar y el peso seco del centímetro de lámina de las hojas en elongación se calculó la tasa en término de peso (mg MS/macollo/día). En función de la densidad de macollos (n° macollos/m²) se determinó posteriormente, para cada especie, la tasa de crecimiento bruto diario por unidad de superficie (Kg MS/ha/día).

3.8.2 Estimación de la senescencia

La tasa de senescencia foliar (cm/macollo/día) en cada una de las especies evaluadas se calculó a partir de las variaciones negativas en el largo foliar de los individuos en el intervalo de tiempo entre dos medidas sucesivas, excluyendo la pérdida de material foliar por defoliación. Con la tasa de senescencia foliar y el peso seco del centímetro de lámina de las hojas maduras se calculó la tasa en término de peso (mg MS/macollo/día). En función de la densidad de macollos (n° macollos/m²) se determinó para cada especie la tasa de senescencia diaria por unidad de superficie (Kg MS/ha/día).

3.9 ESTIMACION DEL CONSUMO ANIMAL

La estimación de la tasa del consumo foliar por individuo (cm/macollo/día), para cada especie se realizó a partir de la reducción en el largo foliar ocurrida en la población de hojas defoliadas entre dos mediciones sucesivas (Mazzanti, 1990; Rodríguez Palma, 1998). Para las hojas maduras la cantidad de tejido foliar desaparecido por el consumo animal se determinó como la diferencia en largo de las hojas entre dos fechas sucesivas, excluyendo las hojas que disminuyen su longitud foliar debido a la senescencia. Para las hojas en crecimiento fue necesario adicionar la tasa de elongación obtenida en la población de hojas en crecimiento no defoliadas, en el período en el cual se produjo el evento de defoliación, calculando la tasa de consumo como la diferencia entre la longitud foliar al comienzo del intervalo de defoliación mas la tasa de elongación y la longitud foliar al final del mismo. Con la tasa de consumo foliar y el peso seco del centímetro de lámina se calculó la tasa en término de peso del individuo (mg MS/macollo/día). En función de la densidad de individuos se determinó posteriormente la tasa de consumo diaria por unidad de superficie (Kg MS/ha/día) para cada especie.

3.10 BALANCE ENTRE LOS FLUJOS DE TEJIDOS

3.10.1 Determinación del crecimiento neto del forraje

La tasa de crecimiento neto diaria de forraje en cada una de las especies evaluadas se calculó como la diferencia entre la tasa de crecimiento bruto y la tasa de senescencia, expresada en términos de materia seca por unidad de superficie (Kg MS/ha/día).

3.10.2 Estimación de la eficiencia de utilización del crecimiento de forraje

La eficiencia de utilización del crecimiento de forraje, expresada en porcentaje, para cada especie en los diferentes niveles de fertilización con nitrógeno, se calculó de dos maneras como se detalla a continuación.

Eficiencia potencial de utilización del forraje se define como la relación entre el crecimiento neto de forraje y el forraje bruto crecido (Bircham; Hodgson, 1983). Representa la cantidad de forraje potencialmente disponible para el consumo animal, en situaciones en que las características estructurales de la pastura se mantienen relativamente constantes.

$$EPUF = \frac{CBF - FS}{CBF} * 100$$

EPUF: eficiencia potencial de utilización de forraje

CBF: crecimiento bruto de forraje

FS: forraje senescente

Eficiencia actual de utilización de forraje se define como la relación entre los flujos de consumo y de crecimiento bruto de forraje (Mazzanti; Lemaire, 1994). Indica la cantidad de forraje efectivamente consumida por el animal, y es sensible ante variaciones que puedan ocurrir en la biomasa aérea o en la altura del tapiz, a pesar del ajuste de la carga animal.

$$EAUF = \frac{CON}{CBF} * 100$$

EAUF: eficiencia actual de utilización de forraje

CBF: crecimiento bruto de forraje

CON: consumo de forraje

3.11 ESTIMACION DE LOS MECANISMOS MORFOGENETICOS

A partir del registro del número total de hojas por individuo y la aparición de hojas se calcularon el número máximo de hojas vivas por individuo y la tasa de aparición de hojas. Esta última se calculó dividiendo el número de hojas aparecidas en el período de mediciones sobre el total de macollos-día (número total de individuos por el intervalo en días transcurrido entre la primera y la última observación). La inversa de la tasa de aparición de hojas corresponde al intervalo de aparición de hojas. A partir de estos datos se estimó la vida media foliar, como el producto del intervalo de aparición de hojas por el número máximo de hojas vivas (Chapman; Lemaire, 1993; Davies, 1993). Además se determinó el largo foliar promedio (incluyendo todas las hojas que no fueron totalmente defoliadas), el largo foliar por categoría de edad de la hoja y el largo foliar total del individuo.

3.12 ESTIMACION DE LOS PATRONES DE DEFOLIACION

Se establecieron los patrones de defoliación para cada especie en cada tratamiento, estimando la frecuencia e intensidad de defoliación a nivel de individuo y de las diferentes categorías de edad de las hojas (Hodgson, 1966; Mazzanti, 1990). La frecuencia de defoliación se estimó como el número de eventos de defoliación ocurridos durante el período de mediciones dividido el total de macollos-día. La inversa de la frecuencia de defoliación corresponde al intervalo de defoliación, expresado en días (Hodgson, 1966). La intensidad de defoliación a nivel de individuo se calculó como la relación entre la longitud de las hojas cosechadas en un evento de defoliación y la longitud foliar total del individuo antes de la defoliación (Hodgson; Ollerenshaw, 1969). La intensidad de defoliación a nivel de una hoja se calculó como la proporción de hoja cosechada en cada evento de defoliación respecto a la longitud de la hoja previo a la defoliación (Mazzanti; Lemaire, 1994).

3.13 RESPUESTA A LA SUMA TERMICA

Durante el período de mediciones se calculó la temperatura acumulada o suma térmica, tomando los registros promedios de las temperaturas diarias máximas y mínimas del aire medidas a 1.5 metros y considerando una temperatura base de 0 °C (Lemaire; Agnusdei, 1999). Las variables tasas de

elongación, senescencia, elongación neta y longitud foliar por individuo se relacionaron con la suma térmica.

3.14 ANALISIS ESTADISTICO

La información se procesó mediante un programa desarrollado en el paquete estadístico SAS, por el Grupo de Producción y Utilización de Pasturas de la Unidad Integrada Balcarce (República Argentina). Este programa facilita el cálculo de las tasas de los distintos flujos y de las variables morfogenéticas y los patrones de defoliación a partir de la información generada en las mediciones llevadas a cabo en cada individuo.

Dentro del período experimental para testear el efecto del tratamiento (nivel de fertilización nitrogenada), especie y la interacción entre ambos, se utilizó un diseño completamente al azar, siendo la unidad experimental la parcela.

Para la evaluación de los flujos de crecimiento, variables morfogenéticas y estructurales de la pastura, consumo animal y sus componentes y eficiencia de utilización del forraje se utilizó el siguiente modelo general:

$$Y_{ijk} = \mu + \delta_i + \alpha_j + (\alpha\delta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Donde:

Y_{ijk} = variable evaluada

μ = media general

δ_i = efecto de la especie $i = 1$: *Bromus auleticus*, 2 : *Stipa setigera*

α_j = efecto del nitrógeno $j = 1$: 0 Kg N/ha, 2 : 50 Kg N/ha

$(\alpha\delta)_{ij}$ = interacción nitrógeno-especie

ϵ_{ijk} = error experimental $\epsilon_{ijk} \sim N e I (0 ; \sigma^2)$

Para las variables de producción animal (animales/ha, productividad individual y secundaria y ganancia media diaria) y para las variables generales de la pastura (altura y tasa de crecimiento) se utilizó el siguiente modelo:

$$Y_{jk} = \mu + \alpha_j + \epsilon_{jk}$$

Donde:

Y_{jk} = variable evaluada

μ = media general

α_j = efecto del nitrógeno $j= 1: 0 \text{ Kg N/ha}, 2: 50 \text{ Kg N/ha}$

ϵ_{jk} = error experimental

Para variables discretas como por ejemplo n° macollos/m² que pueden presentar una distribución Poisson o Binomial negativa pero en este trabajo se analizaran mediante modelo lineal generalizado.

El estudio estadístico fue llevado a cabo a través del programa SAS (6,12), por análisis de varianza, mediante el proc glm, realizando las comparaciones de medias por el test de Tukey con una probabilidad de 5%. Además, se realizó análisis de regresión entre las tasas de elongación, senescencia, crecimiento neto y longitud foliar del individuo con la suma térmica. También se realizó análisis de regresión lineal simple entre la tasa de consumo por superficie, porcentaje de hoja promedio defoliada e intervalo de defoliación con la carga animal (en Kg PV/ha). Los parámetros de los modelos de regresión se compararon utilizando variables Dummy (Berenson *et al.*, 1983, citados por Rodríguez Palma, 1998).

El criterio utilizado para analizar los niveles de significancia obtenidos en el presente trabajo fueron los siguientes: 0,0 a 0,05 significativo, de 0,05 a 0,1 tendencia, de 0.1 a 0.14 diferencias porcentuales y valores mayores a 0.14 no significativos.

4. RESULTADOS

4.1 CONDICIONES EXPERIMENTALES GENERALES

4.1.1 Tasas de crecimiento

La tasa de crecimiento de forraje en Kg MS/ha/día aumentó significativamente un 43% al fertilizar con nitrógeno contemplando los 45 días correspondientes a las mediciones detalladas en la pastura.

Cuadro N° 4. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre la tasa de crecimiento del forraje (Kg MS/ha/día) durante el período de mediciones detalladas

Período/Tratamiento	N0	N50	N.S.
25/06 al 08/08	9,80	14,00	p= 0,046

N.S. = nivel de significación

4.1.2 Forraje

En cuanto al forraje disponible y rechazado en Kg MS/ha, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos de fertilización nitrogenada para las fechas correspondientes a la entrada y salida de los animales en las subparcelas. Los valores promedios fueron de 1813 y 1763 Kg MS/ha para disponible y rechazo respectivamente.

4.1.3 Altura del tapiz

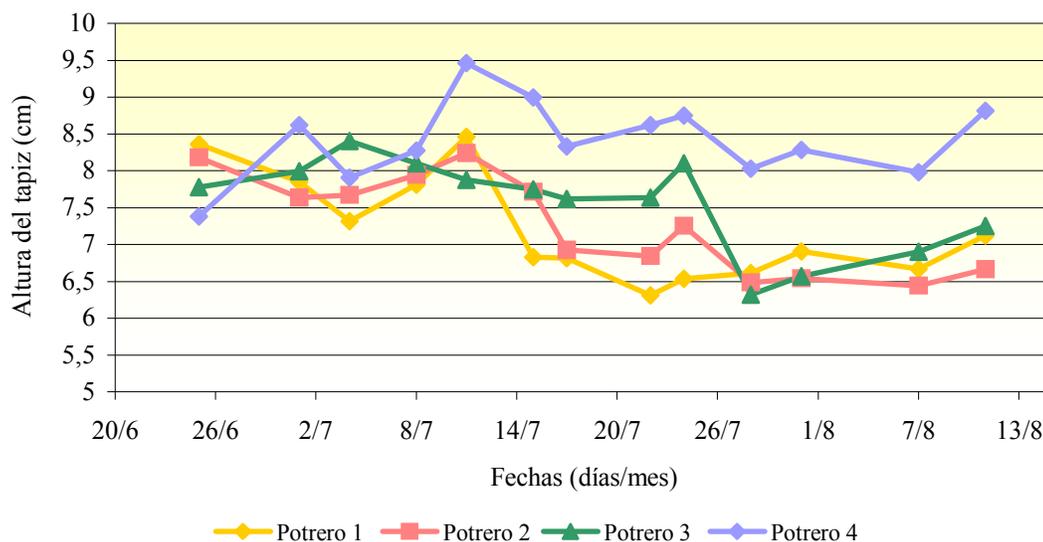
La altura promedio del tapiz durante el período correspondiente a las mediciones detalladas no presentó diferencias significativas entre los tratamientos de fertilización (cuadro N° 5). Esto era lo esperable dado que se mantuvo esta variable fija dentro de cierto rango por medio de un sistema de carga animal variable con ingreso y salida de animales volantes.

Cuadro N° 5. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre la altura del tapiz promedio (cm) durante el período de mediciones detalladas

Período/Tratamiento	N0	N50	N.S.
25/06 al 11/08	7,81	7,42	p= 0,594

N.S. = nivel de significación

Como se observa en la gráfica N° 1 la altura del tapiz siempre se mantuvo en un rango de altura constante entre 6 y 9,5 cm durante todo el período de mediciones detalladas en la pastura.



Gráfica N° 1. Evolución de la altura del tapiz en el período de mediciones detalladas

4.2 EFECTO DE LA FERTILIZACION NITROGENADA EN LAS TASAS FOLIARES

En el cuadro N° 6 se muestra la significancia de los efectos principales y su interacción para las tasas foliares (cm/macollo/día).

Cuadro N° 6. Significancia de los análisis de varianza para la tasa de elongación, senescencia, elongación neta y consumo en función de los factores considerados

Fuente de variación	TEF	TSF	TENF	TC
Nivel N	ns	**	*	*
Especie	**	**	ns	ns
Especie*Nivel N	ns	ns	ns	ns

TEF = tasa de elongación foliar

TSF = tasa de senescencia foliar

TENF = tasa de elongación neta foliar

TC = tasa de consumo

ns = $p > 0,05$ * = $p \leq 0,05$ ** = $p \leq 0,01$

Como se observa en el cuadro anterior, no se detectó interacción doble (especie*Nivel N) en ninguna de las variables analizadas.

4.21 Tasas de elongación foliar

La tasa de elongación foliar (cm/macollo/día) no presentó diferencias significativas frente al agregado de nitrógeno en ninguna de las especies evaluadas, al igual que en la sumatoria de ambas (cuadro N° 7).

Cuadro N° 7. Efecto de la fertilización nitrogenada y la especie sobre la tasa de elongación foliar (cm/macollo/día)

Especie/Tratamiento	NO	N50	N.S.

Especie/Tratamiento	N0	N50	N.S.
B. auleticus	0,435	0,476	p= 0,379
S. setigera	0,230	0,231	p= 0,954
N.S.	p= 0,025	p= 0,011	
Sumatoria	0,665	0,707	p= 0,269

N.S. = nivel de significación

La tasa de elongación promedio en ambos niveles de fertilización nitrogenada fue mayor en *B. auleticus* respecto a *S. setigera*.

4.2.1.1 Relación entre la tasa de elongación y la suma térmica

La respuesta de la tasa de elongación foliar a la suma térmica para las especies evaluadas en ambos niveles de fertilización nitrogenada se describió satisfactoriamente mediante regresión lineal, lo que se puede ver en el cuadro N° 8.

La relación fue significativa en las dos especies evaluadas para ambos tratamientos. La suma térmica en el modelo lineal explicó más del 99% de las variaciones observadas en elongación foliar. Estos coeficientes de determinación fueron superiores a los encontrados por Rodríguez Palma (1998).

Cuadro N° 8. Efecto de la fertilización nitrogenada y la especie en la relación entre la tasa de elongación foliar y la suma térmica

Tratamiento y especie	Ecuación lineal	Coefficiente de determinación	N.S.
N0 <i>B. auleticus</i>	$TEF = -0,094 + 0,009 * ST$	$r^2 = 0,990$	p= 0,0001
N0 <i>S. setigera</i>	$TEF = -0,090 + 0,005 * ST$	$r^2 = 0,995$	p= 0,0001

N50 <i>B. auleticus</i>	TEF= -0,189 + 0,010 * ST	r ² = 0,991	p= 0,0001
N50 <i>S. setigera</i>	TEF= -0,060 + 0,005 * ST	r ² = 0,994	p= 0,0001

TEF = tasa de elongación foliar (cm/individuo/día)

ST = suma térmica (° C)

N.S. = nivel de significación

Las ecuaciones de regresión lineal entre la tasa de elongación foliar y la suma térmica difirieron significativamente entre ambos tratamientos de fertilización nitrogenada en *B. auleticus*, tanto en la ordenada al origen (p= 0,004) como en la pendiente (p= 0,032), mientras que *S. setigera* solo difirió en la ordenada al origen (p= 0,018) pero no en la pendiente (p= 0,371).

4.2.2 Senescencia foliar

La aplicación de nitrógeno provocó una disminución significativa de 36% en la tasa de senescencia foliar (cm/macollo/día) en *B. auleticus* mientras que para *S. setigera* no hubo diferencias significativas, observándose una reducción porcentual del 31% en N50 (cuadro N° 9). Como se puede ver en el cuadro, la tasa de senescencia foliar en la sumatoria de ambas especies tendió a reducirse al aplicar nitrógeno.

Cuadro N° 9. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre la tasa de senescencia foliar (cm/macollo/día)

Especie/Tratamiento	NO	N50	N.S.
B. auleticus	0,468	0,298	p= 0,037
S. setigera	0,286	0,197	p= 0,118
N.S.	p= 0,033	p= 0,096	
Sumatoria	0,754	0,495	p= 0,058

N.S. = nivel de significación

En el tratamiento N0 se observó que la tasa de senescencia para *B. auleticus* fue significativamente mayor que en *S. setigera* mientras que con fertilización nitrogenada esta diferencia entre las especies es minimizada, encontrándose una tendencia a ser superior en *B. auleticus*.

4.2.2.1 Relación entre la tasa de senescencia y la suma térmica

En el cuadro N° 10 se observa que la relación entre tasa de senescencia foliar y la suma térmica, para ambas especies en los dos niveles de fertilización nitrogenada, fue significativa y la suma térmica explicó entre el 90 y 96% de las variaciones observadas.

