

UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE

Facultad de Ciencias Agrarias

Escuela de Agronomía

**Evaluación de la tasa potencial de crecimiento invernal de una
pradera naturalizada en el agroecosistema de Valdivia**

Tesis presentada como parte de los
requisitos para optar al grado de
Licenciado en Agronomía.

Félix Eugenio Casas Cárdenas

Valdivia – Chile

2008

PROFESOR PATROCINANTE:

Dante Pinochet T.
Ing. Agr., MSc., Ph.D.
Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos

PROFESORES INFORMANTES:

Oscar Balocchi L.
Ing. Agr., M. Sc., Ph. D.
Instituto de Producción Animal

Ignacio López C.
Ing. Agr., Ph. D.
Instituto de Producción Animal

AGRADECIMIENTOS

A mi profesor patrocinante Sr. Dante Pinochet, que me ha entregado herramientas y actitudes para enfrentar nuevos desafíos. Además de enseñarme a comprender y analizar la ciencia de otra forma. Le estoy muy agradecido por lo que he logrado.

Quiero agradecer a mis padres y hermanos que si no fuese por ellos yo nunca hubiese alcanzado estas metas. De igual forma se agradece a la familia Arce Saona por su cariño y apoyo incondicional.

Finalmente agradezco en forma especial a Ruth, Olga y Jerman por colaborar directamente en el desarrollo de este trabajo.

INDICE DE MATERIAS

Capítulo		Página
	RESUMEN	1
	SUMMARY	2
1	INTRODUCCION	3
2	REVISION BIBLIOGRAFICA	
2.1	Praderas permanentes naturalizadas	5
2.1.1	Especies comunes de una pradera permanente naturalizada	5
2.1.1.1	Especies gramíneas	5
2.1.1.2	Especies leguminosas	6
2.1.1.3	Especies de hoja ancha	6
2.1.2	Potencial productivo de praderas permanentes naturalizadas en la zona sur de Chile	6
2.1.3	Distribución de la producción anual de las praderas permanentes naturalizadas	7
2.2	Tasa de crecimiento de las praderas permanentes naturalizadas	7
2.2.1	Metodología de medición de la tasa de crecimiento	7
2.2.1.1	Metodología de medición directa	7
2.2.1.2	Metodología de medición indirecta	9
2.2.2	Variación estacional de la tasa de crecimiento	10
2.2.2.1	Estimaciones de la tasa de crecimiento invernal	11
2.2.3	Factores que afectan la tasa de crecimiento	11
2.2.3.1	Efectos de la temperatura en la tasa de crecimiento	12
2.2.3.2	Efectos de la humedad del suelo en la tasa de crecimiento	12

Capítulo		Página
2.2.3.3	Efectos de la radiación en la tasa de crecimiento	13
2.3	Nitrógeno como macronutriente primario	13
2.3.1	Ciclo del nitrógeno	14
2.3.2	Pérdidas de N en invierno	16
2.3.2.1	Desnitrificación	16
2.3.2.2	Lixiviación	17
2.4	Nitrógeno en praderas permanentes	17
2.4.1	Relación N y tasa de crecimiento	18
2.4.2	Fertilización de N en praderas permanentes	20
2.4.3	Estrategias de fertilización	23
2.4.3.1	Fertilización suplementaria de N invernal	23
2.4.4	Eficiencia de fertilización N invernal	24
2.4.5	Eficiencia de absorción de N invernal	25
3	MATERIAL Y METODO	28
3.1	Material	28
3.1.2	Ubicación del Ensayo	28
3.1.3	Características climáticas de la zona	28
3.1.3.1	Temperatura	28
3.1.3.2	Precipitaciones	28
3.1.3.3	Humedad relativa	28
3.1.3.4	Período libre de heladas	29
3.1.4	Características climáticas del período del ensayo	29
3.1.5	Características del sitio	31
3.1.5.1	Características químicas	31
3.1.6	Material Vegetal	31
3.1.7	Fertilizantes	32
3.2	Método	32
3.2.1	Duración del ensayo	32

Capítulo		Página
3.2.2	Fertilización basal del ensayo	32
3.2.3	Tratamientos de fertilización N	33
3.2.4	Diseño experimental	33
3.2.5	Tamaño de las parcelas experimentales	34
3.3	Evaluación del ensayo	35
3.3.1	Corte de homogenización y cortes de cada tratamiento a través del tiempo	35
3.3.2	Muestras del material vegetal	35
3.3.3	Concentración de N en la biomasa aérea	36
3.3.4	Muestras quincenales de N mineral del suelo	36
3.3.5	Composición botánica	37
3.4	Variables derivadas	37
3.4.1	Tasa de crecimiento	38
3.4.2	Derivación de la tasa de crecimiento diaria	38
3.4.3	Extracción de N en períodos de tres semanas	39
3.4.4	Disponibilidad de N mineral del suelo durante períodos de tres semanas	39
3.4.5	Disponibilidad de N mineral del suelo más adición de fertilizante durante períodos de tres semanas	39
3.4.6	Eficiencia de absorción del N presente hasta 90 cm de profundidad del suelo	39
3.4.7	Variables climáticas expresadas en períodos de tres semanas	40
3.5	Análisis estadístico	41
4	PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS	
4.1	Rendimiento de materia seca durante el período invernal de evaluación	42
4.2	Estimación de la tasa de crecimiento de la pradera durante el período evaluado	46

Capítulo		Página
4.3	Evaluación de los cambios en la composición botánica	50
4.3.1	Contribución relativa de las especies	50
4.3.2	Producción de materia seca por especie	52
4.4	Concentración de N en los tejidos cosechados	54
4.5	Extracción de N de la pradera	59
4.6	Suministro de N quincenal del suelo	62
4.7	Disponibilidad de N mineral del suelo	64
4.7.1	Disponibilidad de N mineral nativo	64
4.7.2	Disponibilidad de N mineral total del suelo en los tratamientos fertilizados	66
4.8	Eficiencia de absorción de N durante el período invernal evaluado	69
4.9	Efectos climáticos sobre la tasa de crecimiento de la pradera y el N nativo del durante el período evaluado	71
4.9.1	Efectos climáticos sobre la tasa de crecimiento en períodos de tres semanas	71
4.9.2	Efectos climáticos sobre la disponibilidad de N nativo del suelo en períodos de tres semanas	73
4.10	Estimación de la tasa de crecimiento diaria de acuerdo a la metodología de Anslow	74
4.11	Fitomasa acumulada	77
4.12	Efectos climáticos en la tasa de crecimiento diario según metodología Anslow	79
4.12.1	Balance temperatura media y radiación global	80
4.12.2	Doscientas unidades de calor acumulada (T-suma)	81
5	CONCLUSIONES	84
6	BIBLIOGRAFIA	86

Capítulo		Página
7	ANEXOS	92

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Rango crítico de la concentración de N en gramíneas y leguminosas	20
2	Análisis químico de suelo del sitio utilizado en el ensayo.	31
3	Composición botánica al inicio del ensayo	32
4	Productividad de materia seca en períodos de crecimiento de tres semanas, en distintos niveles de fertilización N	44
5	Estimación de la tasa de crecimiento en períodos de crecimiento de tres semanas, en distintos niveles de fertilización N	48
6	Efectos de los distintos niveles de fertilización N sobre la contribución relativa de las especies a inicios y al final de la evaluación invernal	50
7	Efectos de los distintos niveles de fertilización N sobre la contribución relativa de las especies al término de la evaluación invernal	52
8	Efectos de los distintos niveles de fertilización N sobre la producción de materia seca de las especies al término de la evaluación invernal	53
9	Concentración de N la biomasa aérea cosechada en períodos de tres semanas, en distintos niveles de fertilización N	55
10	Extracción de N en períodos de tres semanas, en los distintos niveles de fertilización N	60
11	Disponibilidad de N mineral nativo del suelo (extracción de N + suministro de N mineral del suelo) durante períodos de tres semanas a una profundidad de 90 cm	65

Cuadro		Página
12	Disponibilidad de N total (suministro de N nativo + extracción + fertilizante N) en cada tratamiento, durante períodos de tres semanas a una profundidad de 0 a 90 cm	67
13	Eficiencia de absorción de N en cada tratamiento durante la época invernal evaluada a una profundidad de 0 a 90 cm	69
14	Promedio general de la tasa de crecimiento diaria según metodología de Anslow con distintos niveles de fertilización N en el período invernal evaluado	74
15	Estimación de la fitomasa acumulada para el período invernal evaluado, en sus respectivas dosis de fertilización N	78

INDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Variación de la tasa de crecimiento de las praderas permanentes en el distrito del agroecosistema de Valdivia	11
2	Dinámica de mineralización de N orgánico en los suelos	14
3	Ciclo del nitrógeno	16
4	Relación entre la concentración de nutrientes esenciales de plantas y el crecimiento o rendimiento de las plantas	19
5	Curva de respuesta típica de praderas de gramíneas a la aplicación de fertilizantes N	21
6	Precipitación mensual (mm) registrada durante el período de estudio (mayo - octubre 2006)	29
7	Radiación global promedio mensual ($\text{cal cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$) registrada durante el período invernal evaluado (mayo - octubre 2006)	30
8	Temperatura máxima, mínima y media promedio mensual ($^{\circ}\text{C}$) registrada durante el período de estudio (mayo-octubre 2006)	30
9	Distribución y diseño del ensayo	34
10	Superficie de las parcelas del ensayo y su identificación	35
11	Esquema de cálculo de la tasa de crecimiento de acuerdo a la metodología de Anslow (ANSLOW y GREEN, 1967)	38
12	Efectos de los distintos niveles de fertilización N sobre la tasa de crecimiento en la fecha de término de los períodos de crecimiento de tres semanas, durante la época invernal evaluada	49
13	Efectos de los distintos niveles de fertilización N sobre la tasa de crecimiento ($\text{kg MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$) y la concentración de N en la biomasa aérea (%), en la fecha de término de los períodos de tres semanas, durante la época invernal evaluada	58

Figura		Página
14	Extracción de N en los distintos niveles de fertilización N, en la fecha de término de los períodos de tres semanas durante la época invernal evaluada	61
15	Suministro de N del suelo medido quincenalmente a una profundidad de 0 a 20cm y 20 a 90 cm	63
16	Disponibilidad total de N nativo del suelo (extracción de N + suministro de N mineral del suelo) en la fecha de término de los períodos de tres semanas durante la época invernal evaluada	66
17	Disponibilidad de N total, (extracción de N, suministro de N nativo y fertilización N de 25 y 50 kg de N después de cada corte), en la fecha de término de los períodos de tres semanas durante la época invernal evaluada	68
18	Condiciones climáticas (precipitaciones, radiación global y temperatura) con respecto a la tasa de crecimiento de cada tratamiento en la fecha de término de los períodos de tres semanas durante la época invernal evaluada	72
19	Condiciones climáticas (precipitaciones, radiación global y temperatura) con respecto a la disponibilidad de N nativo del suelo (suministro + extracción de N) en la fecha de término de los períodos de tres semanas durante la época invernal evaluada.	73
20	Efecto de distintos niveles de fertilización N sobre la tasa de crecimiento diaria según metodología de Anslow durante la época invernal evaluada	76
21	Efecto de distintos niveles de fertilización N sobre la producción total de materia seca acumulada durante el período del invernal evaluado	79

Figura		Página
22	Relación exponencial entre la temperatura y la tasa de crecimiento diaria según metodología Anslow. Tratamientos a) 0 kg N ha ⁻¹ b) 25 kg N ha ⁻¹ , después de cada corte c) 50 kg N ha ⁻¹ , después de cada corte	81
23	Tasa de crecimiento diaria según metodología Anslow en cada tratamiento y unidades de calor acumulada para 200 y 330 en su fecha correspondiente	82

INDICE DE ANEXOS

Anexos		Página
1	Fecha en que se realizaron los muestreos del material vegetal, para cada parcela de cada tratamiento, en la época invernal 2006.	93
2	Fecha en que se realizaron los análisis de nitrógeno del suelo, a profundidades de 20 cm y 90 cm durante el año 2006	93
3	Análisis de varianza (ANDEVA) del rendimiento de materia seca de los tratamientos que no recibieron niveles de fertilización N	94
4	Análisis de varianza (ANDEVA) del rendimiento de materia seca de los tratamientos con niveles de fertilización de 25 kg N ha ⁻¹ después de cada corte	94
5	Análisis de varianza (ANDEVA) del rendimiento de materia seca de los tratamientos con niveles de fertilización de 50 kg N ha ⁻¹ después de cada corte	94
6	Distribución de de los valores promedio de la tasa de crecimiento en sus respectivos períodos de crecimiento en cada parcela de cada tratamiento	95
7	Efectos de los distintos niveles de fertilización N sobre la contribución relativa (%) de las especies al final del período del ensayo	96
8	Dosis de fertilización de N acumulada en cada tratamiento durante la época invernal evaluada	97
9	Variabes climáticas expresadas en períodos de tres semanas	98
10	Estimación de la tasa de crecimiento según metodología de Anslow, para cada día del ensayo en su respectivos niveles de fertilización N	98

Anexos		Página
11	Tendencia lineal de la tasa de crecimiento promedio en los distintos niveles de fertilización N, durante la época invernal evaluada según metodología Anslow	102
12	Distribución la tasa de crecimiento de cada tratamiento con respecto a la radiación global y a la temperatura media según la metodología Anslow	103

RESUMEN

La menor tasa de crecimiento de la pradera durante la época de invierno ha sido explicada por una menor radiación solar y bajas temperaturas que limitan la captación de las plantas del dióxido de carbono del aire. Además, durante esta estación del año, las condiciones climáticas predisponen para que ocurran grandes pérdidas del nitrógeno mineral. Estas pérdidas de N mineral en el suelo durante el período invernal, sumada a una disminución de la tasa de mineralización debida a las menores temperaturas, pueden llevar a un suministro deficiente para el crecimiento de las praderas, lo que en sistemas de praderas perennes requiere ser investigado en los agroecosistemas presentes en el sur de Chile. El presente estudio tuvo como objetivo principal determinar la respuesta productiva de una pradera naturalizada perenne, a niveles no limitante de suministro de nitrógeno, durante la época de invierno, bajo las condiciones edafoclimáticas del agroecosistema de Valdivia. El ensayo se diseñó en bloques completos al azar, con dos repeticiones y con tres tratamientos de fertilización N: 0, 25 y 50 kg N ha⁻¹, aplicados después de cada corte, cada tres semanas. Cada tratamiento tuvo tres parcelas, que se difirieron en una semana en su época de corte, iniciándose la evaluación posteriormente a un corte de homogeneización (13, 24 y 30 de mayo de 2006, respectivamente). La evaluación de la tasa de crecimiento se realizó utilizando la metodología de Anslow, se midió la productividad, la concentración de N y la disponibilidad quincenal de N del suelo hasta 90 cm de profundidad. Se registraron las variables climáticas diarias en la estación meteorológica de la Universidad Austral de Chile. Las variables medidas y derivadas se evaluaron estadísticamente con Andeva y la prueba de Tukey (5%) para diferenciar entre los tratamientos. Los resultados mostraron que la fertilización N al menos duplicó la tasa de crecimiento de la pradera en la época invernal evaluada, obteniéndose una tasa promedio de 7,6; 14,5 y 19,4 kg MS ha⁻¹ día⁻¹, para los tratamientos 0, 25 y 50 kg N ha⁻¹, después de cada corte. Además la temperatura no correlacionó siempre con la tasa potencial de crecimiento, particularmente cuando la radiación global fue inferior a 55 cal cm⁻² día⁻¹.