Cuadro N° 10. Efecto de la fertilización nitrogenada y la especie en la relación entre la tasa de senescencia foliar y la suma térmica

Tratamiento y especie	Ecuación lineal	Coefficiente de determinación	N.S.
-----------------------	-----------------	-------------------------------	------

			p= 0,0001
			p= 0,0001

			p= 0,0001
			p= 0,0001

--	--	--	--

TSF = tasa de senescencia foliar (cm/individuo/día)

ST = suma térmica (° C)

N.S. = nivel de significación

Las ecuaciones de regresión presentaron valores diferentes en la ordenada al origen y en la pendiente entre tratamientos de fertilización nitrogenada tanto en *B. auleticus* ($p=0,0001$ y $p=0,0001$, respectivamente) como en *S. setigera* ($p=0,0003$ y $p=0,0086$, respectivamente).

4.2.3 Elongación foliar neta

La tasa de elongación foliar neta (cm/macollo/día) tendió a aumentar (640%) en *B. auleticus* mientras que en *S. setigera* no se encontraron diferencias significativas en la tasa de elongación neta por efecto de la aplicación de nitrógeno. Sin embargo para la sumatoria de ambas especies, se observó una tendencia a ser mayor en un 334% en el tratamiento fertilizado.

Cuadro N° 11. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre la tasa de elongación foliar neta (cm/macollo/día)

Especie/Tratamiento	N0	N50	N.S.
B. auleticus	-0,033	0,178	p= 0,054
S. setigera	-0,057	0,034	p= 0,174
N.S.	p= 0,699	p= 0,067	
Sumatoria	-0,090	0,212	p= 0,077

N.S. = nivel de significación

En el tratamiento fertilizado la tasa de elongación neta tendió a ser superior en *B. auleticus*, mientras que en N0 no existieron diferencias significativas entre las especies.

4.2.3.1 Relación entre la tasa de elongación neta y la suma térmica

Los resultados de la relación entre la tasa de elongación neta y la suma térmica son presentados en el cuadro siguiente, donde se visualiza que la suma térmica explicó entre el 40 y el 87% de las variaciones en la tasa de elongación neta de las especies, con excepción de *S. setigera* en el tratamiento fertilizado. En este caso, la relación con la suma térmica no es significativa.

Cuadro N° 12. Efecto de la fertilización nitrogenada y la especie en la relación entre la tasa de elongación neta y la suma térmica

Tratamiento y especie	Ecuación lineal	Coefficiente de determinación	N.S.
-----------------------	-----------------	-------------------------------	------

			p= 0,0192
			p= 0,0036

			p= 0,0001
			p= 0,8975

--	--	--	--

TEN = tasa de elongación neta (cm/individuo/día)

ST = suma térmica (° C)

N.S. = nivel de significación

Las ecuaciones de regresión difirieron entre tratamientos de fertilización nitrogenada en la ordenada al origen y en la pendiente en *B. auleticus* ($p= 0,0001$ y $p= 0,0001$, respectivamente) y en *S. setigera* ($p= 0,0001$ y $p= 0,0064$, respectivamente).

4.2.4 Consumo foliar

El consumo foliar (cm/macollo/día) tendió a ser superior por efecto de la fertilización nitrogenada para *B. auleticus* en un 264% y en *S. setigera* aumentó un 256%. Para la sumatoria de ambas especies, el consumo tendió a incrementarse un 262%.

Cuadro N° 13. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el consumo foliar (cm/macollo/día)

Especie/Tratamiento	N0	N50	N.S.
B. auleticus	0,084	0,306	p= 0,098
S. setigera	0,062	0,221	p= 0,052
N.S.	p= 0,787	p= 0,207	
Sumatoria	0,146	0,527	p= 0,062

N.S. = nivel de significación

Sin embargo no se encontraron diferencias significativas en el consumo lineal entre las especies en ambos niveles de fertilización.

4.3 EFECTO DE LA FERTILIZACION NITROGENADA EN LAS TASAS POR INDIVIDUO

En el cuadro N° 14 se muestra la significancia de los efectos principales y su interacción para las tasas por individuo (mg MS/macollo/día).

Cuadro N° 14. Significancia de los análisis de varianza para el crecimiento bruto, senescencia, crecimiento neto y consumo individual en función de los factores considerados

Fuente de variación	TCBI	TSI	TCNI	TCI
Nivel N	ns	ns	ns	*
Especie	ns	ns	ns	ns
Especie*Nivel N	ns	ns	ns	ns

TCBI = tasa de crecimiento bruto individual

TSI = tasa de senescencia individual

TCNI = tasa de crecimiento neto individual

TCI = tasa de consumo individual

ns = $p > 0,05$ * = $p \leq 0,05$

Como se observa en el cuadro anterior, no se detectó interacción doble (especie*Nivel N) en ninguna de las variables analizadas.

4.3.1 Crecimiento bruto individual

El crecimiento bruto individual a nivel de especie no presentó diferencias significativas por el agregado de fertilizante.

Cuadro N° 15. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el crecimiento bruto (mg MS/macollo/día)

Especie/Tratamiento	N0	N50	N.S.
B. auleticus	0,271	0,363	p= 0,247
S. setigera	0,273	0,201	p= 0,187
N.S.	p= 0,975	p= 0,069	
Sumatoria	0,544	0,564	p= 0,598

N.S. = nivel de significación

No existieron diferencias significativas entre las especies en crecimiento bruto individual en mg MS/macollo/día en N0, mientras que en N50 existió una tendencia a ser superior en *B. auleticus*.

4.3.2 Senescencia individual

En el cuadro siguiente se observa que el efecto de la aplicación de nitrógeno tendió a reducir la senescencia individual en *B. auleticus* y no presentó efecto en *S. setigera*, al igual que en la sumatoria entre ambas. En el tratamiento testigo existió una tendencia a ser menor la senescencia individual en *S. setigera* mientras que en N50 desaparece dicha diferencia.

Cuadro N° 16. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre la senescencia individual (mg MS/macollo/día)

Especie/Tratamiento	NO	N50	N.S.
B. auleticus	0.549	0.326	p= 0.106
S. setigera	0.313	0.258	p= 0.579
N.S.	P= 0.108	p= 0.480	
Sumatoria	0.862	0.584	p= 0.125

N.S. = nivel de significación

4.3.3 Crecimiento neto individual

Al analizar el crecimiento neto individual en mg MS/macollo/día al aplicar nitrógeno, en *B. auleticus* se observó una tendencia a aumentar un 113%, en cambio en *S. setigera* no se obtuvieron diferencias. Sin embargo para la sumatoria de las gramíneas evaluadas existió una tendencia a ser superior. En ninguno de los niveles de fertilización se observaron diferencias entre las especies.

Cuadro N° 17. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el crecimiento neto individual (mg MS/macollo/día)

Especie/Tratamiento	N0	N50	N.S.
B. auleticus	-0,277	0,037	p= 0,058
S. setigera	-0,040	-0,057	p= 0,891
N.S.	P= 0,180	p= 0,273	
Sumatoria	-0,317	-0,020	p= 0,088

N.S. = nivel de significación

4.3.4 Consumo a nivel de individuo

El consumo por individuo tendió a aumentar 264% para *B. auleticus*, 289% en *S. setigera* y 274% al evaluar ambas especies, al aumentar el nivel de fertilización nitrogenada.

Cuadro N° 18. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el consumo a nivel de individuo (mg MS/macollo/día)

Especie/Tratamiento	N0	N50	N.S.
B. auleticus	0,082	0,297	p= 0,089
S. setigera	0,066	0,256	p= 0,089
N.S.	P= 0,842	p= 0,555	
Sumatoria	0,148	0,553	p= 0,055

N.S = nivel de significación

Entre las especies evaluadas, el consumo a nivel de macollo no presentó diferencias significativas para los niveles 0 y 50 de fertilización nitrogenada, lo que concuerda con los resultados obtenidos para consumo foliar en cm/macollo/día (Cuadro N° 13).

4.4 EFECTO DE LA FERTILIZACION NITROGENADA EN LOS FLUJOS DE TEJIDO POR UNIDAD DE SUPERFICIE

En el cuadro N° 19 se muestra la significancia de los efectos principales y su interacción para los flujos de tejidos por superficie (Kg MS/ha/día).

Cuadro N° 19. Significancia de los análisis de varianza para crecimiento bruto, senescencia, crecimiento neto y consumo por superficie en función de los factores considerados

Fuente de variación	TCBS	TSS	TCNS	TCS
Nivel N	ns	ns	ns	**
Especie	*	ns	ns	ns
Especie*Nivel N	ns	ns	*	ns

TCBS = tasa de crecimiento bruto por superficie

TSS = tasa de senescencia por superficie

TCNS = tasa de crecimiento neto por superficie

TCS = tasa de consumo por superficie

ns = $p > 0,05$

* = $p \leq 0,05$

** = $p \leq 0,01$

Como se observa en el cuadro anterior, solo se detectó interacción doble, especie*Nivel N, para tasa de elongación neta por superficie.

4.4.1 Crecimiento bruto diario por superficie

El cambio en crecimiento bruto diario por hectárea debido a la aplicación de nitrógeno no fue significativo para ninguna de las dos especies en estudio, observándose únicamente diferencias porcentuales del 61% en *B. auleticus* y sin variación en *S. setigera*.

En el tratamiento N50 se observó que *S. setigera* tiene menor crecimiento bruto por superficie que *B. auleticus*, no encontrándose diferencias en el tratamiento testigo.

Cuadro N° 20. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el crecimiento bruto por superficie (Kg MS/ha/día)

Especie/Tratamiento	NO	N50	N.S.
B. auleticus	4,56	7,32	p= 0,174
S. setigera	3,27	3,24	p= 0,950
N.S.	p= 0,452	p= 0,002	
Sumatoria	7,83	10,56	p= 0,263

N.S. = nivel de significación

4.4.2 Senescencia diaria por superficie

En senescencia foliar diaria por superficie las especies en estudio no presentaron respuesta significativa a la aplicación de nitrógeno. De la misma manera, no se apreciaron diferencias significativas entre las especies en ninguno de los tratamientos de fertilización nitrogenada.

Cuadro N° 21. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre la senescencia por superficie (Kg MS/ha/día)

Especie/Tratamiento	NO	N50	N.S.

Especie/Tratamiento	NO	N50	N.S.
B. auleticus	9,00	6,51	p= 0,998
S. setigera	3,98	4,23	p= 0,891
N.S.	p= 0,570	p= 0,258	
Sumatoria	12,98	10,74	p= 0,566

N.S. = nivel de significación

4.4.3 Crecimiento neto diario por superficie

En el siguiente cuadro se pueden observar los resultados obtenidos para la tasa de crecimiento neto diario por hectárea, la cual fue aumentada significativamente para *B. auleticus* en un 118%, mientras que en *S. setigera* no hubo diferencia significativa. Cuadro N° 22. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el crecimiento neto por superficie (Kg MS/ha/día)

Especie/Tratamiento	NO	N50	N.S.
B. auleticus	- 4,44	0,81	p= 0,042
S. setigera	- 0,71	- 1,04	p= 0,851
N.S.	P= 0,114	p= 0,290	
Sumatoria	-5,15	-0,23	p= 0,131

N.S. = nivel de significación

Entre especies en cada tratamiento no se observaron diferencias estadísticas, a pesar de registrarse variaciones porcentuales en el tratamiento testigo a favor de *S. setigera*.

4.4.4 Consumo diario por superficie

En lo que respecta al consumo diario por hectárea, en *B. auleticus* hubo una tendencia a ser mayor (306%), mientras que en *S. setigera* se incremento un 384%. Para la sumatoria de las mismas el efecto del nitrógeno fue significativo.

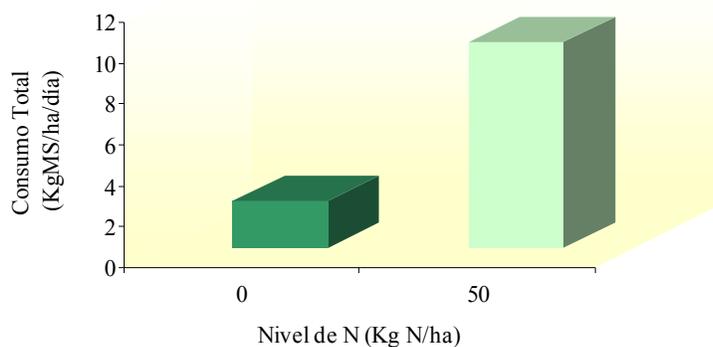
En N0 no se presentaron diferencias estadísticas en el nivel de consumo diario entre las especies, pero en N50 se visualiza una mayor ingesta de *B. auleticus*.

Cuadro N° 23. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el consumo por superficie (Kg MS/ha/día)

Especie/Tratamiento	N0	N50	N.S.
B. auleticus	1,478	6,006	p= 0,072
S. setigera	0,840	4,064	p= 0,023
N.S.	p= 0,680	p= 0,027	
Sumatoria	2,318	10,070	p= 0,046

N.S. = nivel de significación

En la siguiente gráfica, se representa como el consumo diario total se modificó en respuesta al agregado de nitrógeno, el cual fue de 334% superior.



Gráfica N° 2. Consumo diario total de *B. auleticus* y *S. setigera* en función del nivel de nitrógeno

4.4.4.1 Relación entre el consumo diario por superficie y la carga promedio

En las relaciones lineales entre el consumo diario por superficie y la carga promedio se pudo ver, que la misma explicó entre el 87 y el 95% del consumo diario de *B. auleticus*, *S. setigera* y del consumo diario total.

Cuadro N° 24. Relación entre el consumo diario total por superficie y la carga promedio

Especie	Ecuación lineal	Coefficiente de determinación	N.S.
B. auleticus	$C = -3,46 + 0,018 * carga$	$r^2 = 0,872$	p= 0,025
S. setigera	$C = -2,64 + 0,013 * carga$	$r^2 = 0,951$	p= 0,066
Sumatoria	$CT = -6,10 + 0,030 * carga$	$r^2 = 0,915$	p= 0,043

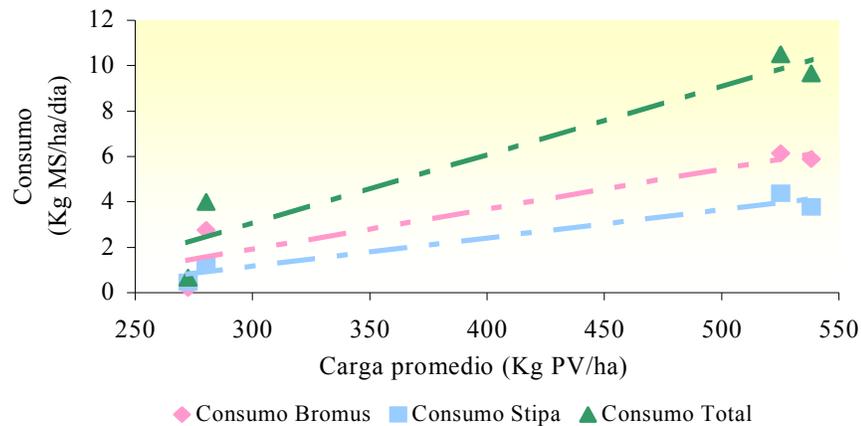
C = consumo diario promedio por superficie (Kg MS/ha/día)

CT = consumo total por superficie (Kg MS/ha/día)

carga = carga promedio (Kg PV/ha)

N.S. = nivel de significación

En la siguiente gráfica se presenta la relación entre el consumo diario total y por especies en función de la carga promedio.



Gráfica N° 3. Relación entre consumo diario promedio por especie y consumo total por superficie en función de la carga promedio

Las ecuaciones de regresión lineal entre el consumo diario promedio y la carga animal presentaron similar ordenada al origen ($p= 0,210$) y pendiente ($p= 0,374$) entre las especies.

4.5 EFECTO DE LA FERTILIZACION NITROGENADA SOBRE LOS PATRONES DE DEFOLIACION POR CATEGORIA DE EDAD DE LA HOJA

4.5.1 Porcentaje de defoliación por categoría de edad de la hoja

En el modelo general, la respuesta a la fertilización nitrogenada para esta variable no presentó diferencias significativas en el análisis de varianza para los factores considerados.

El porcentaje de defoliación por categoría de edad de la hoja, dentro de cada especie no presentó diferencias significativas entre ambos niveles de nutrición nitrogenada, encontrándose un valor promedio de 62,5%.

Como se puede ver en el cuadro N° 25, dentro de cada tratamiento solo se encontró diferencia significativa entre las especies en N50 en la hoja 3, siendo en este caso el porcentaje de hoja defoliada mayor para *S. setigera*.

Cuadro N° 25. Efecto de la especie sobre el porcentaje de defoliación por categoría de edad de la hoja en cada nivel de fertilización nitrogenada

	N0					N50				
	H1	H2	H3	H4	H5	H1	H2	H3	H4	H5
<i>B. auleticus</i>	64,8	42,4	45,9	70,6	--	62,0	55,9	62,6	67,3	53,5
<i>S. setigera</i>	66,5	62,5	80,9	82,8	--	57,2	56,3	76,7	89,0	--
N.S.	ns	ns	ns	ns	--	ns	ns	p=0,024	ns	--

H1, H2, H3, H4, H5 = hoja 1, 2, 3, 4, 5, desde la más nueva a la más vieja

ns = no significativo al 0,05 %

N.S. = nivel de significación

4.5.2 Tasa de defoliación por categoría de edad de la hoja

En el cuadro N° 26 se muestra la significancia de los efectos principales y su interacción

Cuadro N° 26. Significancia de los análisis de varianza para tasa de defoliación por categoría de hoja en función de los factores considerados

Fuente de variación	Tasa de defoliación			
	H1	H2	H3	H4
Nivel N	*	**	**	ns
Especie	ns	ns	*	ns
Especie*Nivel N	ns	ns	*	ns

H1, H2, H3, H4 = hoja 1, 2, 3, 4; desde la más nueva a la más vieja

ns = $p > 0,05$

* = $p \leq 0,05$

** = $p \leq 0,01$

Como se observa en el cuadro anterior, solo se detectó interacción doble, especie*Nivel N, para la hoja 3.

La tasa de defoliación por categoría de hoja dentro de cada especie difirió entre tratamientos de fertilización nitrogenada solamente en *B. auleticus* para la hoja 3 ($p=0,013$) y en *S. setigera* para la hoja 1 ($p=0,022$) y la hoja 2 ($p=0,022$), presentando mayores tasas de defoliación en N50.

Como se puede observar en el siguiente cuadro, comparando a las especies dentro de cada tratamiento, solamente se registró diferencia significativa en la tasa de defoliación en N50 para la hoja 3.

Cuadro N° 27. Efecto de la especie sobre la tasa de defoliación por categoría de edad de la hoja (hojas/día) en cada nivel de fertilización nitrogenada

	N0				N50			
	H1	H2	H3	H4	H1	H2	H3	H4
<i>B. auleticus</i>	0,004	0,005	0,004	0,003	0,009	0,022	0,019	0,006
<i>S. setigera</i>	0,002	0,003	0,003	0,001	0,015	0,020	0,007	0,0006
N.S.	ns	ns	ns	--	ns	ns	$p=0,013$	ns

H1, H2, H3, H4 = hoja 1, 2, 3, 4; desde la más nueva a la más vieja

ns = no significativo al 0,05 %

N.S. = nivel de significación

4.5.3 Consumo por categoría de edad de la hoja

En el modelo general no se encontraron diferencias significativas en el análisis de varianza para ninguno de los factores considerados.

Al estudiar esta variable dentro de las especies comparando ambos tratamientos no se encontraron diferencias significativas, a excepción del consumo de la hoja 2 para *S. setigera* el cual fue significativamente menor en N50 ($p=0,046$).

En el cuadro N° 28 se aprecia que dentro de cada tratamiento entre las especies evaluadas no se registraron diferencias estadísticas en esta variable.

Cuadro N° 28. Efecto de la especie sobre el consumo por categoría de hoja (%) en cada nivel de fertilización nitrogenada

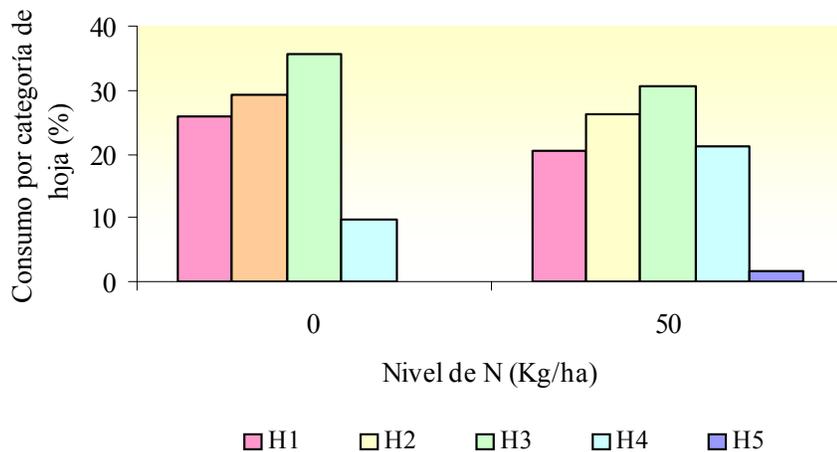
	N0				N50				
	H1	H2	H3	H4	H1	H2	H3	H4	H5
<i>B. auleticus</i>	22,0	19,6	45,0	13,4	17,8	22,9	28,7	27,5	3,06
<i>S. setigera</i>	29,5	38,6	26,0	5,92	23,0	29,4	32,7	14,9	--
N.S.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	--

H1, H2, H3, H4, H5 = hoja 1, 2, 3, 4, 5; desde la más nueva a la más vieja

n.s. = no significativo al 0,05 %

N.S. = nivel de significación

A continuación se presentan gráficamente los datos de consumo por categoría de hoja promedio para ambas especies en función del nivel de nitrógeno.



Gráfica N° 4. Consumo promedio de ambas especies por categoría de hoja (expresado como porcentaje del consumo total) según nivel de fertilización nitrogenada, (H1, H2, H3, H4, H5 = hoja 1, 2, 3, 4, 5; desde la más nueva a la más vieja)

4.6 EFECTO DE LA FERTILIZACION NITROGENADA SOBRE LOS PATRONES DE DEFOLIACION POR INDIVIDUO

En el cuadro N° 29 se muestra la significancia de los efectos principales y su interacción para los patrones de defoliación por individuo.

Cuadro N° 29. Significancia de los análisis de varianza para porcentaje, tasa de defoliación e intervalo de defoliación promedio por individuo en función de los factores considerados

Fuente de variación	PHD	TDE	ITD
Nivel N	ns	**	ns
Especie	ns	ns	ns
Especie*Nivel N	ns	ns	ns

PHD = porcentaje de defoliación

TDE = tasa de defoliación

ITD = intervalo de defoliación

ns = $p > 0,05$ ** = $p \leq 0,01$

Como se observa en el cuadro anterior, no se detectó interacción doble, especie*Nivel N, para ninguna de las variables analizadas.

4.6.1 Porcentaje de defoliación promedio por individuo

El porcentaje promedio de defoliación del macollo fue calculado como el promedio ponderado del porcentaje de defoliación por categoría de hoja y el número de eventos de defoliación correspondiente a esa categoría de hoja, los datos se presentan a continuación.

Cuadro N° 30. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el porcentaje de hoja promedio defoliada por individuo

	N0	N50	N.S.
<i>B. auleticus</i>	51,0	60,2	p= 0,304
<i>S. setigera</i>	68,6	60,2	p= 0,480
N.S.	p= 0,270	p= 0,968	
Promedio	59,8	60,2	p= 0,803

N.S. = nivel de significación

En esta variable la aplicación de nitrógeno no mostró diferencias significativas. De la misma manera dentro de un mismo nivel de nutrición nitrogenada no se encontraron diferencias estadísticas entre las especies.

El porcentaje promedio de hoja defoliada, para el promedio de las gramíneas, para ambos tratamientos de fertilización fue de 60,0% sin diferir entre ellos. En lo que respecta a cada especie el promedio entre los niveles de fertilización fue de un 55,6% en *B. auleticus* y 64,4% en *S. setigera*.

En el cuadro N° 31 se presentan las ecuaciones de regresión entre el porcentaje de hoja defoliada y la carga animal promedio, observándose que los modelos de regresión no son significativos.

Cuadro N° 31. Relación entre el porcentaje de hoja promedio defoliada y la carga animal promedio

Tratamiento y especie	Ecuación lineal	Coefficiente de determinación	N.S.
N0	$PHD = 166,8 - 0,387 * \text{carga}$	$r^2 = 0,015$	p= 0,879
N50	$PHD = 87,6 - 0,052 * \text{carga}$	$r^2 = 0,080$	p= 0,717
<i>B. auleticus</i>	$PHD = 40,7 + 0,037 * \text{carga}$	$r^2 = 0,508$	p= 0,287
<i>S. setigera</i>	$PHD = 78,2 - 0,034 * \text{carga}$	$r^2 = 0,294$	p= 0,458

PHD = porcentaje de hoja promedio defoliada (%)
 carga = carga animal promedio (Kg PV/ha)
 N.S. = nivel de significación

4.6.2 Tasa de defoliación promedio por individuo

En el cuadro siguiente se puede ver que se encontró una tendencia a aumentar la tasa de defoliación por individuo al agregar fertilizante, al igual que para el promedio de las gramíneas, el cual fue un 300% superior al fertilizar con nitrógeno. Sin embargo dentro de los tratamientos N0 y N50 no se encontraron diferencias significativas entre las especies.

Cuadro N° 32. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre la tasa promedio de defoliación por individuo (hojas/día)

	N0	N50	N.S.
<i>B. auleticus</i>	0,010	0,033	p= 0,062
<i>S. setigera</i>	0,006	0,030	p= 0,065
N.S.	p= 0,593	p= 0,661	
Promedio	0,008	0,032	p= 0,054

N.S. = nivel de significación

4.6.3 Intervalo de defoliación promedio por individuo

El intervalo de defoliación promedio a nivel de cada especie entre los tratamientos y entre especies en un mismo nivel de nitrógeno no difirió estadísticamente como se muestra a continuación.

Cuadro N° 33. Efecto de la fertilización nitrogenada y la especie sobre el intervalo de defoliación promedio (días) por individuo

	N0	N50	N.S.
<i>B. auleticus</i>	139	30	p= 0,293
<i>S. setigera</i>	201	34	p= 0,214
N.S.	p= 0,659	p= 0,596	

Promedio	170	32	P= 0,245
----------	-----	----	----------

N.S. = nivel de significación

La respuesta del intervalo de defoliación a la carga se describió satisfactoriamente mediante regresión exponencial, ver cuadro N° 34.

Cuadro N° 34. Relación entre el intervalo de defoliación y la carga animal promedio

Ecuación lineal	Coefficiente de determinación
$ITD = 744,7 * e^{-0,006 * \text{carga}}$	$r^2 = 0,755$

ITD = intervalo de defoliación (días)

carga = carga animal promedio (Kg PV/ha)

4.7 EFECTO DE LA FERTILIZACION NITROGENADA SOBRE LAS VARIABLES MORFOGENETICAS Y CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES

En el cuadro N° 35 se muestra la significancia de los efectos principales y su interacción para las variables morfo genéticas y características estructurales.

Cuadro N° 35. Significancia de los análisis de varianza para las variables morfogénicas y características estructurales en función de los factores considerados

Fuente de variación	Nivel N	Especie	Especie*Nivel N
Intervalo de aparición de hoja	ns	**	ns
Tasa de aparición foliar	ns	**	ns
Vida media foliar	ns	**	ns
Longitud de hoja promedio	**	ns	ns
Longitud foliar total	**	**	*
Población de macollos	ns	ns	ns
% macollo chico	ns	ns	ns
% macollo mediano	ns	ns	ns
% macollo grande	ns	ns	ns
Peso promedio del macollo	ns	**	ns
Peso chico del macollo	ns	ns	ns
Peso mediano del macollo	ns	ns	ns
Peso grande del macollo	ns	*	ns
Peso gravimétrico de hoja elongando	ns	**	*
Peso gravimétrico de hoja madura	ns	ns	ns
Ancho de lámina	ns	ns	ns
N° hojas verdes	*	**	ns

ns= $p > 0,05$

*= $p \leq 0,05$

**= $p \leq 0,01$

Como se observa en el cuadro anterior, se detectó interacción doble, especie*Nivel N, solamente en las variables longitud foliar total y peso gravimétrico de hoja elongando.

4.7.1 Intervalo de aparición de hojas

El intervalo de aparición de hojas se corresponde al tiempo entre dos apariciones de hojas sucesivas, expresado en días.

Esta variable en las gramíneas evaluadas no presentó diferencias por efecto de la aplicación de nitrógeno. Entre las especies, cualquiera sea el tratamiento, se obtuvieron diferencias de magnitud significativa siendo los valores aproximadamente un 50% menores en *B. auleticus*.

Cuadro N° 36. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el intervalo de aparición de hojas (días)

Especie/Tratamiento	NO	N50	N.S.
B. auleticus	20,6	20,6	p= 0,983
S. setigera	41,4	39,4	p= 0,734
N.S.	p= 0,030	p= 0,036	
Promedio	31,0	30,0	p= 0,663

N.S. = nivel de significación

4.7.2 Tasa de aparición foliar

Como la tasa de aparición foliar (hojas/día) es el inverso del intervalo de aparición de hojas, en el siguiente cuadro se pueden observar las mismas respuestas expuestas anteriormente. Al aplicar nitrógeno la tasa de aparición de hojas no difiere significativamente. La diferencia que existe entre las especies independientemente del nivel de nitrógeno arroja valores estadísticamente significativos, esta característica morfogénica en ambas situaciones es mayor para *B. auleticus*.

Cuadro N° 37. Efecto de la fertilización nitrogenada y la especie sobre la tasa de aparición foliar (hojas/días)

Especie/Tratamiento	NO	N50	N.S.
---------------------	-----------	-----	------

Especie/Tratamiento	NO	N50	N.S.
B. auleticus	0,048	0,049	p= 0,960
S. setigera	0,024	0,026	p= 0,733
N.S.	p= 0,011	p= 0,021	
Promedio	0,036	0,037	p= 0,258

N.S. = nivel de significación

4.7.3 Vida media foliar

Esta variable se estimó según lo indicado por Chapman y Lemaire (1993) como el producto del intervalo de aparición de hojas (cuadro N° 36) y el número de hojas vivas (cuadro N° 47).

Se puede apreciar en el cuadro N° 38 que a nivel intraespecífico no se encontraron diferencias significativas en respuesta a la fertilización nitrogenada. Sin embargo a nivel interespecífico se observaron valores con nivel de significación estadística en ambos tratamientos, siendo siempre mayores para *S. setigera*, en un 74,2% en el testigo y 56,9% en el fertilizado.

Cuadro N° 38. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre la vida media foliar (días)

Especie/Tratamiento	NO	N50	N.S.

Especie/Tratamiento	NO	N50	N.S.
B. auleticus	66,1	65,0	p= 0,722
S. setigera	115,4	101,6	p= 0,369
N.S.	p= 0,034	p= 0,045	
Promedio	90,8	83,3	p= 0,274

N.S. = nivel de significación.

4.7.4 Longitud de hoja promedio

En el siguiente cuadro se observa la longitud de hoja promedio (cm/hoja), la cual en respuesta a la aplicación de nitrógeno, presentó una disminución significativa del orden del 7,6% para *B. auleticus* y una tendencia a reducirse un 19,4% para *S. setigera*. Para el promedio de ambas especies la disminución fue del 13,7%.

Cuadro N° 39. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre la longitud de hoja promedio (cm/hoja)

Especie/Tratamiento	NO	N50	N.S.
B. auleticus	5,95	5,50	p= 0,044
S. setigera	6,14	4,95	p= 0,058
N.S.	p= 0,601	p= 0,025	
Promedio	6,05	5,22	p= 0,021

N.S. = nivel de significación

La diferencia interespecífica observada en cada tratamiento fue significativa en N50, presentando *B. auleticus* un mayor largo de hoja promedio.

4.7.5 Longitud foliar total

Como se puede observar en el siguiente cuadro, la longitud foliar total se redujo significativamente un 8,9% en *B. auleticus* y un 25,4% en *S. setigera* al aumentar el nivel de fertilización nitrogenada.

Cuadro N° 40. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre la longitud foliar total del macollo (cm/individuo)

Especie/Tratamiento	N0	N50	N.S.
B. auleticus	19,07	17,36	p= 0,040
S. setigera	17,13	12,78	p= 0,023
N.S.	P= 0,102	p= 0,006	
Promedio	18,10	15,07	p= 0,017

N.S. = nivel de significación

La diferencia entre especies fue significativa en N50 y tendió a diferir en N0, presentando *B. auleticus* un mayor largo foliar total del macollo.

4.7.5.1 Relación entre la longitud total foliar y la suma térmica

La respuesta de la longitud foliar total a la acumulación térmica en cada nivel de fertilización se describió satisfactoriamente en todos los tratamientos mediante regresión lineal. En el cuadro N° 41 se presentan las funciones correspondientes a dicha relación, para las especies estudiadas, en los tratamientos de fertilización nitrogenada, para el período evaluado.

La relación fue significativa en ambas especies en los dos tratamientos. La suma térmica en el modelo lineal explicó en las gramíneas evaluadas el 97% de las variaciones en la longitud foliar total.

Cuadro N° 41. Efecto de la fertilización nitrogenada en la relación entre la longitud foliar total y la suma térmica

Tratamiento y especie	Ecuación lineal	Coefficiente de determinación	N. S.
N0 <i>B. auleticus</i>	LFT= 13,9 + 0,431 * ST	$r^2 = 0,967$	p= 0,0001
N0 <i>S. setigera</i>	LFT= 7,65 + 0,384 * ST	$r^2 = 0,969$	p= 0,0001
N50 <i>B. auleticus</i>	LFT= 11,6 + 0,391 * ST	$r^2 = 0,973$	p= 0,0001
N50 <i>S. setigera</i>	LFT= 10,7 + 0,283 * ST	$r^2 = 0,968$	p= 0,0001

LFT = longitud foliar total (cm/individuo)

ST = suma térmica (° C/día)

N.S. = nivel de significación

La relación entre la longitud foliar total y la suma térmica para *B. auleticus* presentó la misma pendiente (p= 0,208) pero diferente intercepto al origen (p= 0,013), entre los niveles de fertilización nitrogenada, mientras que en *S. setigera* tanto la pendiente (p= 0,0008) como la ordenada al origen (p= 0,0001) difirieron entre los tratamientos.

4.7.6 Población de macollos

La densidad de individuos promedio expresada como n° macollos/m² aumentó significativamente un 36,1% en *S. setigera*, mientras que en *B. auleticus* solo se observaron variaciones porcentuales al aplicar nitrógeno. A su vez para la sumatoria de ambas especies la población de macollos no se modificó. Entre las especies en N0 y N50 no hubieron diferencias estadísticas, como se observa en el siguiente cuadro.

Cuadro N° 42. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre la población de macollos (n° macollos/m²)

Especie/Tratamiento	N0	N50	N.S.
B. auleticus	1644,5	2027,3	p= 0,239
S. setigera	1209,4	1646,1	p= 0,033
N.S.	p= 0,289	p= 0,305	
Sumatoria	2853,9	3673,4	p= 0,209

N.S. = nivel de significación

4.7.7 Porcentaje de individuos según tamaño

En el cuadro contiguo se observa que no se encontraron diferencias estadísticas en dicha variable por el efecto de la aplicación de nitrógeno en ninguna de las especies evaluadas.

Cuadro N° 43. Efecto de la aplicación de nitrógeno sobre el porcentaje por tipo de individuo

	<i>N0</i>		<i>N50</i>		N.S.	
	<i>Bromus</i>	Stipa	Bromus	Stipa	Bromus	Stipa
Chico	27,1	29,4	21,3	29,2	p= 0,190	p= 0,972

Mediano	38,2	37,8	36,4	42,0	p= 0,738	p= 0,150
Grande	34,7	32,8	42,3	28,9	p= 0,203	p= 0,634

N.S. = nivel de significación

En el tratamiento testigo no se encontraron diferencias significativas entre las especies, mientras que en N50 se pudo ver que el porcentaje de individuos chicos fue mayor en *S. setigera* (p= 0,009) y en macollos grandes hubo una tendencia a ser mayor en *B. auleticus* (p= 0,083).