SUMMARY

Low grassland growth rate during winter season has been explained by minor input in solar radiation and low temperatures both limiting plants Carbon capture from air. Additionally during winter season climatic conditions are in favour to N mineral losses. These N losses, from soils during winter period can produce deficient N supply for pasture growth in addition to a decrease on organic N mineralization because of low temperature. These factors need to be researched under Chilean grassland systems particularly in volcanic southern Chilean agroecosystems. The aim of this study was to evaluate the growth rate response of perennial grassland under no N limiting supply during winter season in edaphic and climatic conditions of Valdivia agroecosystem. The assay was designed under complete randomized blocks, with two replicates and with three N fertilization treatments: 0, 25 and 50 kg N ha⁻¹, applied after cutting, every three week. Each treatment had three plots in each block. These plots were differed in time of harvest (cut) by one week, to evaluate growth rate using Anslow method. Each treatment plot evaluation started after a homogenization cut (May 13, 24 and 30, respectively). At each grassland harvest dry matter yield and N concentration was measured. In soil, mineral N concentration up to 90 cm of depth was measured each two weeks. Climatic variables were registered by the meteorological station of the Austral University of Chile. Variables were evaluated statistically using Anova and tukey test (p < 5 %) among treatments. Results showed that an increase in N supply by fertilization at least duplicated grassland rate growth during winter season. On average growth rate for three weeks was 7.6; 14.5 and 19.4 kg D.M. day⁻¹, for 0, 25 and 50 kg N ha⁻¹, after every cut treatments, respectively. Also, it was measured that air temperature did not always correlate with potential grassland growth rate, particularly when global radiation was lower than 55 cal cm⁻² day⁻¹.

1 INTRODUCCIÓN

Los agroecosistemas de la zona sur de Chile están dominados por praderas permanentes naturalizadas, las cuales constituyen la base forrajera principal que sustenta la alimentación animal, en los rubros lechero y cárnico bovino. Para un adecuado manejo de la oferta de forraje durante el año, es necesario conocer la variación de la tasa de crecimiento diaria de las praderas, en los distintos ecosistemas. Este conocimiento, además, permite establecer las estrategias de manejo necesarias para homogeneizar la oferta de forraje durante el año. Esto es, el manejo y estrategias de conservación de forrajes y/o la necesidad de establecer el crecimiento de forrajes suplementarios dentro de un predio.

Las distintas evaluaciones de la distribución de la tasa de crecimiento de las praderas naturalizadas permanentes a través del año, han mostrado que esta tasa no es homogénea y, en general, presenta dos períodos críticos durante su crecimiento anual. En estos períodos, la oferta de forraje es usualmente menor que las necesidades para la alimentación de los animales. El período crítico más importante y común ocurre en el invierno y el otro, se produce ocasionalmente durante la época del verano, dependiendo del ecosistema y del año.

La menor tasa de crecimiento de la pradera durante el período de invierno ha sido explicada por una menor radiación solar y bajas temperaturas que limitan la captación de las plantas del CO₂ del aire. Aunque estos factores son de los más relevantes, hay que tener presente que durante esta estación del año, las condiciones presentes en el suelo son predisponentes para que ocurran grandes pérdidas del nitrógeno mineral. Ello, se debe principalmente a que en los ecosistemas de la zona sur, durante el invierno la precipitación pluvial excede largamente la evapotranspiración real de la pradera, lo que lleva a que en el sistema suelo existan condiciones de percolación de aguas, hacia una

profundidad más allá del alcance de las raíces y condiciones de deficiencia de oxígeno, lo que favorece procesos reductivos que pueden transformar nitratos a nitrógeno gaseoso, a través de desnitrificación. Las pérdidas de N mineral en el suelo durante el período invernal, sumada a una disminución de la tasa de mineralización debida a las menores temperaturas, pueden llevar a un suministro deficiente para el crecimiento de las praderas, lo que requiere ser investigado en los agroecosistemas presentes en el sur de Chile.

De esta forma, este trabajo se realiza para evaluar la siguiente hipótesis: la tasa de crecimiento de la pradera permanente en invierno está limitada, para alcanzar su nivel potencial en los agroecosistemas con alta pluviosidad durante el invierno, por un bajo suministro de nitrógeno nativo del suelo. Así, el objetivo general, de este trabajo, es determinar la respuesta productiva de una pradera naturalizada perenne, a niveles no limitante de suministro de nitrógeno, durante la época de invierno, bajo las condiciones edafoclimáticas del agroecosistema de Valdivia.

Los objetivos específicos planteados fueron:

Determinar el rendimiento de materia seca en períodos de crecimiento de tres semanas de una pradera naturalizada permanente, bajo tres niveles de suministro de nitrógeno (N).

Estimar la tasa de crecimiento semanal, desde los períodos de crecimiento de tres semanas de una pradera permanente, bajo tres niveles de suministro de N.

Determinar la variación en el suministro de N mineral nativo a través de un análisis quincenal de la disponibilidad de N mineral en el suelo.

Estimar la absorción de N de la pradera permanente, bajo distintos niveles de suministro de N durante la época invernal.

Relacionar la tasa de crecimiento y las limitaciones de radiación y temperatura del agroecosistema, durante la época de invierno.

2 REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

2.1 Praderas permanentes naturalizadas

En la revisión de PALADINES y MUÑOZ (1982), se define como praderas naturalizadas, aquellas praderas que se usan para pastoreo directo, aprovechando la vegetación espontánea, sin que se haya efectuado ningún tipo de labor cultural o manejo. Posteriormente, BALOCCHI y LOPEZ (1996) amplían el concepto a praderas que se caracterizan por desarrollarse con bajos niveles de intervención, y que se consideran ecosistemas de alta estabilidad y persistencia.

2.1.1 Especies comunes de una pradera permanente naturalizada. Las especies de la pradera naturalizada representan a una comunidad polifítica. Ello implica una composición botánica variable (TEUBER, 1996). Además, la revisión de BALOCCHI y LOPEZ (1996) muestra que la composición botánica obedece, en la zona sur de Chile, a las condiciones climáticas y de suelo de la zona. Ello ha llevado a que, usualmente, están dominadas por gramíneas perennes, constituyendo comúnmente un valor cercano al 70% del total de las especies pratenses, con una proporción variable de especies de hoja ancha y una contribución de especies leguminosas, usualmente menor al 5% del rendimiento total anual de la pradera (BALOCCHI y LOPEZ, 1996).

2.1.1.1 Especies gramíneas. Entre las principales gramíneas que componen las praderas de la zona sur de Chile se pueden encontrar algunas gramíneas nativas, naturalizadas y naturalizadas-cultivadas. Entre las gramíneas nativas se encuentran *Bromus valdivianus* Phil. (Bromo) y *Paspalum dasypleurum* Kunze ex E. Des (pasto quila), mientras que entre las naturalizadas se tiene a *Agrostis capillaris* L. (chépica), *Holcus lanatus* L. (pasto miel), *Arrhenatherum elatius ssp. bulbosus* (pasto cebolla), *Anthoxanthum odoratum* L. (pasto oloroso), *Poa annua* L. (pasto piojillo) y *Poa pratensis* L. (poa). Finalmente, entre las naturalizadas-cultivadas se encuentra *Dactylis*

glomerata L. (pasto ovillo), *Lolium perenne* L. (ballica inglesa) y *Lolium multiflorum* Lam. (ballica italiana) (BALOCCHI y LOPEZ, 1996).

2.1.1.2 Especies leguminosas. Dentro de las principales leguminosas naturalizadas en la zona sur se presentan: *Lotus uliginosus* Schk. (alfalfa chilota) y *Trifolium dubium* Sibth. (trébol enano). Además, forman parte de estas praderas especies cultivadas como: *Trifolium repens* L. (trébol blanco) y *Trifolium pratense* L. (trébol rosado) (TEUBER *et al.*, 2003).

2.1.1.3 Especies de hoja ancha. Las especies de hoja ancha más comunes en praderas naturalizadas son: *Hypochoeris radicata* L. (pasto del chanco), *Leontodon nudicaulis* (L) Banks. ex Lowe (chinilla), *Plantago lanceolata* L. (siete venas) y *Rumex acetocella* L. (vinagrillo) (TEUBER *et al.*, 2003).

2.1.2 Potencial productivo de praderas permanentes naturalizadas en la zona sur de Chile. El potencial de producción anual de la zona, ha sido estimado a nivel de productor en 9 t MS ha⁻¹ en el sistema edafoclimático cordillera de la costa, 12 t MS ha⁻¹ en el llano central, 5 t MS ha⁻¹ en los ñadis y 10 t MS ha⁻¹ en la precordillera andina. Sin embargo, el potencial de producción anual a nivel experimental es 11 t MS ha⁻¹ en el sistema edafoclimático cordillera de la costa, 15 t MS ha⁻¹ en el llano central, 6 t MS ha⁻¹ en los ñadis y 13 t MS ha⁻¹ en la precordillera andina (PINOCHET, 1990).