4.7.8 Peso promedio del macollo por tipo de individuo

Para todos los pesos de individuos expresados en gramos, no se encontraron diferencias estadísticas entre los tratamientos, como se visualiza en el cuadro siguiente.

Cuadro N° 44. Efecto de la aplicación de nitrógeno sobre el peso promedio del macollo (gramos) según su tamaño

	<i>N0</i>		<i>N50</i>		N.S.	
	<i>Bromus</i>	Stipa	Bromus	Stipa	Bromus	Stipa
Peso promedio	0,028	0,046	0,022	0,041	p= 0,318	p= 0,451
Peso chico	0,008	0,012	0,008	0,014	p= 0,995	p= 0,620
Peso mediano	0,021	0,029	0,020	0,030	p= 0,538	p= 0,852
Peso grande	0,055	0,096	0,040	0,077	p= 0,241	p= 0,438

N.S. = nivel de significación

Dentro de los tratamientos, se encontraron tendencias a obtener mayores valores en *S. setigera* en N0 para peso promedio del macollo ($p= 0,064$) y en N50 para peso promedio del macollo ($p= 0,075$) y peso de los macollos medianos ($p= 0,067$) y grandes ($p= 0,096$).

4.7.9 Peso gravimétrico de la hoja

Al estudiar la respuesta a la fertilización con nitrógeno en el peso gravimétrico (mg/mm) de hojas en crecimiento se puede visualizar la falta de significación para *B. auleticus*, mientras que en *S. setigera* se observó una tendencia a ser un 26,9% superior en N0.

Por otro lado en las hojas maduras no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos de fertilización nitrogenada en peso gravimétrico en las especies y para el promedio de las gramíneas.

Cuadro N° 45. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el peso gravimétrico (mg/mm) en hojas elongando y maduras

	N0		N50		N.S.	
	H. elong.	H. madura	H. elong.	H. madura	H. elong.	H. madura
<i>B. auleticus</i>	0,062	0,117	0,076	0,108	p= 0,194	p= 0,594
<i>S. setigera</i>	0,119	0,113	0,087	0,132	p= 0,054	p= 0,700
N.S.	p= 0,017	p= 0,931	p= 0,305	p= 0,287		
Promedio	0,090	0,115	0,081	0,120	p= 0,038	p= 0,856

H. elong. = hoja elongando

N.S. = nivel de significación

Entre especies independientemente del nivel de nitrógeno y estado de hoja (elongando o madura) no se presentaron diferencias estadísticas salvo para hoja elongando en N0, con un mayor peso de hoja en *S. setigera*.

4.7.10 Ancho de lámina

En el cuadro N° 46 se observa que no se encontraron diferencias significativas en el ancho de lámina (mm) al aplicar nitrógeno independientemente de la especie, al igual que entre especies dentro de un mismo nivel de fertilización nitrogenada.

Cuadro N° 46. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el ancho de lámina (mm)

Especie/Tratamiento	N0	N50	N.S.
B. auleticus	2,46	2,20	p= 0,560
S. setigera	2,39	2,90	p= 0,188
N.S.	p= 0,828	p= 0,188	

N.S. = nivel de significación

4.7.11 Número de hojas verdes por macollo

Como se puede analizar en el siguiente cuadro, al evaluar el número de hojas verdes promedio de los individuos por efecto de la fertilización nitrogenada, no se observaron diferencias significativas en *B. auleticus*, mientras que en *S. setigera* hubo una reducción significativa del 7,53%. Para el promedio de ambas gramíneas el número de hojas vivas fue significativamente menor al fertilizar.

Las diferencias entre las especies independientemente del nivel de nutrición nitrogenada fueron significativas en ambos tratamientos, siendo siempre superiores para *B. auleticus*, en el orden de 14,8 y 22,2% en N0 y N50 respectivamente.

Cuadro N° 47. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el número de hojas verdes por macollo

Especie/Tratamiento	N0	N50	N.S.
B. auleticus	3,20	3,16	p= 0,535
S. setigera	2,79	2,58	p= 0,042
N.S.	p= 0,020	P= 0,008	
Promedio	2,99	2,87	p= 0,015

N.S. = nivel de significación

4.8 EFECTO DE LA FERTILIZACION NITROGENADA EN LA EFICIENCIA DE USO DEL FORRAJE

En el cuadro N° 48 se muestra la significancia de los efectos principales y su interacción para la eficiencia de utilización expresada en porcentaje.

Cuadro N° 48. Significancia de los análisis de varianza para la eficiencia de utilización potencial y actual en función de los factores considerados

Fuente de variación	EUP	EUA
Nivel N	ns	**
Especie	ns	ns
Especie*Nivel N	ns	ns

EUP = eficiencia de utilización potencial

EUA = eficiencia de utilización actual

ns= $p > 0,05$

**= $p \leq 0,01$

Como se observa en el cuadro anterior, no se detectó interacción doble (especie*Nivel N) en ninguna de las variables analizadas.

A continuación en el cuadro N° 49 se muestra que la eficiencia de utilización potencial promedio de las poblaciones de especies evaluadas no presentaron valores de significancia estadística por efecto de la aplicación de nitrógeno. Entre las especies no se registraron diferencias significativas para ninguno de los niveles de fertilización.

La eficiencia de utilización actual representa la proporción de forraje efectivamente cosechada respecto al crecimiento bruto. Para *S. setigera* se encontró un aumento significativo de 412% al aumentar el nivel de fertilización nitrogenada; mientras que en *B. auleticus* no se observaron diferencias. En el promedio de las especies fue 307% superior en N50 respecto a N0. Al comparar las especies dentro de cada tratamiento de fertilización nitrogenada solo se encontraron diferencias significativas en N50, siendo 52,6% superior en *S. setigera*.

Cuadro N° 49. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre la eficiencia de utilización potencial y actual (%)

	<i>N0</i>		<i>N50</i>		<i>N.S.</i>	
	EUP	EUA	EUP	EUA	EUP	EUA
B. auleticus	-109,9	26,5	11,4	82,2	p= 0,114	p= 0,115
<i>S. setigera</i>	-16,9	24,5	-32,4	125,5	p= 0,763	p= 0,013
<i>N.S.</i>	p= 0,242	p= 0,936	p= 0,274	p= 0,040		
Promedio	-63,4	25,5	-10,5	103,8	p= 0,119	p= 0,038

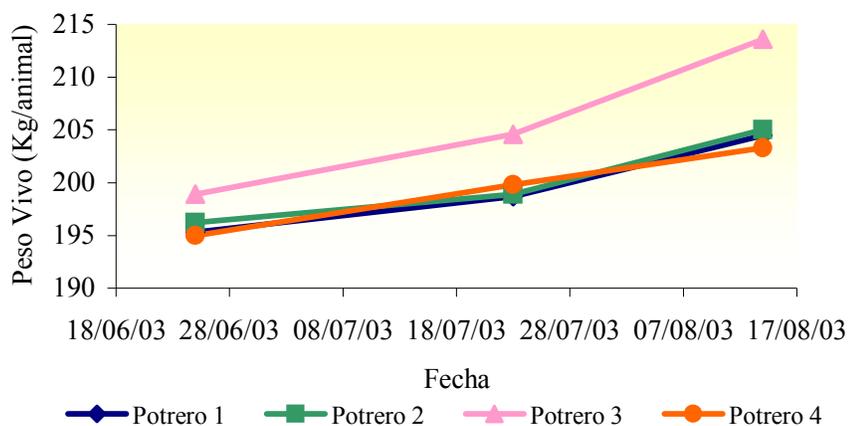
EUP = eficiencia de utilización potencial

EUA = eficiencia de utilización actual

N.S. = nivel de significación

4.9 EFECTO DE LA FERTILIZACION NITROGENADA EN LA PRODUCCION ANIMAL

El peso vivo promedio de los animales al inicio del experimento fue de $196,3 \pm 1,77$ Kg y al final del período en evaluación el peso promedio fue de $206,6 \pm 4,72$ Kg. En la siguiente gráfica se puede ver la evolución de los pesos vivos por potrero desde el 25/06/03 al 14/08/03.



Gráfica N° 5. Evolución del peso vivo en el período del experimento

A continuación se presenta un cuadro con la información correspondiente a los resultados obtenidos para las variables de producción animal analizadas durante el periodo de evaluación, con su respectivo nivel de significancia estadística.

Cuadro N° 50. Efecto de la aplicación de nitrógeno sobre las variables de producción animal

Variable/Tratamiento	NO	N50	N.S.
<i>Carga (n° animales/ha)</i>	1,39	2,64	p= 0,0002
<i>GMD (Kg/animal/día)</i>	0,175	0,235	p= 0,421
<i>Producción individual (Kg/animal)</i>	8,75	11,7	p= 0,421
<i>Productividad 2ª (Kg carne prod./ha)</i>	12,2	31,1	p= 0,138

GMD = ganancia media diaria

N.S. = nivel de significación

Las cargas utilizadas en el promedio de los 50 días del período de pastoreo fueron de 1,39 y 2,64 animales por hectárea para N0 y N50 respectivamente, que se correspondió con un aumento significativo del 89,9%.

Las tasas de aumento diario de peso vivo fueron de $0,175 \pm 0,013$ y $0,235 \pm 0,083$ Kg/animal/día para N0 y N50, respectivamente, observándose que no difirieron significativamente entre tratamientos.

Analizando la producción individual, se observó que los kilos de carne producidos por animal fueron de $8,75 \pm 0,64$ y $11,75 \pm 4,17$ para ambos tratamientos respectivamente, no siendo significativa la diferencia.

La productividad secundaria en ambos tratamientos no alcanzó magnitudes significativas, pero se observó una variación porcentual de 154% a favor del tratamiento fertilizado respecto al testigo. Los valores obtenidos fueron $12,22 \pm 1,13$ y $31,08 \pm 11,04$ Kg producidos/ha para N0 y N50 respectivamente.

5. DISCUSION

5.1 CONSIDERACIONES SOBRE EL CONTROL DEL ESTADO DE LA PASTURA

En este trabajo se logro un similar estado de la pastura entre tratamientos de fertilización nitrogenada con un rango de altura de 6.3 a 9.5 cm y de disponibilidad de forraje al ingreso de los animales a las subparcelas de 1813 ± 162 Kg MS/ha. Para cumplir con este objetivo se utilizó el método de pastoreo rotativo con carga animal variable, como se explicó en la sección 2.

Los flujos de tejido foliar han sido estudiados en pasturas de gramíneas puras mantenidas a una altura o biomasa aérea por medio de carga variable en donde el cambio neto en la biomasa aérea es minimizado y puede ser ignorado (Carrère *et al.*, 1997). En esas condiciones en las cuales se mantiene dentro de ciertos límites la altura de la pastura, biomasa aérea o índice de área foliar, la producción neta de forraje es poco sensible a variaciones en el manejo del pastoreo (Bircham; Hodgson, 1983), explicándose esta estabilidad por adaptaciones morfológicas a nivel de los macollos (densidad poblacional, peso de los individuos y recambio de tejido foliar), (Cordero *et al.*, 1996).

Las jaulas de exclusión es la única técnica que puede ser usada extensivamente para estimar la producción de forraje en pasturas bajo pastoreo. Es importante conocer los factores que afectan la producción de forraje dentro las jaulas para poder hacer una interpretación correcta de los datos (Parsons *et al.*, 1984).

La técnica de jaulas brindó estimaciones poco fiables sobre el crecimiento del forraje durante períodos cortos de tiempo (Hodgson; Ollerenshaw, 1969). Los cambios en el micro-ambiente cuando se acumula forraje, la reducción del nivel de luz que llega a la base de la pastura o los cambios en las condiciones de humedad pueden afectar la tasa de senescencia en períodos cortos de tiempo. La tasa de senescencia puede aumentar o disminuir dependiendo del estado inicial de la pastura, de las condiciones climáticas y del período de exclusión al pastoreo (jaulas), (Grant *et al.*, 1989). Según Parsons *et al.*, (1984), las estimaciones de la tasa de acumulación de forraje en jaulas dependen de la longitud del período de rebrote y del índice de área foliar inicial y cuando estos son mayores la estimación de la tasa de crecimiento es menor.

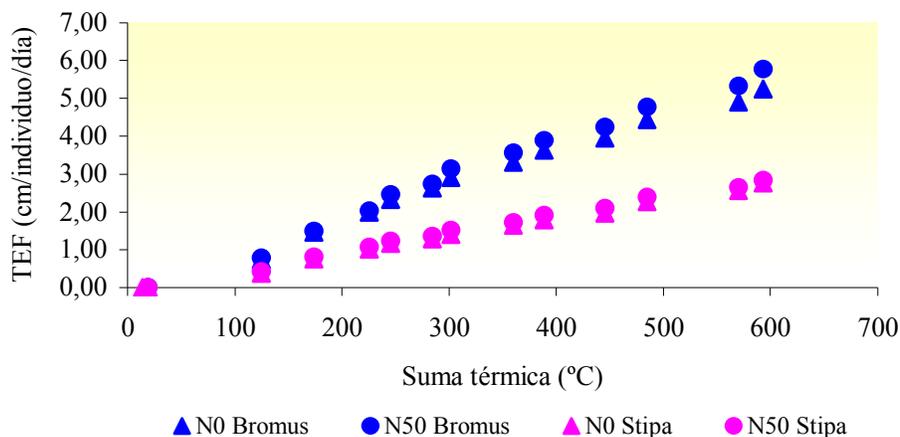
En nuestro trabajo, las tasas de crecimiento del forraje tomadas a partir de los datos de jaulas de exclusión al pastoreo, difirieron entre los tratamientos de fertilización nitrogenada, siendo de 9.8 y 14.0 Kg MS/ha/día para N0 y N50 respectivamente.

5.2 CRECIMIENTO

La fertilización nitrogenada no incrementó la tasa de elongación foliar diaria de las especies evaluadas (cuadro N° 7). Similares resultados en términos de magnitud de la respuesta a los obtenidos en *B. auleticus* indican Rodríguez Palma (1998) en *Lolium multiflorum* y *Stipa neesiana* bajo pastoreo e Iurato y Rodríguez (2002) en *Bromus auleticus* cultivar Zarco en condiciones de corte, para el mismo nivel de nitrógeno.

La falta de respuesta a la aplicación de nitrógeno en esta variable puede en parte estar explicada por la defoliación animal, la cual limita la expresión del potencial de elongación foliar como fue indicado por Mazzanti et al., (1994). Contrariamente en condiciones de pastoreo con altas aplicaciones de nitrógeno Laidlaw y Steen (1989) observaron incrementos del 19%, Mazzanti et al., (1994) del 23% y Boggiano (2000) de 50% en la tasa de elongación foliar, respuesta similar a la encontrada en condiciones de corte donde se indica un efecto directo del nitrógeno sobre la tasa de elongación foliar (Pearse; Wilman, 1984; Gastal; Lemaire, 1988; Belanger et al., 1992; Lattanzi et al., 1997).

El crecimiento de las especies nativas de ciclo otoño-inverno-primaveral es modulado principalmente por la temperatura. Para analizar esto, la respuesta en elongación de hojas a la fertilización nitrogenada se relacionó con la suma térmica, como se puede ver en la gráfica siguiente y en el cuadro N° 8.



Gráfica N° 6. Tasa de elongación foliar (TEF) de las especies en función de la suma térmica para ambos niveles de fertilización nitrogenada

Se observó una clara respuesta de la tasa de elongación diaria de las especies a la acumulación térmica, con similares tasas de aumento para *S. setigera* entre ambos tratamientos, mientras que en *B. auleticus* se observó mayor respuesta en N50.

La tasa de elongación foliar diaria fue diferente entre las dos especies dentro de cada tratamiento, con mayores valores en *B. auleticus*. Gomide (1997) afirma que uno de los factores que afectan esta variable es el genotipo. La capacidad diferencial de crecimiento de las especies durante el invierno podría determinar variaciones en la captura del nitrógeno aplicado y afectar la eficiencia de utilización del nutriente (Parsons *et al.*, 1991; Whitehead, 1995, citado por Rodríguez Palma, 1998).

Cabe señalar, a modo ilustrativo, que los valores de tasa de elongación foliar para el promedio de las gramíneas fue de 0.332 cm/macollo/día en el tratamiento testigo y de 0.353 en el fertilizado, que fueron similares a los encontrados por Rodríguez Palma (1998) en el promedio de las gramíneas otoño-inverno-primaveral (*Lolium multiflorum* y *Stipa neesiana*) en el período invernal.

El crecimiento bruto diario por individuo expresado en mg MS/macollo/día está explicado en parte por la tasa de elongación foliar diaria (Nelson *et al.*, 1977; Nelson;

Sleper, 1981; MacAdam *et al.*, 1989, citados por Rodríguez Palma, 1998) y por el peso gravimétrico de las hojas elongando (cuadro N° 45), el cual presentó una tendencia a disminuir para *S. setigera* tal como encontraron Wilman y Pearse (1984) en festuca alta y raigrás perenne y Mazzanti (1990) en festuca alta, sin embargo en *B. auleticus* no se modificó por efecto del nitrógeno. La falta de respuesta de la fertilización nitrogenada en el crecimiento bruto diario individual (cuadro N° 15) se explica por los efectos antagónicos, en términos de magnitud, sobre la tasa de elongación foliar diaria y el peso gravimétrico de las hojas elongando.

El crecimiento bruto diario por superficie (cuadro N° 20) está determinado por el crecimiento bruto diario individual y por la densidad de macollos, ambos parámetros no fueron modificados significativamente en la sumatoria de las dos especies evaluadas por el agregado de nitrógeno (cuadros N° 15 y 42, respectivamente), por consiguiente, el crecimiento bruto diario por superficie no presentó variación.

Se pudo observar que dentro del tratamiento N50 se detectó una tendencia en el crecimiento bruto diario individual y se observaron diferencias a nivel de superficie entre las especies, presentando *S. setigera* menor crecimiento. El menor aporte de esta especie al crecimiento otoño-invernal sugiere que la extracción de nitrógeno del sistema podría ser diferente entre esta especie y *B. auleticus*. Esto remarca la importancia de considerar la heterogeneidad morfogénica y sus implicancias sobre el uso de recursos y la competencia interespecífica en el desarrollo de estrategias eficientes de aplicación de insumos en comunidades complejas (Rodríguez Palma, 1998).

5.3 CONSUMO

El consumo de forraje puede ser expresado por una combinación de variables analíticas que describen la estructura de los macollos en la pastura y sus patrones de defoliación. La población de macollos puede ser analizada en términos de densidad; y la longitud de hoja por individuo y los patrones de defoliación se pueden describir en términos de frecuencia e intensidad de defoliación (Mazzanti; Lemaire, 1994).

Los niveles superiores encontrados en consumo diario por individuo (mg MS/ha/día) y por superficie (Kg MS/ha/día) para las parcelas fertilizadas, pueden ser debidos a la mayor carga animal que sostenía este tratamiento, éstas fueron un 90% superior en relación a N0. En la gráfica N° 3 se muestra la relación entre el consumo diario por especie y el consumo diario total por hectárea con la carga animal promedio, explicando el incremento de la carga animal un 91.5% del aumento en el consumo. Estos valores

son mayores a los encontrados por Mazzanti y Lemaire (1994) y Rodríguez Palma (1998) en pastoreo continuo. Adicionalmente, el valor de la ordenada al origen y la pendiente de la ecuación de regresión lineal fueron de -6.10 y 0.030 respectivamente (cuadro N° 24).

Según Mott (1960), citado por Boggiano (2000) cuando el nivel de oferta de forraje se mantiene constante y la carga aumenta es porque existe un aumento en la producción de forraje. Incrementos en el nivel de nitrógeno aumentan la producción de forraje permitiendo incrementar la carga para mantener constante la oferta de forraje (Boggiano, 2000). Esto fue confirmado por el efecto lineal del nitrógeno sobre la carga observado por Boggiano (2000).

En el presente trabajo, se pudo observar una capacidad diferencial en el tratamiento de fertilización nitrogenada que permitió sostener una mayor carga animal (cuadro N° 50) para mantener una similar altura del tapiz en toda el área experimental, lo que determinó una tendencia a aumentar la frecuencia de defoliación de los individuos expresada en tasa de defoliación (cuadro N° 32). El aumento del consumo diario por superficie, entre N0 y el tratamiento con nitrógeno, no fue de similar magnitud en *B. auleticus* respecto a *S. setigera* (cuadro N° 23). Es decir, que la respuesta global del consumo al incremento de la carga animal es el resultado de respuestas de diferente grado a nivel de las especies.

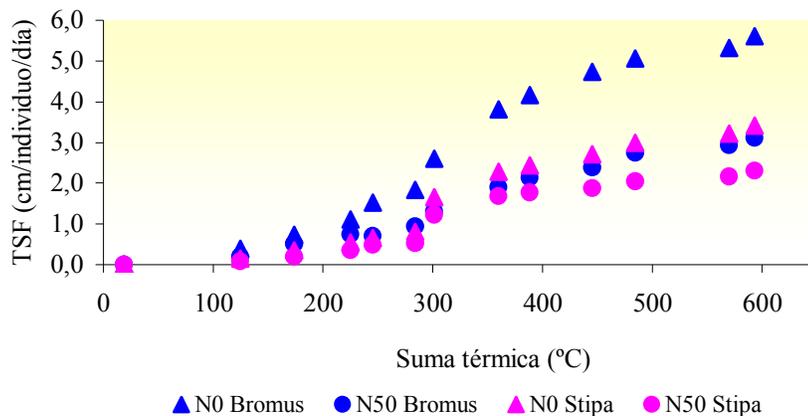
El intervalo entre dos defoliaciones sucesivas fue de 169.8 y 32.2 días para el promedio de las gramíneas evaluadas para N0 y N50 respectivamente (cuadro N° 33), no encontrándose diferencias significativas. Según Mazzanti y Lemaire (1994) la disminución del intervalo de defoliación con aplicaciones de nitrógeno puede ser debida al aumento en la densidad de carga y no a un efecto directo del nutriente en la estructura de la pastura.

5.4 SENESCENCIA

La tasa de senescencia diaria foliar expresada en cm/individuo/día para la sumatoria de ambas especies tendió a reducirse en un 34.3% al incrementar el nivel de nitrógeno (cuadro N° 9), lo que se contrapone a lo indicado por Wilman y Wright (1983) bajo condiciones de corte y por Boggiano (2000) bajo pastoreo rotativo de vacunos.

Laidlaw y Steen (1989) y Mazzanti (1990) encontraron que en situaciones de pastoreo continuo manteniendo similar índice de área foliar entre tratamientos por modificaciones en la carga animal, la mayor parte del crecimiento adicional obtenido por efecto del nitrógeno es consumido por los animales, lo que lleva a reducir las pérdidas por senescencia.

Según Lemaire y Chapman (1996) y Lemaire (1997) la senescencia foliar es afectada por la temperatura de una manera similar que la tasa de aparición foliar, lo cual fue confirmado en nuestro experimento al obtener que la suma térmica explicó entre el 90 y 96% de la tasa de senescencia diaria foliar (cuadro N° 10), respuesta que se aprecia en la siguiente gráfica.



Gráfica N° 7. Tasa de senescencia foliar (TSF) de las especies en función de la suma térmica para ambos niveles de fertilización con nitrógeno

Algunas de las características morfogénicas que tienen influencia en la tasa de senescencia son el intervalo de aparición de hojas y la vida media foliar. En este trabajo no se observaron modificaciones en estas variables al aplicar nitrógeno (cuadro N° 36 y 38, respectivamente). Igual respuesta en el intervalo de aparición de hojas fue encontrada por Lemaire (1988) citado por Iurato y Rodríguez (2002) y por Whitehead (1995) citado por Rodríguez Palma (1998). La falta de respuesta observada en vida media foliar coincidiría con lo observado por Gastal y Lemaire (1988) quienes indicaron que la deficiencia de nitrógeno tiene un pequeño efecto en la vida media foliar.

Parsons et al., (1983) indican que el menor tamaño promedio de los individuos, expresado a través de la longitud foliar total, explica la menor senescencia foliar. Esta respuesta coincide con lo observado en este trabajo, con un menor tamaño foliar total en ambas especies al fertilizar (cuadro N° 42).

Dentro de los tratamientos, tanto el intervalo de aparición de hojas (cuadro N° 36) como la vida media foliar (cuadro N° 38) difirieron entre especies, presentando valores menores en *B. auleticus*. Ello determinaría en esta especie una mayor velocidad de recambio de hojas y por lo tanto un mayor riesgo potencial de pérdida de material por senescencia (Lemaire; Chapman, 1996) como fue observado en ambos tratamientos de fertilización nitrogenada (cuadro N° 9).

Dentro de las gramíneas evaluadas *B. auleticus* mostró mayor tasa de senescencia foliar diaria respecto a *S. setigera*. Estas diferencias podrían tener una explicación al menos parcial, de carácter morfogenético. En este sentido, la senescencia foliar depende de la vida media foliar (Anslow, 1966) y ésta según el esquema propuesto por Lemaire (1997) y Lemaire y Agnusdei (1999), sería proporcional al producto entre la tasa de aparición de hojas y el número máximo de hojas vivas que sostiene un macollo. Ambas variables difirieron entre especie en ambos tratamientos (cuadros N° 37 y 47), presentando valores superiores en *B. auleticus* sugiriendo la existencia de contrastes marcados en la vida media foliar de las mismas (cuadro N° 38), observándose que *S. setigera* sería la gramínea que recambia su crecimiento foliar mas lentamente.

Si las especies presentaran similar longitud foliar, la cantidad de material que potencialmente puede senescer sería mayor en las especies con menor vida media foliar estimada (*B. auleticus*), en función de que presentan una mayor velocidad de recambio de material foliar. Por el contrario, las especies con mayor vida media foliar estimada (*S. setigera*) tendrían un menor riesgo de perder material por senescencia, no obstante, la expresión de esta potencialidad de pérdida de material foliar por senescencia depende de la frecuencia e intensidad de defoliación (Parsons, 1988, citado por Rodríguez Palma, 1998). En este sentido no se observaron diferencias significativas entre las especies en la severidad de defoliación (cuadro N° 30) o en la frecuencia de defoliación (cuadro N° 32) en ninguno de los tratamientos de fertilización nitrogenada. El conocimiento de la vida media foliar de diferentes especies es muy importante para un manejo eficiente de pasturas bajo pastoreo porque fuertemente determina la cantidad de forraje producido que puede ser efectivamente cosechado en un manejo programado de pastoreo (Lemaire; Chapman, 1996).

La longitud foliar total en el tratamiento testigo presentó una tendencia a ser superior en *B. auleticus*, viéndose que en el tratamiento fertilizado esta especie presentó mayores

valores respecto a *S. setigera*, dado que esta especie no fue consumida con mayor frecuencia o severidad, presentaría un mayor riesgo de pérdida de material por senescencia.

La tasa de senescencia diaria individual expresada en mg MS/día para la sumatoria de ambas especies durante el período de evaluación, no difirió al aplicar nitrógeno (cuadro N° 16), a pesar de las mayores cargas (cuadro N° 50) y del mayor consumo en mg MS/día/individuo (cuadro N° 18) en N50. La senescencia individual esta relacionada con la senescencia foliar y con el peso de hoja madura. La senescencia diaria foliar tendió a reducirse para la sumatoria de ambas especies ante el agregado de nitrógeno, sin embargo, el peso de hoja madura no varió (cuadro N° 45). La falta de respuesta de la fertilización nitrogenada en la senescencia diaria individual se explica por los efectos antagónicos, en términos de magnitud, sobre la tasa de senescencia diaria foliar y el peso gravimétrico de las hojas maduras.

La tasa de senescencia diaria por superficie (cuadro N° 21) no se modificó frente al agregado de nitrógeno. Esta respuesta difiere a lo encontrado por Rodríguez Palma (1998) donde ésta aumentó y a lo observado por Mazzanti y Lemaire (1994) quienes encontraron que la senescencia por superficie fue 26% superior en el tratamiento con bajo nivel de fertilización nitrogenada.

Esta variable es producto tanto de las diferencias en la densidad de macollos como en la senescencia diaria individual. En el promedio de las especies y en *B. auleticus* no se vieron diferencias tanto para el número de individuos por superficie como para la senescencia diaria por macollo, sin embargo para *S. setigera* hubo una mayor densidad en N50, pero que no fue suficiente para mostrar variación significativa en la senescencia diaria por superficie.

Varios autores indican que en condiciones no limitantes de agua y otros nutrientes el aumento en los niveles de nitrógeno lleva a respuestas positivas en el número de macollos por planta (Aspinall, 1961; Ryle, 1964; Langer, 1979, citados por Rodríguez Palma, 1998), lo que a nivel de la cubierta vegetal se traduce en un aumento del número de macollos por unidad de superficie (Davies, 1971; Nelson; Zarrouh, 1981; Lemaire; Culleton, 1989, citados por Iurato; Rodríguez, 2002; y Wilman, 1980; Wilman; Wright, 1983; Wilman; Pearse, 1984; Laidlaw; Steen, 1989) por lo que en este trabajo la falta de respuesta en *B. auleticus* en la densidad de macollos podría deberse a la existencia de algún factor limitante para su expresión.

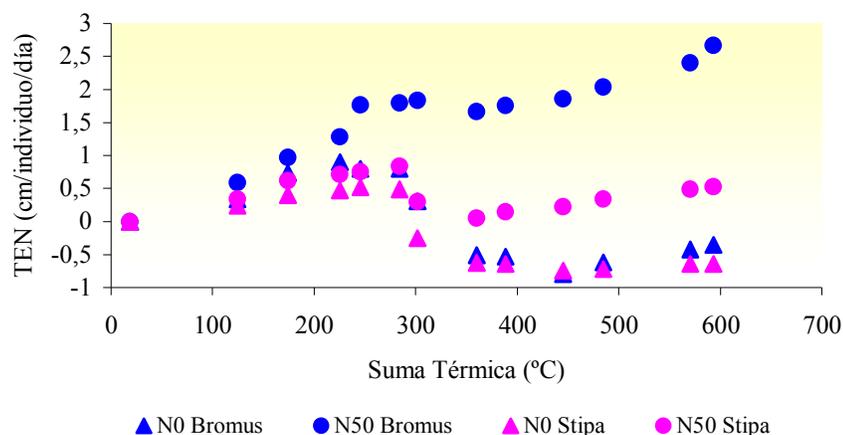
Uno de los factores que podría estar afectando la densidad de macollos es la calidad de luz recibida a nivel de las yemas axilares de las hojas. Casal et al. (1984) observaron una reducción del macollaje en condiciones de baja relación rojo/rojo lejano, lo que se expresa mediante la disminución de los sitios potenciales de macollaje a medida que aumenta el índice de área foliar (Simon; Lemaire, 1987, citado por Lemaire; Chapman, 1996).

5.5 CRECIMIENTO NETO

A nivel de la sumatoria de las gramíneas evaluadas la falta de respuesta al agregado de nitrógeno en la tasa de elongación foliar (cuadro N° 7) y la tendencia a reducirse la tasa de senescencia foliar ante la fertilización nitrogenada (cuadro N° 9), determinó una tendencia a incrementarse la tasa de crecimiento neto foliar en un 334% (cuadro N° 11).

En *B. auleticus* se observó una tendencia a incrementarse el crecimiento neto en N50, lo que se explicaría por la menor senescencia foliar que presentó esta gramínea en el tratamiento fertilizado.

La elongación neta foliar esta afectada por las tasas de elongación y senescencia. Dada la respuesta lineal entre la tasa de elongación de hojas y la temperatura (Lemaire; Chapman, 1996) y el efecto de esta variable meteorológica en la senescencia foliar (Lemaire; Chapman, 1996; Lemaire, 1997), se pudo observar que la suma térmica explicó entre el 40 y 87% de la tasa de elongación neta de las especies, a excepción de *S. setigera* en el tratamiento fertilizado (cuadro N° 12). En la siguiente gráfica se observa la evolución de la tasa de elongación neta en función de la suma térmica.



Gráfica N° 8. Efecto de la fertilización nitrogenada en la relación entre la tasa de elongación neta (TEN) y la suma térmica en las dos especies

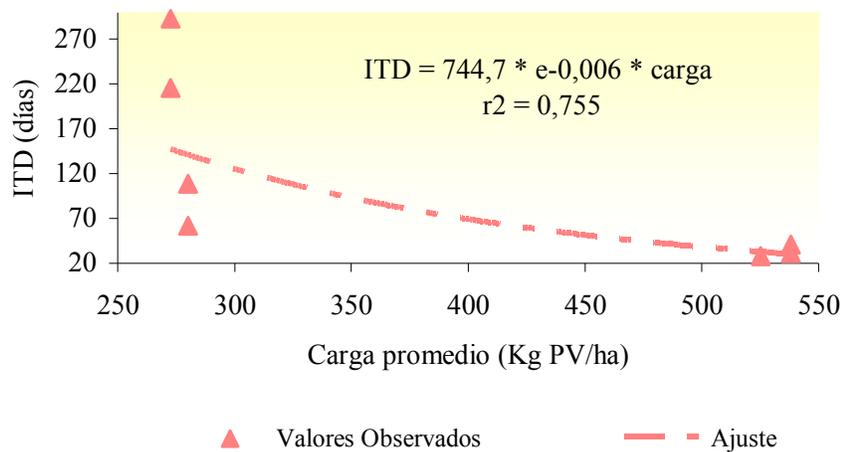
Al tener en cuenta los pesos gravimétricos de las hojas, se pudo ver que la tasa de crecimiento neta individual en la sumatoria de ambas especies presentó una tendencia a aumentar por efecto de la aplicación de nitrógeno (cuadro N° 17), lo que se podría explicar por la falta de respuesta en crecimiento bruto y la disminución porcentual en la senescencia individual.

El crecimiento neto por superficie presentó una respuesta significativa en *B. auleticus* al agregado de nitrógeno, mientras que *S. setigera* no se modificó. La relación entre la senescencia y el crecimiento bruto por superficie fue diferente según la especie, pasando la misma en *B. auleticus* de 198 a 89 y en *S. setigera* de 122 a 130 al fertilizar. Esto es debido a que en el período de medición (invierno) las hojas producidas son más chicas y elongan menos por día, esto provoca que el flujo de crecimiento bruto sea menor. A su vez las hojas que senescen son las producidas con una vida media foliar de anterioridad, otoño, las cuales presentan un mayor tamaño, provocando que el flujo de senescencia supere al de crecimiento bruto (Lemaire; Agnusdei, 1989).

5.6 PATRONES DE DEFOLIACION

5.6.1 Intervalo de defoliación del individuo

En este experimento, en el promedio de ambas gramíneas, el intervalo de defoliación del individuo se redujo exponencialmente al incrementarse la carga animal, lo que se puede observar en la siguiente gráfica.

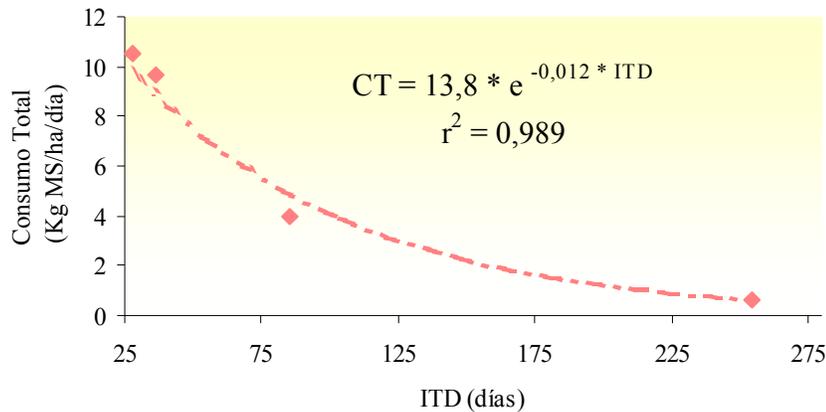


Gráfica N° 9. Relación entre el intervalo de defoliación y la carga animal promedio

Este comportamiento es consistente con lo observado por otros autores en pasturas de raigrás perenne (Wade; Baker, 1979; Wade, 1991) y por Rodríguez Palma (1998) en pasturas naturales. Estos experimentos utilizaron rangos de cargas entre 200 y 5000 Kg PV/ha, las cuales coinciden en los valores inferiores con las del presente trabajo (273 a 538 Kg PV/ha).