El modelo PRADSIM estimó un potencial productivo en praderas permanentes con un 80% de probabilidad de ocurrencia en el agroecosistema de Valdivia, entre 12 a 13 t MS ha⁻¹ año⁻¹ (PINOCHET, 1999). Además SIEBALD *et al.* (1983), señalan que praderas permanentes naturalizadas y fertilizadas, pueden llegar a tener productividades similares (12,6 t MS ha⁻¹ año⁻¹) que praderas regeneradas (12,0 t MS ha⁻¹ año⁻¹) y praderas sembradas (10,5 t MS ha⁻¹ año⁻¹) en el largo plazo. Sin embargo, praderas permanentes naturalizadas sin fertilización producen 7,0 t MS ha⁻¹ año⁻¹.

2.1.3 Distribución de la producción anual de las praderas permanentes naturalizadas. Las praderas presentes en los tramos del Llano Central, generalmente, presentan una distribución de producción estacional marcada. Usualmente, la primavera representa un 49%, el verano un 26%, otoño un 20% e invierno un 5%. En suelos fértiles, la distribución presenta una menor producción entre los meses de febrero y mayo que equivale al 7% , después de aquellos meses hasta mediados de octubre la producción es de 18% y finalmente la mayor proporción, de 75%, se produce entre los meses de octubre y febrero (TEUBER, 1996). Además, se ha determinado que tanto para praderas de altos como bajos rendimientos, presentan una curva similar de producción de forraje a través del año; variando, el volumen de producción total de cada una en el período considerado (TEUBER y BERNIER, 1977).

2.2 Tasa de crecimiento de las praderas permanentes naturalizadas

La tasa de crecimiento corresponde a la materia seca producida diariamente por una superficie dada (ej., kg MS ha⁻¹ día⁻¹) (MORALES, 2000). Este parámetro permite determinar cuantitativamente la distribución de la producción de forraje, durante un período del año o el ciclo anual de cultivo (producción total anual). Sin embargo, su medición es engorrosa, dado que requiere de muestreos frecuentes, durante las temporadas de crecimiento (ACUÑA, 1984).

2.2.1 Metodología de medición de la tasa de crecimiento. Para estimar la tasa de crecimiento, se mide la cantidad de materia seca producida en un determinado período de tiempo. Para ello se han diseñado distintas metodologías, pudiendo ser directas o indirectas (BALOCCHI *et al.*, 2007).

2.2.1.1 Metodologías de medición directa. La metodología directa más usual es la evaluación por corte directo, dando un procedimiento de alta exactitud y mayor objetividad. Sin embargo, tiene la desventaja de ser altamente consumidora de tiempo, tanto en el lugar de muestreo (potrero) como en el laboratorio, utilizándose mayoritariamente en evaluaciones de experimentos con un mayor control de factores.

Comúnmente, este método se puede evaluar bajo condiciones de pastoreo o bajo corte sin pastoreo (BALOCCHI *et al.*, 2007).

En evaluaciones de praderas sin pastoreo, generalmente, se delimita la superficie a evaluar y el forraje es cortado a una altura determinada. Luego de cierto tiempo, se procede a cortar nuevamente la superficie a la misma altura y, a recolectar el material vegetal, registrándose el peso fresco. Posteriormente, en el laboratorio, se determina el peso seco, obteniéndose la producción de materia seca de la superficie correspondiente. Para expresarlo como tasa se divide la producción por la cantidad de días que transcurrieron entre evaluaciones.

En evaluaciones de la tasa de crecimiento bajo pastoreo, se usan jaulas de exclusión. Estas permiten proteger el forraje durante la permanencia de los animales. Dentro de la jaula de exclusión, se coloca un marco de tamaño conocido, que permite evaluar una superficie concreta para el crecimiento del material vegetal. Para determinar la tasa de crecimiento, se mide el contenido de forraje presente, usualmente, expresado como la diferencia entre la producción de materia seca del forraje inicial al pastoreo y la final del pastoreo anterior. Este valor es dividido por el número de días transcurridos entre ambos pastoreos (BALOCCHI *et al.*, 2007).

Variaciones a la medición de forraje, se han propuesto en la literatura. Esta metodología es utilizada en evaluaciones experimentales, donde el procedimiento de medición de la cantidad de forraje es diferido entre parcelas de un mismo tratamiento, lo que permite diferencias en la estimación de la tasa de crecimiento. En esta metodología, para un mismo tratamiento se utilizan tres parcelas, que son cortadas en fechas diferentes, donde después de haber sido muestreada la primera, la segunda se realiza en un lapso de un tercio del intervalo y la siguiente en dos tercios del intervalo, para luego comenzar nuevamente con la parcela inicial y volver a repetir el proceso dejando desplazado los cortes entre una y otra. La tasa promedio de producción de cada parcela, se calcula como la materia seca producida dividida por el número de días desde

la cual ha sido producida. De esta forma, el tratamiento posee tres estimaciones de tasa de crecimiento que se van transponiendo a través del tiempo, donde finalmente estas son promediadas entre sí, de acuerdo a la fecha correspondiente (ANSLOW y GREEN, 1967).

2.2.1.2 Metodologías de medición indirecta. Esta metodología se utiliza para estimar la disponibilidad de forraje y, ocasionalmente, evaluar la tasa de crecimiento. Se basa en la relación de atributos vegetativos (altura, densidad) y no vegetativos con el crecimiento de una pradera. Poseen la ventaja de ser rápidas, permitiendo realizar múltiples mediciones en poco tiempo. Sin embargo, son menos precisas y requieren de calibración con respecto al método de corte directo. Usualmente, se establece una ecuación de regresión, entre la cantidad de materia seca obtenida por corte directo y la medición indirecta del atributo vegetativo medido a través de algún instrumento específico (BALOCCHI *et al.*, 2007).

Entre las metodologías de medición indirectas se utilizan: la estimación visual, la altura comprimida y la capacitancia electrónica. La primera consiste en determinar, a través de una persona capacitada, visualmente la cantidad de forraje disponible. La segunda, es medida mediante un plato medidor de forraje, que permite registrar la altura comprimida de la pradera, en función de la altura y de la densidad del follaje (influida por la cobertura y el estado fisiológico). La capacitancia electrónica, es una técnica que estima la disponibilidad del forraje a través de la conductividad eléctrica que produce un capacitómetro electrónico sobre la pradera de una densidad y altura determinada (BALOCCHI *et al.*, 2007).

Para obtener la tasa de crecimiento con estas metodologías, se evalúa la disponibilidad de forraje antes del pastoreo y después del pastoreo anterior. Este valor se divide por el período de tiempo, en que se generó una cantidad de material vegetal.

2.2.2 Variación estacional de la tasa de crecimiento. La tasa de crecimiento de praderas permanentes no es uniforme durante el año. En la zona sur de Chile se caracteriza por producir un déficit de forraje con respecto a las necesidades de un rebaño ganadero, especialmente en invierno y ocasionalmente en verano (TEUBER *et al.*, 2003). Similares observaciones han realizado otras revisiones bibliográficas (ALAMOS, 2004), donde se señala que el crecimiento diario es mínimo durante el período invernal, adjudicando este efecto a las condiciones ambientales desfavorables. En primavera, al existir un aumento de la temperatura y una alta disponibilidad de humedad, beneficiaría la tasa de crecimiento, lo que se muestra en un incremento de la fotosíntesis, disminuyendo la tasa de crecimiento en la época de verano, debido a un déficit de agua disponible para la pradera (estrés hídrico).