Los valores de intervalo de defoliación registrados en este trabajo varían en el rango de 28 a 293 días, siendo los valores máximos superiores a los reportados por Rodríguez Palma (1998) de 33 a 87 días a pesar de trabajar con un rango de carga similar al de este autor (200 a 1100 Kg PV/ha). Por otro lado los valores mínimos coinciden con los de este autor y con los valores máximos indicados por Wade y Baker (1979) y Wade (1991) de 18 a 19 días en cargas de 1200 Kg de PV/ha.

El consumo total por unidad de superficie, disminuyó exponencialmente al incrementarse el intervalo de defoliación, como se puede observar en la gráfica siguiente.



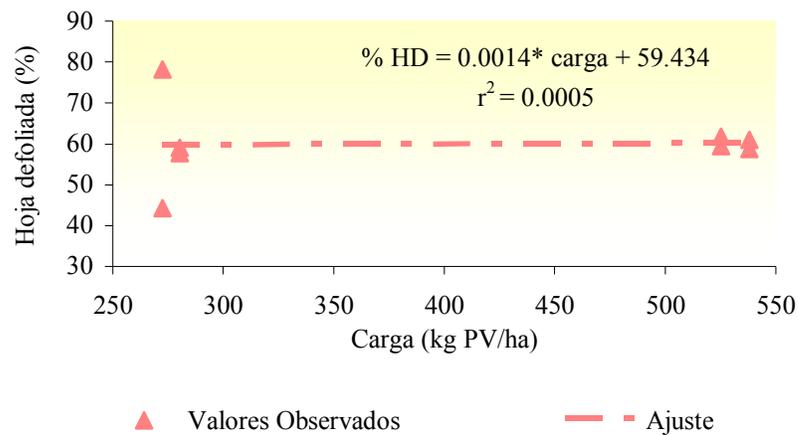
Gráfica N° 10. Relación entre el consumo total (CT) y el intervalo de defoliación (ITD)

Los incrementos en la tasa de consumo en respuesta a la fertilización nitrogenada estuvieron explicados por la mayor carga animal utilizada para mantener alturas similares entre los tratamientos (cuadro N° 24) y por la tendencia a ser mayor la frecuencia de defoliación que ello determinó (cuadro N° 32). El control de estado de la pastura por medio de modificaciones de la carga serviría para manejar la frecuencia de defoliación y de esta forma tener un alto grado de control del consumo, en pasturas naturales (Rodríguez Palma, 1998).

5.6.2 Porcentaje de hoja defoliada por individuo

En este trabajo se encontraron valores promedio de porcentaje de hoja defoliada cercanos al 62.46%, sin diferencias entre categorías de edad de la hoja, siendo estos datos similares a los encontrados por Rodríguez Palma (1998) que fueron del 66%, y a su vez son superiores a los observados por Mazzanti y Lemaire (1994), los cuales mencionan un valor promedio de 50% y Agnusdei (1999) citado por Lemaire y Agnusdei (1999) de 50 a 55%.

En términos generales el porcentaje promedio de hoja defoliada no difirió por efecto de la fertilización nitrogenada (cuadro N° 30), respuesta similar a la observada por Mazzanti y Lemaire (1994) y Rodríguez Palma (1998). A su vez se encontró que el porcentaje de hoja defoliada resulto independiente del nivel de carga animal utilizada, como se puede observar en la gráfica siguiente, estos resultados son similares a los encontrados por Rodríguez Palma (1998).



Gráfica N° 11. Relación entre el porcentaje de hoja defoliada promedio y la carga animal

El incremento en el consumo por superficie estuvo básicamente explicado por el efecto de la fertilización nitrogenada en la tasa promedio de macollos defoliados diariamente (cuadro N° 32), no observándose diferencias en la intensidad de defoliación (cuadro N° 30). De esta manera, la tendencia a incrementarse la frecuencia de defoliación de los individuos producto del aumento de la carga, parece ser la principal vía por la cual la aplicación de nitrógeno aumentó el consumo de forraje, lo que coincide con los resultados obtenidos por Mazzanti y Lemaire (1994) y Rodríguez Palma (1998).

5.6.3 Patrones de defoliación por categoría de edad de las hojas

En términos generales los patrones de defoliación entre distintas categorías de edad de la hoja fueron similares entre las especies evaluadas (cuadros N° 25 y 27) observándose solo en N50 un mayor porcentaje de hoja defoliada en *S. setigera* en la categoría de hoja 3, la que a su vez fue defoliada con menor frecuencia respecto a *B. auleticus* (143 vs. 53 días entre dos defoliaciones sucesivas, respectivamente).

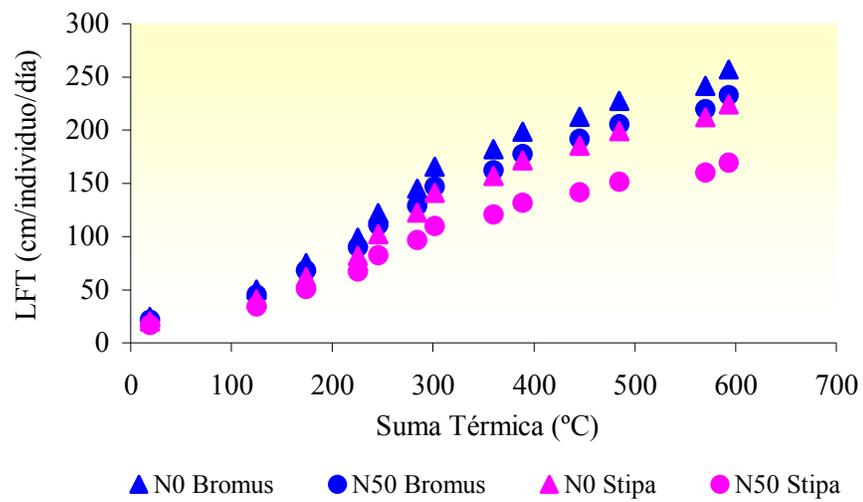
En concordancia con lo indicado por numerosos autores (Hodgson, 1966; Morris, 1969; Barthram; Grant, 1984; Mazzanti; Lemaire, 1994; Rodríguez Palma, 1998; Lemaire; Agnusdei, 1999) se observó un consumo concentrado en las categorías de edad de hoja 1 a 3 (hoja en expansión y dos hojas completamente expandidas) con una reducción notoria en el consumo de hojas viejas (categorías 4 y 5).

Como el número máximo de hojas verdes por macollo para las gramíneas estudiadas osciló entre 2.58 y 3.20, los resultados obtenidos indicarían que todas ellas estuvieron accesibles a la defoliación. Las menores cargas animales utilizadas en el presente trabajo determinarían un mayor largo foliar (Barthram; Grant, 1984) y eventualmente un crecimiento mas erecto de las plantas. Considerando que la probabilidad de defoliación de una hoja depende de la altura relativa a la cual presenta su extremidad en la cubierta vegetal (Parsons, 1988; Hodgson, 1990), las tres hojas mas jóvenes se habrían situado en los estratos superiores de la vegetación, maximizándose su probabilidad de defoliación. En el curso de su envejecimiento la hoja disminuye su largo y adopta una posición cada vez mas horizontal, escapando progresivamente a la defoliación (Mazzanti, 1990).

5.7 LONGITUD FOLIAR TOTAL

Se observó disminución en la longitud foliar total al incrementar el nivel de nutrición nitrogenada en ambas especies (cuadro N° 40).

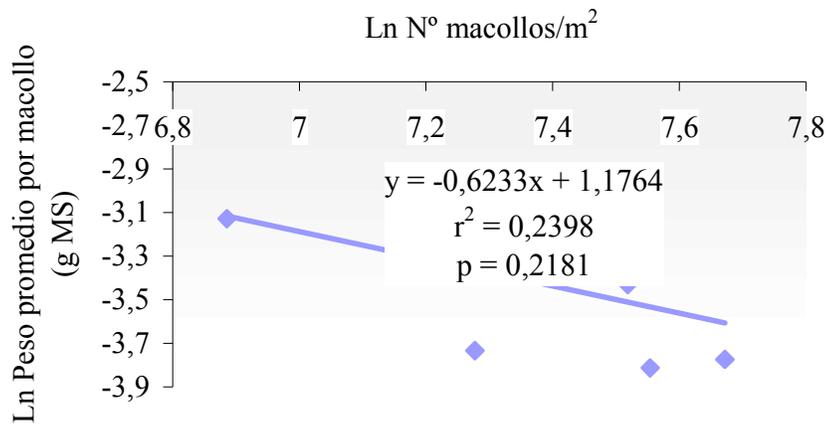
En la gráfica siguiente se presenta la evolución de la longitud foliar total de las especies en estudio expresada en cm/individuo/día en función de la suma térmica para ambos niveles de fertilización nitrogenada.



Gráfica N° 12. Efecto de la fertilización nitrogenada en la relación entre la longitud foliar total (LFT) y la suma térmica

5.8 RELACION ENTRE PESO Y NUMERO DE MACOLLOS

A continuación se presenta la relación existente entre el logaritmo neperiano de peso y número de macollos en los tratamientos de fertilización nitrogenada independientemente de la especie.



Gráfica N° 13. Relación entre el logaritmo neperiano de peso y número de macollo

Como se puede ver en el gráfico anterior, al aumentar el número de macollos por superficie el peso promedio por macollo disminuye. Similares respuestas han sido indicadas por Davies (1988) citado por Chapman y Lemaire (1993), Matthew et al., (1999) y Boggiano (2000) en *Paspalum notatum*.

5.9 NUMERO DE HOJAS VERDES

Lattanzi *et al.*, (1996) observaron un incremento en el número de hojas vivas por macollo hasta dosis de 150 Kg de nitrógeno por hectárea; sin embargo Wilman y Wright (1983) encontraron que la fertilización nitrogenada no afectó el número de hojas verdes por macollo. Por otra parte en el presente trabajo se vió que la aplicación de nitrógeno disminuyó el número de hojas verdes por macollo en el promedio de ambas especies (cuadro N° 47), lo mismo fue encontrado por Rodríguez Palma (1998) para *Lolium multiflorum* en pasturas naturales en el período invernal.

5.10 EFICIENCIA DE UTILIZACION DEL FORRAJE

La eficiencia de utilización potencial del crecimiento de forraje no presentó modificaciones frente al agregado de fertilizante nitrogenado (cuadro N° 49), presentando a su vez un comportamiento errático al comparar ambas especies.

Al analizar la eficiencia de utilización actual se observa que la misma incrementó para el promedio de las especies por efecto de la aplicación de nitrógeno (cuadro N° 49), lo que se puede explicar por el mayor consumo producto de las mayores cargas que mantuvo el tratamiento fertilizado.

El nivel de eficiencia actual para el promedio de las gramíneas en ambos tratamientos fue de 64.6%, siendo estos valores similares a los máximos registrados (60 a 70%) en experimentos sobre pasturas templadas simples fertilizadas con nitrógeno (Birchman; Hodgson, 1983; Grant *et al.*, 1983; Laidlaw; Steen, 1989; Mazzanti; Lemaire, 1994) y en pastizales de la región pastoreados continuamente con vacunos (Pueyo, 1996, citado por Rodríguez Palma, 1998; Rodríguez Palma, 1998).

A nivel de diferencias interespecíficas, se pudo observar que dentro del tratamiento fertilizado, *S. setigera* presentó mayor eficiencia actual de utilización del forraje con respecto a *B. auleticus*. La proporción de tejido foliar producido que escapa a la defoliación y senesce es esperable que sea menor para especies con mayor vida media foliar (*S. setigera*) en relación a las de mayor recambio de tejido foliar (*B. auleticus*), conduciendo a una mayor eficiencia de utilización (Lemaire; Agnusdei, 1999).

5.11 PRODUCCION ANIMAL

Para mantener la altura de la pastura dentro de cierto rango (Gráfica N° 1) fue necesario utilizar diferentes cargas animales en cada tratamiento (cuadro N° 50). Esto se debe al efecto directo de la fertilización nitrogenada sobre las tasas de crecimiento del forraje (cuadro N° 4) y la producción cosechable del mismo. Por lo tanto permite aumentar la capacidad de carga animal durante este período entre N0 y el tratamiento fertilizado, conduciendo a un incremento del flujo de consumo.

A pesar de las mayores cargas utilizadas no se detectaron variaciones por efecto de la fertilización nitrogenada en las ganancias medias diarias.

La respuesta a la fertilización nitrogenada observada en productividad secundaria es producto de la mayor carga utilizada. Esta respuesta es coincidente con la observada en pastizales naturales de la región fertilizados con nitrógeno (Rodríguez Palma, 1998).

6. CONCLUSIONES

En cuanto a la dinámica de producción de tejido foliar se pudo ver que la tasa de elongación no presentó respuesta ante el agregado de nitrógeno en ninguna de las especies. En cambio, la senescencia a nivel foliar disminuyó en *B. auleticus* y para la sumatoria de ambas especies presentó una tendencia a reducirse. Esto explicaría las respuestas positivas a la fertilización nitrogenada en la elongación neta foliar en *B. auleticus* y para la sumatoria de las gramíneas.

Las hipótesis iniciales sugieren que el consumo de la producción adicional de forraje debida a la aplicación de fertilizante nitrogenado como consecuencia de los incrementos en la carga animal ajustada para mantener constante la altura del tapiz, limitaría la respuesta de la pastura a la aplicación de fertilizante nitrogenado en términos de expansión foliar.

El consumo por superficie aumentó para la sumatoria de ambas gramíneas evaluadas en respuesta a la fertilización nitrogenada, presentando *S. setigera* un incremento marcado, mientras que en *B. auleticus* se registraron valores con tendencia a ser superior.

Los resultados del presente trabajo muestran que las aplicaciones de nitrógeno tuvieron diferente respuesta en la densidad de individuos según la especie, en *S. setigera* aumentó mientras que en *B. auleticus* no se modificó frente a la fertilización nitrogenada.

En cuanto a los patrones de defoliación, la frecuencia, medida como tasa promedio de defoliación tendió a incrementar para ambas especies y para el promedio de las gramíneas por efecto del nitrógeno. Por otro lado, la intensidad de defoliación no presentó modificaciones ante aplicaciones de fertilizante nitrogenado.

El aumento en la producción de forraje producto de la fertilización nitrogenada permitió incrementar significativamente la carga animal, lo que modificó la frecuencia de defoliación resultando en un aumento de la eficiencia de utilización del crecimiento del forraje.

A pesar del incremento en la carga animal no se afectaron las ganancias medias diarias, observándose una respuesta en la productividad secundaria.

Suministros de 50 Kg de nitrógeno por hectárea no fueron suficientes para afectar las siguientes características morfogenéticas de la pastura: intervalo de aparición de hojas y vida media foliar en ambas especies. Mientras que las características estructurales que se modificaron para cada una de las gramíneas evaluadas fueron la longitud de hoja promedio y longitud total foliar y en *S setigera* el peso gravimétrico de hojas en elongación y el número de hojas verdes, ésta última también varió para el promedio de ambas especies, todas las cuales se redujeron en respuesta al nitrógeno.

No se observaron diferencias en respuesta a la fertilización nitrogenada en ambas especies para las características porcentaje de macollos según su tamaño, peso promedio del individuo, ancho de lámina y peso gravimétrico de las hojas maduras; mientras que peso gravimétrico de las hojas elongando y número de hojas verdes no fueron modificados en *B. auleticus*.

9. BIBLIOGRAFIA

AGNUSDEI, M. G.; COLABELLI, M. R.; MAZZANTI, A. 1996. Morfogénesis de especies nativas y naturalizadas de la pampa deprimida (Argentina). *Revista Argentina de Producción Animal*. 16 (1): 245-246.

_____.; MAZZANTI, A.; COLABELLI, M. R. 1997. Análisis del crecimiento invernal de gramíneas de los pastizales de la Pampa Deprimida. *Revista Argentina de Producción Animal*. 17 (1): 162-163.

ANSLOW, R. C. 1966. The rate of appearance of leaves on tillers of the Gramineae. *Herbage Abstracts*. 36 (3): 149-155.

AROSTEGUY, J. C. 1982. The dynamics of herbage growth and utilization in sward grazed by cattle and sheep. Tesis Ph. D. Edinburgh, Gran Bretaña, University of Edinburgh. 268p.

AYALA, W; CARAMBULA, M. 1994. Nitrógeno en Campo Natural. In Nitrógeno en Pasturas. Montevideo: INIA. Serie Técnica No. 51. pp. 33-42.

BARTHAM, G. T.; GRANT, S. A. 1984. Defoliation of ryegrass-dominated sward by sheep. *Grass and Forage Science*. 39: 211-219.

_____. 1986. Experimental techniques: the HFRO sward stick. Hill Farming Research Organization Biennial Report. 1984-85. pp. 29-30.

BELANGER, G.; GASTAL, G.; LEMAIRE, G. 1992. Growth analysis of a tall fescue sward fertilized with different rates of nitrogen. *Crop Science*. 32: 1371-1376.

BERRETTA, E.; RISSO, D.; LEVRATTO, J., ZAMIT, W. 1998. Mejoramiento de Campo Natural de Basalto Fertilizado con Nitrógeno y Fósforo. In Seminario de Actualización en Tecnologías para Basalto. Montevideo: INIA. Serie Técnica. N°. 102. pp. 63-73.

BIRCHAM, J. S.; HODGSON, J. 1983. The influence of sward conditions on rate of herbage growth and senescence in mixed swards under continuous stocking management. *Grass and Forage Science*. 38: 323-331.

BOGGIANO, P. R. 2000. Dinâmica da Produção Primária da Pastagem nativa em área de Fertilidade Corrigida sob efeito de adubação nitrogenada e oferta de forragem. Tesis Doctorado. Porto Alegre, Brasil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 179p.