Otras evaluaciones se han realizado a través de la formulación de modelos de simulación del crecimiento de praderas permanentes, los cuales se basan en las relaciones entre el clima, el suelo y el material vegetal en un agroecosistema determinado. Dentro de éstos está el modelo PRADSIM, el cual permite describir las relaciones señaladas anteriormente. Este fue diseñado con el objetivo de simular el crecimiento mensual y la productividad anual, que alcanzarían las praderas naturales de las regiones de la Araucanía, de los Ríos y la de los Lagos. Este modelo contempla como restricciones el estrés hídrico del agroecosistema, de temperatura y de radiación. La simulación realizada por este modelo, permite evaluar la variación de la tasa de crecimiento de las praderas permanentes, en el distrito del agroecosistema de Valdivia, lo que se muestra en la Figura 1. Esta figura muestra que la menor tasa de crecimiento durante el año se sitúa en el período de invierno. Después en primavera se da un efecto inverso donde aumenta considerablemente la producción, teniendo las mayores tasas en los meses de noviembre y diciembre, comenzando a disminuir en la época de verano, volviendo a repuntar durante la época otoñal (PINOCHET, 1999).

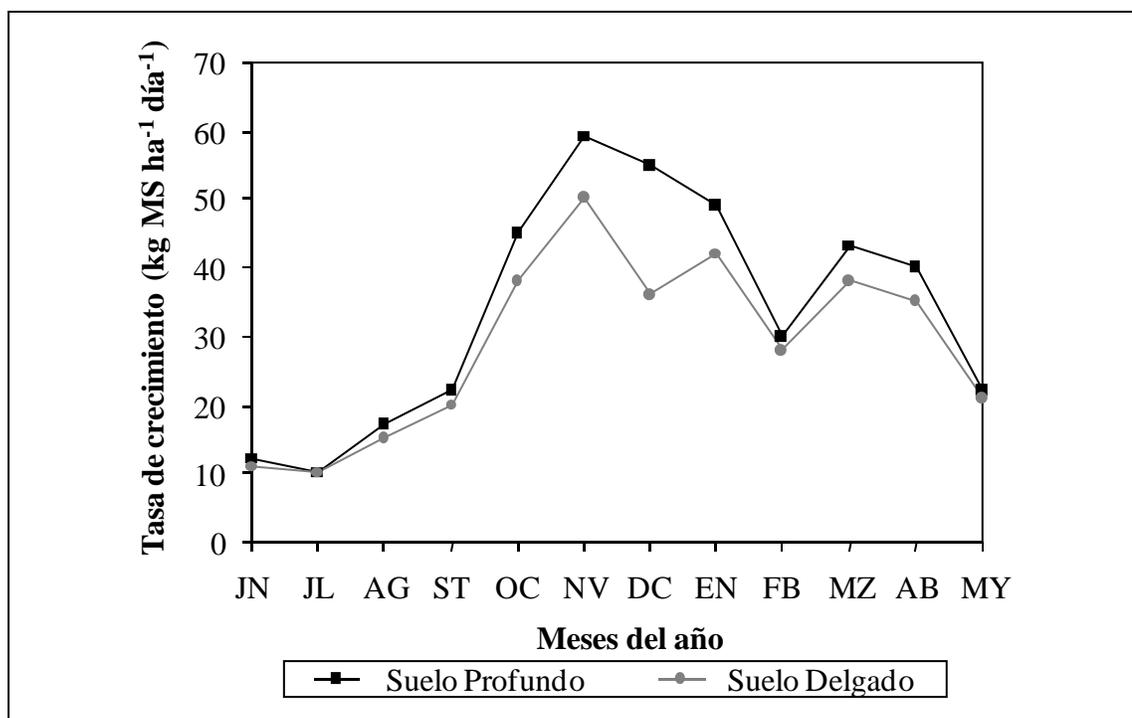


FIGURA 1 Variación de la tasa de crecimiento de las praderas permanentes en el distrito del agroecosistema de Valdivia

FUENTE: Adaptado de PINOCHET (1999)

2.2.2.1 Estimaciones de la tasa de crecimiento invernal. Existen escasas mediciones de la tasa de crecimiento invernal, en la zona sur de Chile. Los datos de MORALES (2000), muestran que el crecimiento diario promedio durante el período de invierno (junio a septiembre de 1998), en una pradera naturalizada sin fertilizar fue de 5,6 kg MS ha⁻¹ día⁻¹ y en una pradera similar pero fertilizada, alcanzó una tasa de crecimiento de 12,9 kg MS ha⁻¹ día⁻¹. Por su parte, la simulación realizada a través del modelo PRADSIM (PINOCHET, 1999), muestra que la tasa promedio del período invernal (junio a septiembre) sería aproximadamente de 16,0 kg MS ha⁻¹ día⁻¹, cuando no hay restricciones nutricionales y se expresa la tasa potencial de crecimiento.

2.2.3 Factores que afectan la tasa de crecimiento. Según HOPKINS (2000), los principales factores ambientales que influyen en el desarrollo de los forrajes son la temperatura, la luz (radiación fotosintéticamente activa) y la humedad del suelo. SMITH

y STEPHENS (1976), señalan que durante el período puede haber carencias de algunos nutrientes y que, el factor más limitante de la tasa de crecimiento en la época de invernada es la temperatura.

2.2.3.1 Efectos de la temperatura en la tasa de crecimiento. La temperatura afecta a todos los procesos biológicos controlados por enzimas, tales como la fotosíntesis y la respiración, lo que conlleva a que la tasa de crecimiento disminuya con bajas temperaturas (HOPKINS, 2000)

Los estudios realizados en las gramíneas adaptadas a climas templados, se ha mostrado que presentan un crecimiento muy reducido con temperaturas bajo los 6 °C y muestran un crecimiento óptimo cerca de los 20°C (ECKARD y FRACKS, 1998). HOPKINS (2000) ha reportado aumentos en la tasa de crecimiento de la pradera diferentes al utilizar dos rangos de temperaturas. En el rango entre 8 a 15°C, la pradera produjo un aumento en la tasa de crecimiento promedio de 13 kg MS ha⁻¹ día⁻¹ por cada incremento de un grado de temperatura y en el rango de temperatura entre 14 a 20°C, el aumento de la tasa de crecimiento por cada incremento de un grado fue de 21 kg MS ha⁻¹ día⁻¹ (HOPKINS, 2000). Según WHITEHEAD (1995), las leguminosas como el trébol, son más sensibles a las temperaturas que las gramíneas y la fijación de N simbiótica es reducida casi por completo bajo los 10°C.

2.2.3.2 Efecto de la humedad del suelo en la tasa de crecimiento. En la época de invierno, la precipitación generalmente sobrepasa en gran medida los requerimientos de evapotranspiración y completa en su totalidad la capacidad de almacenamiento del suelo, provocando la saturación, inundación y escurrimiento superficial. En este estado, el agua ocupa prácticamente todo el espacio poroso del suelo, produciéndose anoxia y de esta forma, reduce el sistema radical, lo que genera una disminución en los rendimientos (ORTEGA, 1992). Además está puede afectar en la nutrición de las plantas, dejando condiciones favorables para que sucedan pérdidas de algunos nutrientes, como el caso del N (ALFARO *et al.*, 2006).

2.2.3.3 Efecto de la radiación en la tasa de crecimiento. El efecto de la luz (radiación) debe ser considerado en términos de su longitud de onda, densidad (cantidad de fotones) y duración (longitud del día). La absorción de radiación solar fotosintéticamente activa permite la transformación de CO₂ en biomasa, pudiendo afectar la cantidad de forraje producido (HOPKINS, 2000). Además BALOCCHI *et al.* (2007), mencionan que el crecimiento de las plantas está condicionado por la cantidad de energía que aportan los azúcares del proceso de la fotosíntesis, que ocurre en las hojas verdes expuesta a la radiación solar. La transformación de la energía solar a energía útil para las funciones fisiológicas de la planta es un proceso relativamente ineficiente, puesto que solo el 2 a 5% de la energía solar que es interceptada por el follaje, se convierte en energía útil para la planta. De igual modo, estos autores destacan que en las gramíneas la intensidad luminosa afecta marcadamente en la tasa de macollamiento y en la tasa de aparición de hojas, por lo que en épocas de baja radiación (invierno) va a existir una disminución de ellas, alterando la tasa de crecimiento.