- CARAMBULA, M. 1997. Pasturas Naturales Mejoradas. Montevideo: Hemisferio Sur. 524p.
- CARRÈRE, P.; LOUAULT, F.; SOUSSANA, J. F. 1997. Tissue turnover within grass-clover mixed swards grazed by sheep. Methodology for calculating growth, senescence and intake fluxes. *Journal of Applied Ecology*. 34: 333-348.
- CASAL, J. J.; DERREGIBUS, V. A.; SANCHEZ, R. A. 1984. Influencia de la calidad de luz sobre el macollaje de gramíneas forrajeras. *Revista Argentina de Producción Animal* Vol. 4. (supl. 3): 279-288.
- CORDERO, J.; MAZZANTI, A.; AGNUSDEI, M. 1996. Estabilidad de la producción de forraje en festuca alta bajo pastoreo continuo. *Revista Argentina de Producción Animal*. Vol. 4. (supl. 3): 242-243.
- CRUZ, P.; BOVAL, M. 1999. Efect of nitrogen on some morphogenetical traits of temperate and tropical perennial forage grasses. *In* Simpósio Internacional "Grassland Ecophysiology and Ecology". 1999. pp. 134-150.
- CHAPMAN, D. F.; LEMAIRE, G. 1993. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. *In* International Grassland Congress. (17°, 1993, New Zealand). Proceeding, New Zealand. pp. 95-104.
- DAVIES, A. 1993. Tissue turnover in the sward. *In* Sward Measurement handbook. British Grassland Society, Hurley. pp. 183-216.
- EGGERS, L. 1999. Morfogênese e desfolhação de *Paspalum notatum* Fl. e *Coelorhachis selloana* (Hack.) Camus em níveis de oferta de forragem. Tesis Dr. Zootecnia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil. 146 p.
- GASTAL, F.; LEMAIRE, G. 1988. Study of a tall fescue sward grown under nitrogen deficiency conditions. *In* General Meeting of the European Grassland Federation. (12°, 1988, Dublin). Dublin, Ireland. Proceedings. pp. 323-327.
- GOMIDE, J. A. 1997. Morphogenesis and Growth Analysis of Tropical Grasses. *In* International Symposium on Animal Production under Grazing. Viçosa, MG, Brasil. J. pp. 97-115.
- GRANT, S. A.; BARTHAM, G. T.; TORVELL, L.; KING, J.; SMITH, H. K. 1983. Sward management, lamina turnover and tiller population density in continuously stocked *Lolium perenne*- dominated swards. *Grass and Forage Science*. 38: 333-344.

_____.; ELSTON, D. A.; BARTHAM, G. T. 1989. Problems of estimating tissue turnover in grass swards in the presence of grazing animals. *Grass and Forage Science*. 44: 47-54.

HAYDOCK, K. P.; SHAW, N. H. 1975. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*. 15: 663-670.

HODGSON, J. 1966. The frequency of defoliation of individual tillers in a set- stocked sward. *Journal of British Grassland Society*. 21: 258-263.

_____.; OLLERENSHAW, J. H. 1969. The frequency and severity of defoliation of individual tillers in set- stocked swards. *Journal of the British Grassland Society*. 49: 226-234.

_____.; WADE, M. H. 1978. Grazing management and herbage production. *In* Meeting of the British Grassland Society. Hurley, U.K. pp. 1.1-1.12.

_____. 1985. The significance of sward characteristics in the management of temperature sown pastures. *In* International Grassland Congress (15^o, 198, Kyoto). Kyoto, Japan. Proceedings. pp. 31-34.

IURATO SPINATELLI, A.; RODRIGUEZ EUGUI, M. 2002. Evaluación morfogénica de seis genotipos de gramíneas forrajeras invernales bajo dos niveles de nitrógeno. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía. 107p.

LABREVEUX, M. E.; AGNUSDEI, M.; COLLABELLI, M. R. 1998. Dinámica del recambio de hojas de tres gramíneas forrajeras de la Pampa Húmeda Argentina. *Revista Argentina de Producción Animal*. Vol. 18. (supl. 1): 120-121.

LIDLAW, A. S.; STEEN, R. W. J. 1989. Turnover of grass laminae and white clover leaves in mixed swards continuously grazed with steers at a high –and low–N fertilizer level. *Grass and Forage Science*. 44: 249-258.

LATTANZI, F.; MARINO, M. A.; MAZZANTI, A. 1997. Fertilizer nitrogen and morphogenetic responses in *Avena sativa* and *Lolium multiflorum*. *In* International Grassland Congress. (18^o, 1997, Canadá). Canadá. Proceedings. pp. 7.3-7.4.

LEMAIRE, G.; CHAPMAN, D. 1996. Tissue Flows in Grazed Plant Communities. *In* The Ecology and Management of Grazing Systems. Centre for Agriculture and Biosciences International. U.K. pp. 3-36.

_____. 1997. The physiology of grass growth under grazing: tissue turnover. In International Symposium on Animal Production under Grazing. Viçosa, MG, Brasil. pp. 117-144.

_____.; AGNUSDEI, M. 1999. Leaf tissue turn-over and efficiency of herbage utilisation. In Simpósio Internacional “ Grassland Ecophysiology and Ecology “. pp. 165-186.

MATTHEW, C.; ASSUERO, S. G; BLACK, C. K.; SACKVILLE HAMILTON, N. R. 1999. Tiller Dynamics of Grazed Swards. In Simpósio Internacional “ Grassland Ecophysiology and Ecology “. pp. 109-133.

MAZZANTI, A. 1990. Effet de l'azote sur la croissance de l'herbe d'une prairie de fe'tuque élevée et son utilisation par des moutans en pâturage continu. These Dr.Sc. Orsay, France, Université Paris. 109p.

_____.; LEMAIRE, G. 1994. Effect of nitrogen fertilization on herbage production of tall fescue sward continuously grazed by sheep. 2. Consumption and efficiency of herbage utilization. Grass and Forage Science. 49: 352-359.

_____.; LEMAIRE, G.; GASTAL, F. 1994. The effect of nitrogen fertilization upon the herbage production of tall fescue swards continuously grazed with sheep. 1. Herbage growth dynamics. Grass and Forage Science. 49: 111-120.

_____. 1997. Adaptación de especies forrajeras a la defoliación. In Simposio sobre avaliação de pastagens com animais, Maringá. Jobim, C. C.; Santos, G. T.; Cecato, U., eds. Departamento de Zootecnia, Universidade Estadual de Maringá. pp. 75-84.

MILLOT, J. C.; METHOL, R.; RISSO, D. 1987. Relevamiento de pasturas naturales y mejoramientos extensivos en áreas ganaderas del Uruguay. Montevideo: MGAP. CHPA. FUCREA. 195 p.

MORRIS, R. M. 1969. The pattern of grazing in “continuously” grazed swards. Journal of the British Grassland Society. 24: 65-70.

MOTT, G. O.; LUCAS, H. L. 1952. The design conduct and interpretation of grazing trials on cultivated and improved pastures. In International Grassland Congress, (6a., 1952, Pasadena). Pasadena. pp. 1380-1385.

PARSONS, A. J.; LEAFE, E. L.; COLLET, B.; PENNING, P. D.; LEWIS, J. 1983. The physiology of grass production under grazing. II. Photosynthesis, Crop growth and animal intake of continuously-grazed swards. Journal of Applied Ecology. 20: 117-126.

_____.; JOHNSON, I. R. 1986. The Physiology of Grass Growth under Grazing. In Occasional Symposium British Grassland Society (19a., 1986, Reino Unido). pp. 3-13.

_____.; ORR, R. J.; PENNING, P. D.; LOCKYER, D. R. 1991. Uptake, cycling and fate of nitrogen in grass-clover swards continuously grazed by sheep. *Journal of Agricultural Sciences Cambridge*. 116: 47-61.

PEARSE, J.; WILMAN, D. 1984. Effects of applied nitrogen on grass leaf initiation, development and death in field swards. *Journal of Agricultural Sciences Cambridge*. 103: 405-413.

RISSO, D.; BERRETTA, E.; LEVRATTO, J.; ZAMIT, W. 1998. Efecto de la fertilización N x P y la carga animal sobre la productividad de una pastura natural. In Seminario de Actualización en Tecnologías para Basalto. Tacuarembó, INIA. Serie Técnica No. 102. pp. 175-182.

RODRIGUEZ PALMA, R. 1998. Fertilización nitrogenada de un pastizal de la pampa deprimida: crecimiento y utilización del forraje bajo pastoreo de vacunos. Tesis M. Sc. Balcarce, Argentina, Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Mar del Plata. 135p.

_____.; SALDANHA, S.; IURATO, A.; RODRIGUEZ, P. 2003. Effect of nitrogen fertilization upon the morphogenetic and structural characteristics of two materials of *Bromus auleticus*. In World conference on animal production, (9a., 2003, Porto Alegre). Porto Alegre, Brasil. Proceedings. UFRGS. pp 111.

ROSENGURTT, B. 1979. Tablas de comportamiento de las especies de plantas de campos naturales en el Uruguay. Montevideo. Departamento de Publicaciones y Ediciones de la Universidad de la República. 86p.

ROVIRA, J. 1996. Manejo nutritivo de los rodeos de cría en pastoreo. Montevideo: Hemisferio Sur. 288p.

SALDANHA, S.; RODRIGUEZ PALMA, R.; RODRIGUEZ, P.; IURATO, A. 2002. Evaluación morfo genética de *Bromus auleticus* y *Festuca arundinacea*. In Reunión del grupo técnico en forrajeras del Cono Sur Zona Campos, (19a., 2002, Mercedes, Corrientes, Argentina). Mercedes. Memorias. Gráfica Payubre. pp 145.

SCHNYDE, H.; SCHÄUFELE, R.; DE VISSER, R.; NELSON, C. J. 1999. An Integrated View of C and N uses in leaf growth zones of defoliated grasses. In Sompósio Internacional "Grassland Ecophysiology and Ecology". pp. 75-94.

TALLOWIN, J. R. B; KIRKHAM, F. W; BROOKMAN, S. K. E; PATEFIELD, M. 1990. Response of an old pasture to applied nitrogen under steady- state continuous grazing. *Journal of Agricultural Science*. 115: 179-194.

_____.; BROOKMAN, S. K. E.; SANTOS, G. L. 1995. Leaf growth and utilization in four grass species under steady state continuous grazing. *Journal of Agricultural Science*. 124: 403-417.

Uruguay. Dirección Nacional de Meteorología. 1996. Normales climatológicas período 1961- 1990. Montevideo.

WADE, M. H.; BAKER, R. D. 1979. Defoliation in set-stocking grazing systems. *Grass and Forage Science*. 34: 73-74.

_____. 1991. Factors affecting the availability of vegetative *Lolium perenne* to grazing dairy cows with special reference to sward characteristics, stocking rate and grazing method. Thesis Dr. Sc. France, Université de Rennes I. 57 p.

WILMAN, D. 1980. Early spring and late autumn response to applied nitrogen in four grasses. 1. Yield, number of tillers and chemical composition. *Journal of Agricultural Sciences Cambridge*. 94: 425-442.

_____.; WRIGHT, P. T. 1983. Some effects of applied nitrogen on the growth and chemical composition of temperate grasses. *Herbage Abstracts*. 53 (8): 387-393.

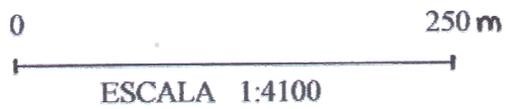
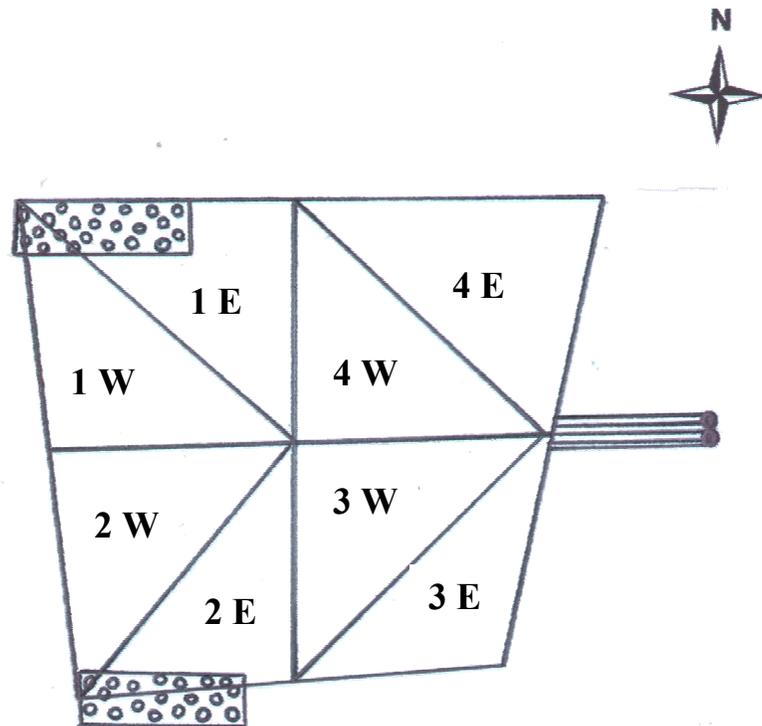
_____.; PEARSE, P. J. 1984. Effects of applied nitrogen on grass yield, nitrogen content, tillers and leaves in field swards. *Journal of Agricultural Science*. 103: 201-211.

WOLEDGE, J.; PEARSE, P. J. 1985. The effect of nitrogenous fertilizer on the photosynthesis of leaves of a ryegrass sward. *Grass and Forage Science*. 40: 305-309.

ZANONIANI, R. A.; BOGGIANO, P.; SALDANHA, S. 2001. Implantación de *Bromus auleticus* Trinius en cobertura. In *Los recursos fitogenéticos del genero Bromus en el cono Sur*. Montevideo: PROCISUR. Dialogo N° 56. pp 35-38.

10. ANEXOS

ANEXO N° 1. Croquis del experimento.



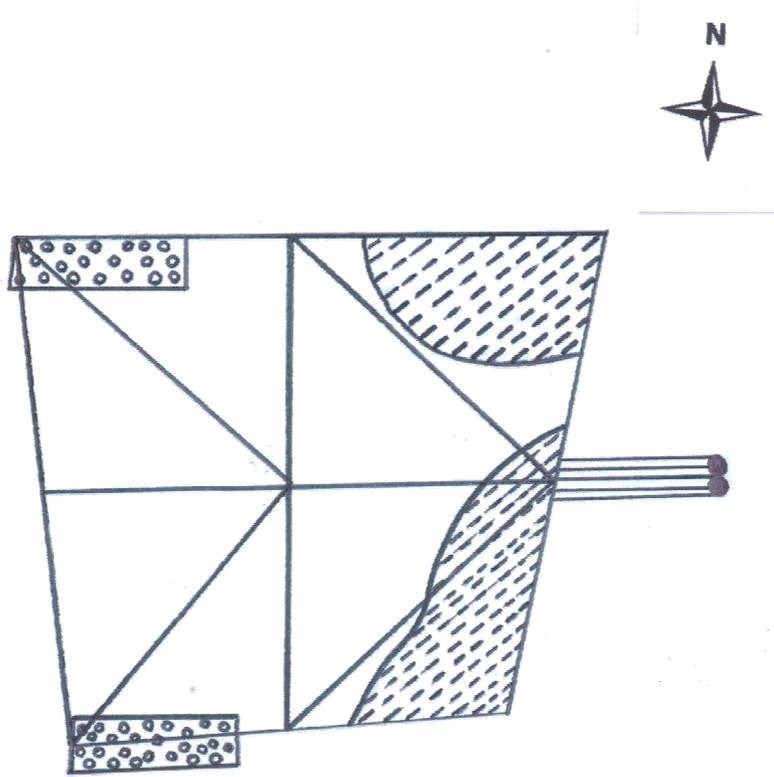
 : bosques artificiales

• : bebederos

1E : Potrero N° 1 Este

1W : Potrero N° 1 Oeste

ANEXO N° 2. Mapa de suelos.



0 250 m



ESCALA 1:4100

 : bosques artificiales

• : bebederos

 : Brunsoles eútricos típicos

 : Brunsoles háplicos y Litosoles

ANEXO N° 3. Relevamiento de suelos.

3.A: Descripción del trabajo de relevamiento realizado en Marzo de 2004 por el Ing. Agr. Alfredo Cambra y la Bach. Daniela Rodríguez Carvallo.