2.3 Nitrógeno como macronutriente primario

El nitrógeno (N) es constituyente esencial en la plantas, encontrándose en los tejidos vegetales en un rango de 1% a un 5% de la materia seca (MS). La razón que se encuentre en esas concentraciones y que sea de suma importancia en la morfología y en la fisiología de los vegetales, es porque gran parte de él está involucrado en la formación proteínas, ácidos nucleicos y clorofila (WHITEHEAD, 1995).

Las plantas obtienen este nutriente desde el N mineral en la solución del suelo, en forma de nitratos y/o amonio presentes. Este N mineral proviene de la reposición constante desde las formas nitrogenadas orgánicas lábiles, en proceso de mineralización neta del N orgánico del suelo. La dinámica de esta transformación de las formas orgánicas de N está determinada por varios procesos concurrentes: la mineralización, la

inmovilización y la estabilización y desestabilización de la materia orgánica (Figura 2, PINOCHET, 1990).

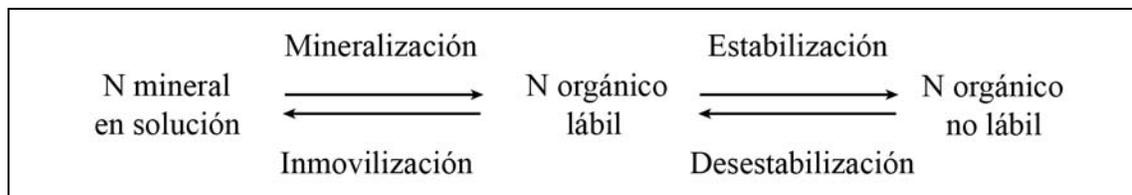


FIGURA 2 Dinámica de mineralización del N orgánico en los suelos.

FUENTE: PINOCHET (1990).

La reserva de N orgánico del suelo puede encontrarse en tres estados, existiendo una fracción lábil formada por la biomasa microbiana y los residuos frescos microbiales y vegetales, una fracción débilmente estabilizada o absorbida, que correspondería a la materia orgánica protegida o en vías de humificación, llamada también “humads” y una tercera fracción, donde se encuentra materia orgánica altamente humificada y estabilizada, que correspondería a una fracción estable de muy escasa participación en la mineralización de la materia orgánica. La primera fracción es fácilmente mineralizable, la segunda correspondería a la materia orgánica de los residuos adicionados al suelo que estarían físicamente o físico-químicamente protegidos y que posee una parte activamente mineralizable y otra parte en vías de estabilización. La última fracción es un material complejo, muy consolidado y difícilmente atacado por la biomasa microbial, estando altamente estabilizado en el suelo y que se encontraría en equilibrio estacionario entre formación y mineralización, lo que lo hace aparecer en términos netos sin una mineralización evidente (PINOCHET, 1990).

2.3.1 Ciclo del nitrógeno. Este envuelve a los sistemas suelo-planta-atmósfera, donde hay una serie de transformaciones obteniendo ganancias y pérdidas de N desde el suelo. Las entradas de este macronutriente, generalmente ocurren a través de los procesos de fijación de N atmosférico (fijación atmosférica, fijación de N simbiótica y fijación de N por organismos de vida libre), la aplicación de fertilizantes y residuos y el ingreso

adicional de N a través de la alimentación suplementaria de los animales. En tanto, las salidas de N del suelo, ocurren a través de las pérdidas del N mineral del suelo (lixiviación y desnitrificación), la remoción de nutrientes en los productos de cosechas y ganado y además, la volatilización de amoníaco cuando se aplican fertilizantes amoniacales y a través del reciclaje de la orina (WHITEHEAD, 1995). Es importante destacar que en estos sistemas ganaderos existe un alto reciclaje y transferencias en las entradas y salidas del sistema, donde gran parte del N cicla en el sistema suelo-planta-animal. Así, los residuos vegetales no consumidos son reciclados a través del año, tanto como el reciclaje animal en orinas y fecas, que constituyen reciclajes en forma mineral y orgánica, respectivamente (WHITEHEAD, 1995).

Según HAVLIN *et al.* (1993), existen siete pasos dentro del ciclo:

1. N en residuos de plantas y animales y N derivados de la atmósfera a través de procesos eléctricos, de combustión e industriales.
2. El N de los residuos es mineralizado a amonio (NH_4^+) por los organismos del suelo, como un producto final de la descomposición de los residuos.
3. La mayor parte del NH_4^+ es transformado a nitrato (NO_3^-), por bacterias nitrificantes en un proceso llamado nitrificación.
4. NO_3^- es absorbido por las plantas, al igual que una parte del NH_4^+ y utilizados en la producción de proteínas.
5. Una fracción de NO_3^- es perdido por lixiviación
6. Otra fracción de NO_3^- es convertido en N_2 y óxidos que se escapan a la atmósfera.
7. NH_4^+ puede ser perdido por volatilización como amoníaco.

Estos pasos se muestran en la Figura 3, correspondiente al ciclo del N.

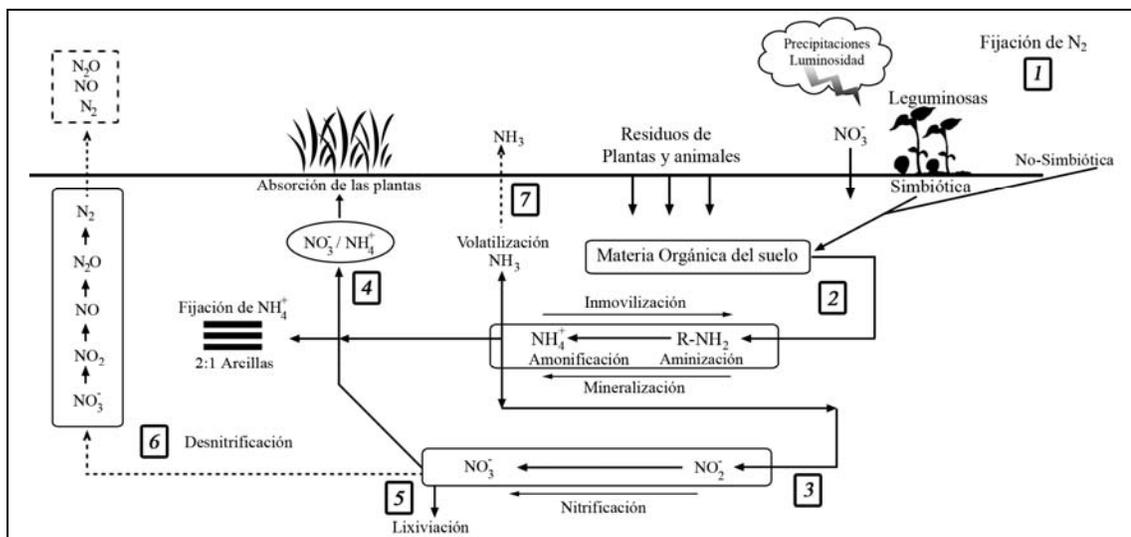


FIGURA 3 Ciclo del nitrógeno.

FUENTE: Modificado de HAVLIN *et al.* (1993).

2.3.2 Pérdidas de N en invierno. Durante los ciclos anuales es difícil que exista N mineral disponible para las plantas en grandes cantidades, ya que cuando llega el invierno en los agroecosistemas de la zona sur de Chile, se generan las condiciones que facilitan las pérdidas de los nitratos acumulados en el suelo. Comúnmente, hay dos procesos de pérdidas considerables durante esta época, la desnitrificación en condiciones anaeróbicas y la lixiviación de N, a través de la percolación del agua por medio del perfil del suelo (WHITEHEAD, 1995).

2.3.2.1 Desnitrificación. Los nitratos (NO_3^-) acumulados en el pool de N inorgánico están expuestos al proceso de desnitrificación, por parte de la biomasa del suelo bajo condiciones anaeróbicas; lo que sucede mayoritariamente en los suelos cuando dominan las condiciones de reducción por sobre las de oxidación. Un tercio de la biomasa microbial, es comúnmente anaeróbica facultativa utilizando el oxígeno de la reducción de los nitratos como fuente primaria de oxígeno cuando se favorecen las condiciones anaeróbicas (RODRIGUEZ, 1993; JARVIS, 1998). En esta condiciones, el NO_3^- actúa como donante de electrones a los organismos desnitrificantes y es transformado a nitrito

(NO_2^-), y luego secuencialmente a óxido nítrico (N_2O) y nitrógeno gaseoso (N_2), los que son emitidos a la atmósfera (STEVENSON y COLE, 1999).