Etapas:

- De laboratorio

Fotointerpretación: Fotos aéreas N°: 55041 y 55042

Mapa de ubicación del ensayo escala 1: 4100

Mapa topográfico escala 1: 2000

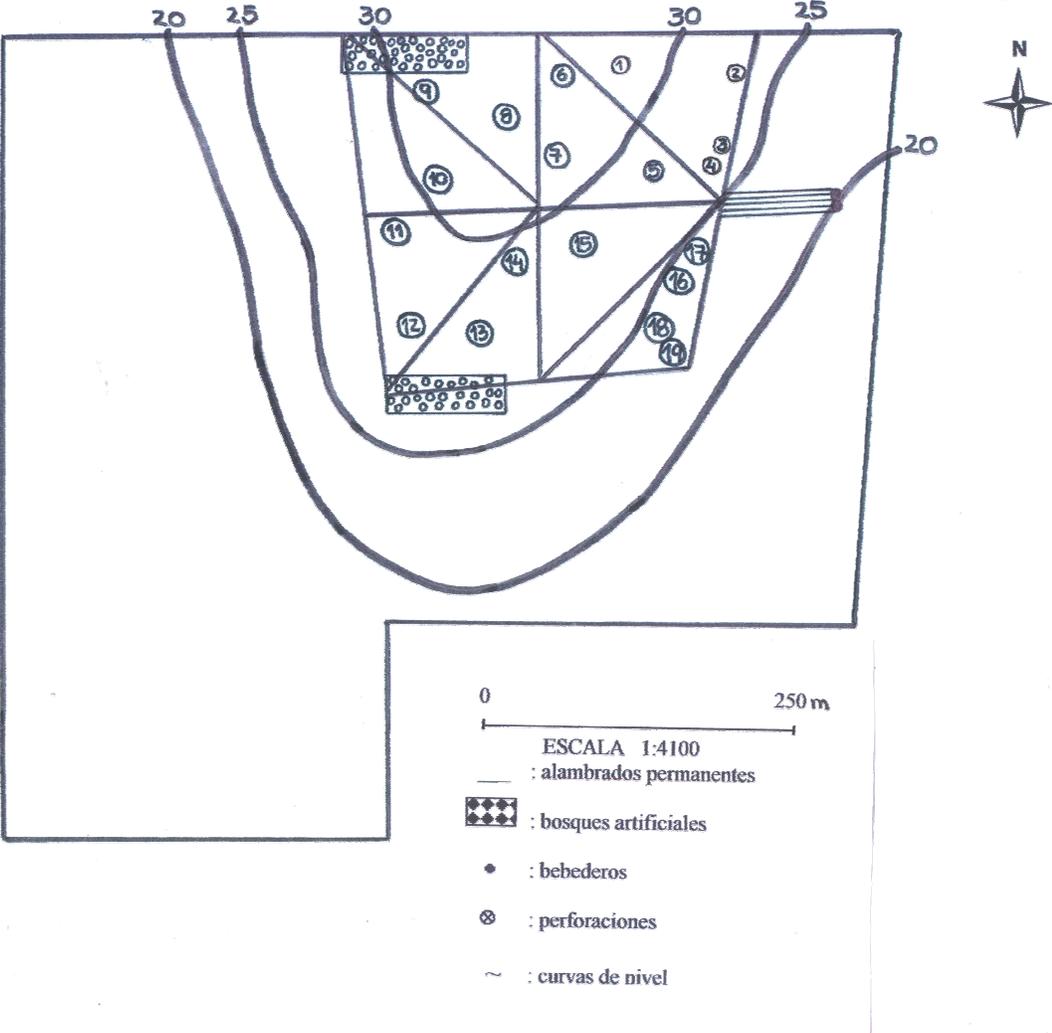
Mapa de suelos escala 1: 2000

- De campo

Herramientas: taladro de mecha, papel y lápiz.

Condiciones: mucha seca

3B: Mapa de perforaciones.



3C: Descripción de las perforaciones.

MUESTRA N° 1:

Brunosol háplico eutríco

Profundidad: 34 cm

0 – 14 cm: horizonte Au₁, arcillo limoso, pardo oscuro, transición gradual

14 – 34 cm: horizonte Au₂, arcillo limoso, pardo más oscuro, transición abrupta

+ 34 cm: tosca de Formación Fray Bentos

MUESTRA N° 2:

Litosol

Profundidad: 15 cm

0 – 15 cm: horizonte Au₁, franco arcillo limoso, pardo, con gravas

+ 15 cm: R (Basalto consolidado)

MUESTRA N° 3:

Brunosol eutríco

Profundidad: ¿? cm

0 – 39 cm: horizonte Au₁, arcillo limoso, pardo muy oscuro, transición gradual

39 – 64 cm: horizonte Bt₂₁, arcillo limoso pesado, pardo muy oscuro, transición gradual

64 – 97 cm: horizonte Bt₂₂, arcillo limoso pesado, pardo más claro

+ 97 cm: ¿?

MUESTRA N° 4:

Brunosol eutríco (Idem 3)

Observación: aproximadamente a 20 metros del afloramiento de Basalto

MUESTRA N° 5:

Brunosol eutríco

Profundidad: ¿? cm

0 – 30 cm: horizonte Au₁, arcillo limoso, pardo muy oscuro, transición gradual

30 – 75 cm: horizonte Bt₂, arcillo limoso pesado, pardo muy oscuro

+ 75 cm: ¿?

MUESTRA N° 6:

Brunosol eutríco

Profundidad: 74 cm

0 – 22 cm: horizonte Au₁, arcillo limoso, pardo oscuro, transición gradual
22 – 50 cm: horizonte Bt₂, arcillo limoso pesado, pardo oscuro, transición gradual
50 – 65 cm: horizonte BC, franco arcillo limoso, pardo, transición gradual
65 – 74 cm: horizonte C, franco arcillo limoso, con abundantes concreciones de carbonato de calcio
+ 74 cm: horizonte C. Material generador lodolita cuaternaria

MUESTRA N° 7:

Brunosol eutrico

Profundidad: 80 cm

0 – 27 cm: horizonte Au₁, franco arcillo limoso, pardo oscuro, transición gradual
27 – 60 cm: horizonte Bt₂, arcillo limoso, pardo oscuro, transición gradual
60 – 80 cm: horizonte BC, arcillo limoso, pardo, transición gradual
+ 80 cm: horizonte C, lodolita cuaternaria, muchas concreciones de carbonato de calcio

MUESTRA N° 8:

Brunosol eutrico

Profundidad: ¿? cm

0 – 24 cm: horizonte Au₁, arcillo limoso, pardo oscuro, transición gradual
24 – 62 cm: horizonte Bt₂, arcillo limoso pesado, pardo oscuro, transición gradual
62 – 74 cm: horizonte BC, arcillo limoso, pardo, con pocas concreciones de carbonato de calcio, transición gradual
+ 74 cm: ¿?

MUESTRA N° 9:

Brunosol eutrico

Profundidad: ¿? cm

0 – 24 cm: horizonte Au₁, arcillo limoso, pardo oscuro, transición gradual
24 – 56 cm: horizonte Bt₂, arcillo limoso pesado, pardo oscuro, transición gradual
56 – 71 cm: horizonte BC, arcillo limoso, pardo, con pocas concreciones de carbonato de calcio
+ 71 cm: ¿?

MUESTRA N° 10:

Brunosol eutrico

Profundidad: ¿? cm

0 – 23 cm: horizonte Au₁, arcillo limoso, pardo oscuro, transición gradual
23 – 50 cm: horizonte Bt₂, arcillo limoso pesado, pardo oscuro, transición gradual
50 – 75 cm: horizonte BC, arcillo limoso, pardo, con pocas concreciones de carbonato de calcio
+ 75 cm: ¿?

MUESTRA N° 11:

Brunosol eutrico típico

Profundidad: 60 cm

0 – 26 cm: horizonte Au₁, arcillo limoso, pardo oscuro, transición gradual

26 – 48 cm: horizonte Bt₂, arcillo limoso pesado, pardo oscuro, transición gradual

48 – 60 cm: horizonte BC, arcillo limoso, pardo, con pocas concreciones de carbonato de calcio, transición gradual

+ 60 cm: carbonato de calcio consolidado

MUESTRA N° 12:

Brunosol eutricto

Profundidad: 57 cm

0 – 20 cm: horizonte Au₁, arcillo limoso, pardo oscuro, transición gradual

20 – 45 cm: horizonte Bt₂, arcillo limoso pesado, pardo oscuro, transición gradual

45 – 57 cm: horizonte BC, arcillo limoso, pardo, con concreciones chicas de carbonato de calcio, transición gradual

+ de 57 cm: carbonato de calcio consolidado

MUESTRA N° 13:

Brunosol eutricto

Profundidad: 75 cm

0 – 25 cm: horizonte Au₁, arcillo limoso, pardo oscuro, transición gradual

25 – 60 cm: horizonte Bt₂, arcillo limoso pesado, pardo oscuro, transición gradual

60 – 75 cm: horizonte BC, arcillo limoso, pardo oscuro, con pocas concreciones de carbonato de calcio y poca gravilla, transición gradual

+ 75 cm: R

MUESTRA N° 14:

Brunosol eutricto

Profundidad: ¿? cm

0 – 25 cm: horizonte Au₁, arcillo limoso, pardo oscuro, transición gradual

25 – 60 cm: horizonte Bt₂, arcillo limoso pesado, pardo oscuro, transición gradual

60 – 88 cm: horizonte BC, arcillo limoso, pardo, con concreciones chicas de carbonato de calcio

+ 88 cm: ¿?

MUESTRA N° 15:

Brunosol eutricto

Profundidad: 68 cm

0 – 21 cm: horizonte Au₁, arcillo limoso, pardo oscuro, transición gradual

21 – 51 cm: horizonte Bt₂, arcillo limoso pesado, pardo oscuro, transición gradual

51 – 68 cm: horizonte BC, arcillo limoso, pardo, con abundantes concreciones de carbonato de calcio, transición gradual

+ 68 cm: horizonte C, tosca de Formación Fray Bentos, pardo claro, con abundantes concreciones de carbonato de calcio

Observación: muestra ubicada donde quiebra la pendiente

MUESTRA N° 16:

Litosol

Profundidad: 29 cm

0 – 29 cm: horizonte Au₁, arcillo limoso, pardo oscuro, transición abrupta

+ 29 cm: R

Observación: afloramiento de Basalto cerca

MUESTRA N° 17:

Brunosol háplico

Profundidad: 45 cm

0 – 39 cm: horizonte Au₁, arcillo limoso, pardo oscuro, transición gradual

39 – 45 cm: horizonte Au₂, arcillo limoso más pesado que el anterior, pardo oscuro, transición abrupta

+ 45 cm: R

MUESTRA N° 18:

Litosol

Profundidad: 25 cm

0 – 25 cm: horizonte Au₁, arcillo limoso, pardo oscuro, transición abrupta

+ 25 cm: R tosca de Formación Fray Bentos, pardo claro, con abundantes concreciones de carbonato de calcio

MUESTRA N° 19:

Brunosol háplico

Profundidad: 53 cm

0 – 30 cm: horizonte AU₁, arcillo limoso, pardo oscuro, transición gradual

30 – 40 cm: horizonte AC, franco arcillo limoso, pardo, transición clara

+ 40 cm: R tosca de Formación Fray Bentos, pardo claro, con abundantes concreciones de carbonato de calcio

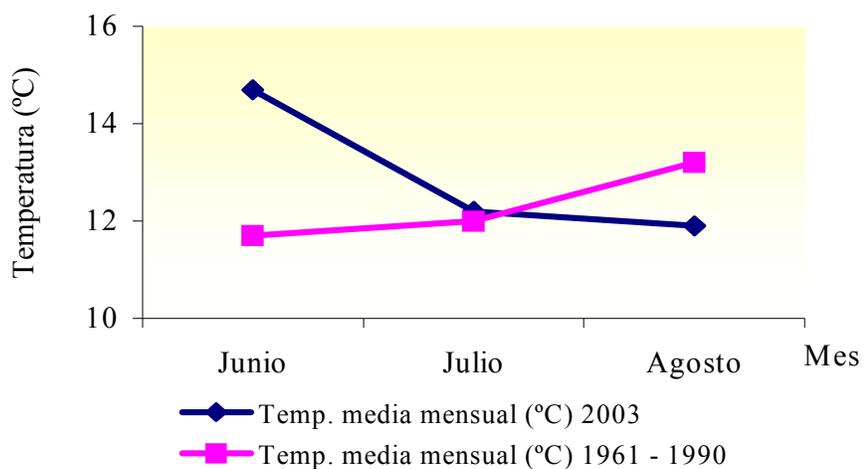
ANEXO N° 4. Temperatura y precipitación.

4.A: Promedio de las temperaturas medias mensuales y precipitaciones acumuladas mensuales durante los meses de junio, julio y agosto, y de la serie histórica 1961 – 1990.

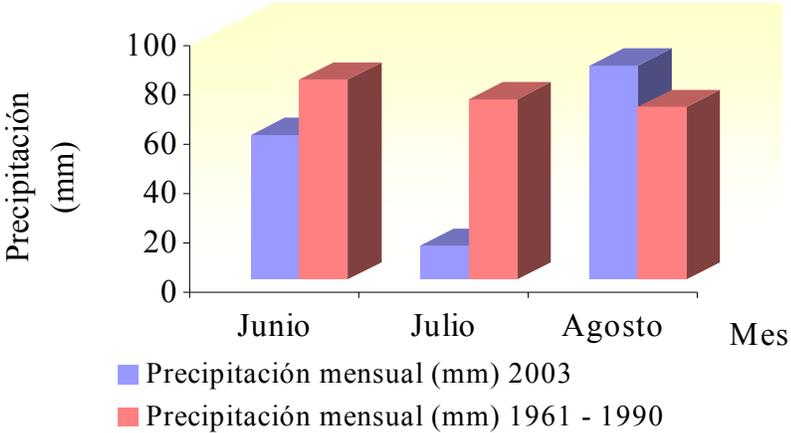
	Temperatura media mensual (°C)		Precipitación mensual (mm)	
	2003	1961 – 1990 (*)	2003	1961 – 1990 (*)
Junio	14.7	11.7	58.5	81
Julio	12.2	12	13.7	73
Agosto	11.9	13.2	86.6	70

(*) 1996. D.N.M. Normales climatológicas. Período 1961 – 1990

4.B: Promedio de las temperaturas medias mensuales en el experimento y en el periodo 1961 – 1990.



4.C: Precipitaciones mensuales durante el experimento y en el periodo 1961 – 1990.

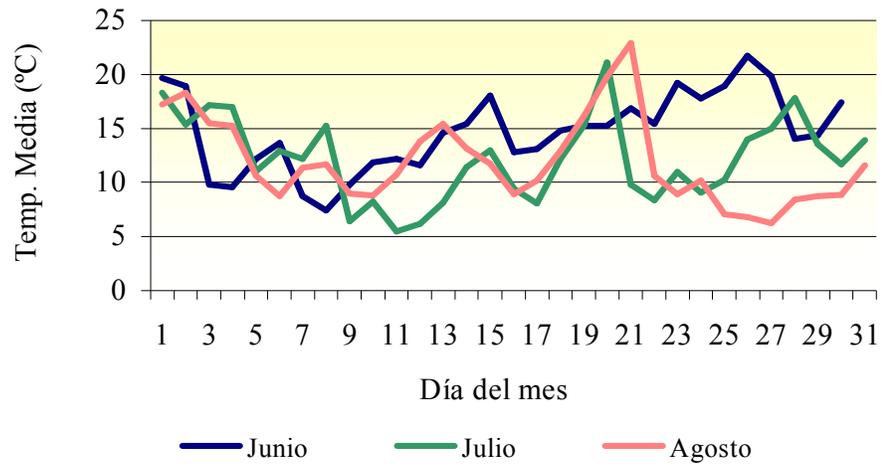


ANEXO N° 5. Temperaturas medias diarias durante el periodo experimental en la EEFAS.

Día / Mes	JUNIO	JULIO	AGOSTO
1	19.7	18.3	17.2
2	19.0	15.4	18.3
3	9.8	17.2	15.5
4	9.6	17.0	15.3
5	12.2	11.0	10.6
6	13.7	12.9	8.8
7	8.8	12.2	11.4
8	7.4	15.3	11.7
9	9.8	6.4	9.0
10	11.9	8.3	8.8
11	12.2	5.5	10.8
12	11.6	6.2	13.8
13	14.6	8.2	15.4
14	15.4	11.4	13.2
15	18.1	13.0	11.8
16	12.8	9.4	8.9
17	13.1	8.1	10.2
18	14.8	12.2	12.9
19	15.3	15.3	16.2
20	15.3	21.1	19.8
21	16.9	9.8	22.9
22	15.4	8.4	10.6
23	19.2	11.0	8.9
24	17.8	9.1	10.2
25	19.0	10.3	7.1
26	21.7	14.0	6.8
27	19.8	15.0	6.2
28	14.1	17.8	8.4
29	14.4	13.6	8.8
30	17.4	11.7	8.9
31		13.9	11.6
PROMEDIO	14.7	12.2	11.9

Fuente: Boletín Agrometeorológico, EEFAS 2003

Temperaturas medias diarias durante el período experimental en la EEFAS.



ANEXO N° 6. Precipitaciones diarias (mm) durante el período experimental en la EEFAS.

Día / Mes	JUNIO	JULIO	AGOSTO
1	35.6	0	0
2	7.4	0	7.2
3	0	0	14.8
4	0	1.2	0
5	0	5.4	60.7
6	0	0	0
7	0	0	0
8	0	0.2	0
9	0	0	0
10	0	0	0
11	0	0	0
12	0	0	0
13	0	0	0
14	0	2.2	0
15	3.4	0	0
16	0	0	0
17	0	0	0
18	0	0	0
19	0.5	0	0
20	11.6	0	0
21	0	0	0
22	0	0	0
23	0	0	3.9
24	0	0	0
25	0	0	0
26	0	0	0
27	0	1.9	0
28	0	2.8	0
29	0	0	0
30	0	0	0
31		0	0
TOTAL	58.5	13.7	86.6
PROMEDIO	1.95	0.44	2.79

Fuente: Boletín Agrometeorológico, EEFAS 2003

ANEXO N° 7. Tratamiento Sanitario.

FECHA	TRATAMIENTO
30/05/03	Closantel 12,5% Ivermectina 1%
25/06/03	Levamisol 3,2%
23/07/03	Levamisol 3,2%
14/08/03	Vacuna Mancha- Gangrena Ivermectina 1% Closantel 12,5% Baño garrapata
23/09/03	Mitroxinil 34%
17/10/03	Ivermectina 1% Mitroxinil 34%
11/11/03	Ivermectina 1%
09/12/03	Closantel 10%
13/01/04	Ivermectina 1%
12/02/04	Ivermectina 1% Closantel 12% Vacuna Mancha- Gangrena
28/02/04	Vacunación Aftosa Vacunación Carbunco Baño garrapata y mosca de los cuernos
10/03/04	Ivermectina 1% Closantel 12%
26/03/04	Ivermectina 1% Closantel 12%

ANEXO N° 8. Especies estudiadas.



Izquierda: *Stipa setigera*

Derecha: *Bromus auleticus*

ANEXO N° 9. Evolución del peso vivo por hectárea y número de animales por hectárea desde el 25/06/03 al 14/08/03.

	25/06/03		23/07/03		14/08/03	
	Kg PV/ha	Animales/ha	Kg PV/ha	Animales/ha	Kg PV/ha	Animales/ha
Potrero 1	276,37	1,42	281,18	1,42	289,39	1,42
Potrero 2	519,05	2,65	526,19	2,65	542,33	2,65
Potrero 3	526,19	2,65	541,27	2,65	565,08	2,65
Potrero 4	268,35	1,38	274,95	1,38	279,77	1,38