2.3.2.2 Lixiviación. Es el proceso mediante el cual las formas nitrogenadas orgánicas e inorgánicas aplicadas artificialmente o preexistentes en el suelo, son movilizadas más allá de la zona de las raíces de las plantas, por efecto del movimiento de percolación de las aguas, siendo en gran medida el responsable de las pérdidas de N mineral, principalmente a través de nitratos (SILVA *et al.*, 1987; RODRIGUEZ, 1993).

El nitrato es el N mineral más vulnerable al proceso de lixiviación, ya que es muy soluble en agua y es cargado negativamente, no siendo adsorbido por la carga negativa de las arcillas y coloides orgánicos. Es esta razón que hace que el NO_3^- sea altamente móvil y que esté sujeto a las pérdidas por lixiviación cuando existen condiciones para que haya percolación de aguas en el suelo. Por su parte, el ión amonio (NH_4^+) posee una carga positiva y tiende a ser adsorbido en el suelo (WHITEHEAD, 1995), lo que resulta en lixivitaciones mucho menores de este catión desde el suelo (ALFARO *et al.*, 2006).

2.4 Nitrógeno en praderas permanentes

Según Ball (1982) citado por RUZ (1994), en los suelos de praderas de regiones templadas, el N se acumula en grandes cantidades en la materia orgánica, con valores que pueden alcanzar fácilmente los $5000 \text{ kg N ha}^{-1}$. Sin embargo, a pesar de esta abundancia, el N disponible para las plantas (N mineral) forma solo una pequeña fracción del N total, constituyendo un componente altamente variable y de carácter transitorio. Se estima que una medición de N por vez en el suelo, muestra valores que fluctúa entre 5 a $30 \text{ kg de N ha}^{-1}$ en praderas basadas en fijación simbiótica y a unos 30 a 50 kg N ha^{-1} en praderas que reciben periódicamente aplicaciones de fertilizantes N (RUZ, 1994).

TEUBER *et al.* (2003), señalan que al ser el N un elemento nutritivo que estimula el crecimiento de las plantas, este macronutriente puede ser utilizado como una herramienta para el manejo productivo de las praderas permanentes. Además, mencionan que realizando un uso estratégico de este permitiría incrementar el rendimiento de materia seca, tanto en pastoreo como en rezago para ensilaje, sin estimular las pérdidas más allá de lo recomendable.

En praderas dominadas por gramíneas, la influencia del nitrógeno en el crecimiento está relacionada con aspectos morfológicos y fisiológicos, teniendo mayor incidencia en la parte foliar que en la radicular. De esta forma, afecta principalmente el desarrollo de los macollos, quienes producen las hojas. Una deficiencia de este macronutriente podría restringir el desarrollo y crecimiento de macollos y hojas, disminuyendo de esa manera la capacidad fotosintética y, finalmente, la productividad de la pradera (WHITEHEAD, 1995).

2.4.1 Relación N y tasa de crecimiento. El N en los tejidos de la planta presenta distintos roles, ya sea en lo estructural, en el metabolismo activo y como componente almacenado. En plantas que presentan deficiencias severas de N, la mayor fracción del N está en la parte estructural (asociado en las paredes de célula y ácidos nucleicos), una parte menor es metabólicamente activo en forma de enzimas, y una cantidad insignificante se encuentra en forma almacenada. Cuando el suministro de N es aumentado, se produce una fuerte respuesta en productividad de materia seca y esto genera que el N aumente en su fracción metabólica activa, promoviendo la fotosíntesis y el crecimiento. Si el suministro de N excede los requerimientos de corto plazo, el exceso de N es almacenado, generalmente como nitrato o amidas en los tejidos (WHITEHEAD, 1995).

Los rendimientos son afectados negativamente cuando existe una deficiencia en los nutrientes, y cuando está es corregida, hay una notoria y rápida respuesta de crecimiento. Al producirse este rápido aumento del crecimiento, la concentración de los

nutrientes se ve disminuida levemente, produciendo un efecto de dilución de los nutrientes en la planta debido al rápido crecimiento; llamándose a este fenómeno, “efecto Steenberg” (Figura 4). Cuando se han aumentado las concentraciones y se llega al rango crítico, el rendimiento se ve generalmente maximizado, ya que los nutrientes son adecuados, estando en el límite de ser deficiente o suficiente. Además cuando los niveles de concentración del nutriente son más bajos que el rango crítico, los rendimientos y la calidad de los cultivos no alcanzan la productividad deseada. Ahora si las concentraciones se encuentran sobre este rango crítico, nos indica que la planta está excediendo la absorción de los nutrientes necesarios para obtener el máximo rendimiento, generando de esa forma un consumo de lujo, que en su mayoría se da en gran parte de las plantas. Finalmente, si el nutriente es absorbido en cantidades excesivas puede reducir el rendimiento de la planta a través de la toxicidad directa o indirecta (HAVLIN *et al.*, 1993).

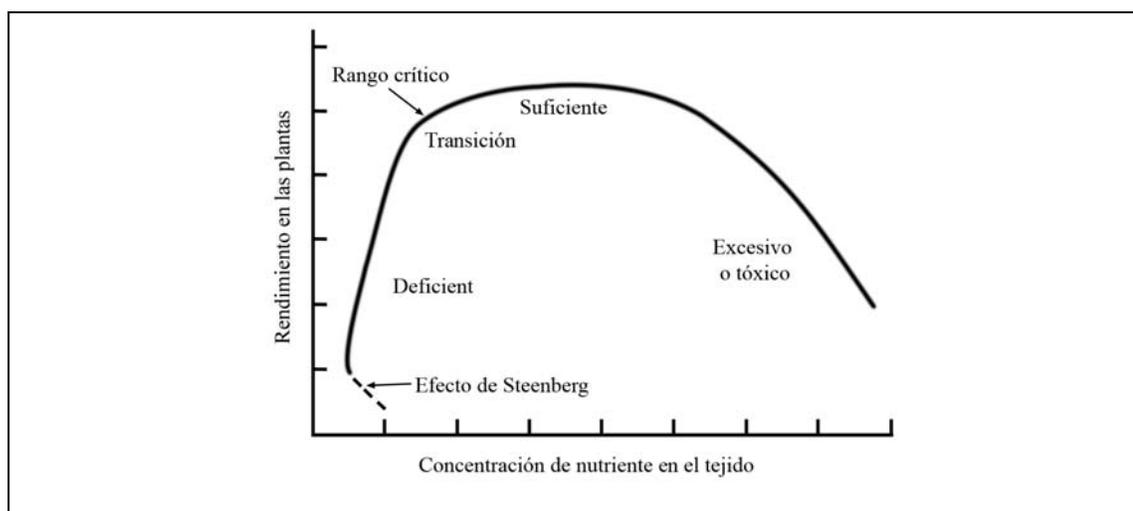


FIGURA 4 Relación entre la concentración de nutrientes esenciales de plantas y el crecimiento o rendimiento de las plantas.

FUENTE: Adaptado de HALVIN *et al.* (1993).

HAVLIN *et al.* (1993), publican distintos rangos críticos del N para la mayoría de la plantas, destacando algunas gramíneas y leguminosas, donde menciona que estos

niveles de concentración son los mínimo para obtener adecuados rendimientos (Cuadro 1).

CUADRO 1 Rango crítico de la concentración de N en gramíneas y leguminosas

Nutriente	<i>Festuca sp.</i>	<i>Poa pratensis</i>	<i>Lolium sp.</i>	<i>Cynodon dactylon</i>	<i>Medicago sativa</i>
N (%)	2.8- 3.4	2.4 - 2.8	3.2 – 3.6	1.8 – 2.2	4.0-5.0

FUENTE: HALVIN *et al.* (1993)

El Cuadro 1 muestra que las concentraciones críticas varían entre 1,8 hasta 5,0% dependiendo de la especie vegetal considerada, mostrando usualmente las leguminosas concentraciones mayores que las gramíneas.

2.4.2 Fertilización N en praderas permanentes. El N proveniente desde el fertilizante es una herramienta de manejo para manipular la producción de la pradera, que está orientada a mantener el equilibrio en los sistemas ganaderos entre los ingresos y las pérdidas de este nutriente provocadas por la extracción en producto cosechado de este sistema y la ineficiencia en el reciclaje animal (PINOCHET, 1990). Además, se menciona que las aplicaciones de fertilizante nitrogenado dependen de diversos factores, dentro de ellos destacan: el efecto de la fertilidad basal, la composición botánica de la pradera, las condiciones edafoclimáticas, los métodos de cosecha del forraje, y los objetivos productivos.

Según MORRISON (1980), las respuestas de las gramíneas a la fertilización nitrogenada pueden variar marcadamente dependiendo del lugar y del año. Sin embargo, las praderas dominadas por gramíneas responden a la fertilización nitrogenada de una manera característica general. Presentan una fase inicial, que posee una respuesta lineal a la fertilización nitrogenada; luego comienzan a presentar rendimientos decrecientes hasta llegar a la máxima respuesta, para que finalmente, la respuesta comienza a decaer, por efectos de excesiva acumulación de N (Figura 5).

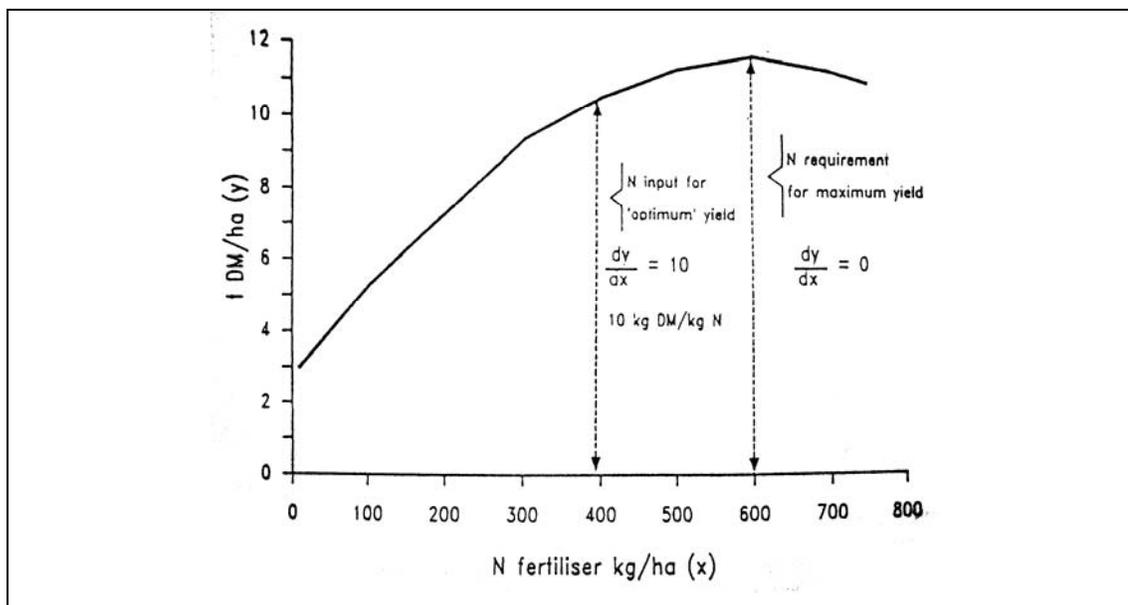


FIGURA 5 Curva de respuesta típica de praderas de gramíneas a la aplicación de fertilizantes N.

FUENTE: MORRISON (1980).

RUZ (1994) en su análisis de la Figura 5 concluye, que usualmente la respuesta en producción de materia seca es prácticamente lineal hasta los 300 kg de N ha⁻¹ año⁻¹. Donde el rendimiento se incrementa a una tasa constante de alrededor de 20 kg de materia seca por cada kg adicional de N. Después hay un punto donde existe una disminución a 10 kg de materia seca por kg N, que se considera como el valor crítico para la aplicación de N en praderas. Finalmente, en el rango de los 600 kg de N ha⁻¹ año⁻¹, se llega al máximo rendimiento físico, por lo que dosis superiores no tendrán ninguna respuesta. WHITEHEAD (1995), coincide con lo señalado anteriormente, indicando que las praderas tienen una adecuada respuesta a la aplicación de fertilizante nitrogenado mineral, donde al principio es relativamente lineal hasta una dosis que fluctúa en un rango de 250 kg N ha⁻¹ año⁻¹ a los 400 kg N ha⁻¹ año⁻¹. Sin embargo, al aumentar estos niveles la respuesta por kg de fertilizante N declina hasta alcanzar el máximo de productividad física, punto sobre el cual la respuesta es nula. Además HOPKINS *et al.* (1990), han realizado estudios donde comparan distintas dosis de N en dos tipos de praderas, una permanente y una sembrada. En ambos casos a medida en

que se incrementó la dosis N se logró un mayor rendimiento hasta dosis de $450 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, donde se determinó que los tratamientos de 400 y $900 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, no presentaban diferencias alguna con los anteriores.

En praderas de alta producción ubicadas en regiones templadas húmedas, que fluctúan entre las $12 \text{ t ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ y que están compuesta por un buen porcentaje de trébol, la fijación simbiótica de N puede oscilar entre 100 y $180 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, lo que solo sustentaría un máximo de 40% de una demanda total de 456 kg N ha^{-1} , debido a esto una buena parte debe ser suministrada por el “pool” de N mineral del suelo (RUZ, 1994). En un estudio reciente en la X Región, donde se evaluó la respuesta de una pradera a la aplicación de dosis crecientes de N hasta $200 \text{ kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ aplicado en varias parcialidades, se demostró que hubo un incremento lineal de la producción de materia seca hasta los $200 \text{ kg de N ha}^{-1}$ (dosis más alta durante el ensayo), obteniéndose una relación de $18 \text{ kg de materia seca por kg de N aplicado}$ (DUMONT *et al.*, 1994). En otros estudios, realizados por PINOCHET (1990), obtuvieron que en sistemas ganaderos de carne, se necesitan para lograr una productividad de 10 t MS ha^{-1} , una fertilización suplementaria que variará entre 0 a $65 \text{ kg de N ha}^{-1}$, de acuerdo al porcentaje de trébol de la pradera. Por otra parte, para la misma productividad de la pradera en el caso de lechería, las dosis recomendadas deben fluctuar entre 0 y 90 kg N ha^{-1} , debido a las mayores pérdidas que se producen en este sistema ganadero. No obstante, PINOCHET *et al.* (2000), destaca que el uso adecuado de fertilizante nitrogenado en praderas compuestas por una mezcla de gramíneas y leguminosas, es bastante más complicado que en poblaciones de sólo gramíneas, y donde el uso incorrecto puede alterar negativamente el equilibrio entre las dos especies forrajeras, anulando la ventaja de su mezcla.

Otro aspecto a considerar en la fertilización N de las praderas, es la utilización de rezagos para conservación del forraje, a través de ensilaje o heno. En estos casos, las dosis que deben agregarse aumentan, debido a que la extracción del nutriente es mayor, porque hay menores devoluciones por medio del reciclaje animal y son prácticamente

independientes del contenido de trébol de la pradera (PINOCHET, 1990). Según RUZ (1994), en los sistemas gramínea-trébol se pueden aplicar dosis de fertilizante que fluctúan entre los 40 y los 80 kg de N ha⁻¹ en una sola aplicación, sin alterar el equilibrio de la pradera. Conjuntamente, existen estudios realizados en la Región de los Lagos, en que determinaron dosis adecuadas de fertilización con N para henificación, donde TORRES *et al.* (1991), mencionado por RUZ (1994), encontraron que con aplicaciones de 50 kg N ha⁻¹ y un rezago de 80 días, obtuvieron los mayores beneficios económicos y la pradera, no se vio afectada por una disminución del contenido del trébol, en el rebrote posterior al corte. Además RUZ (1994), señala que Dumont y Lanuza (1993) evaluaron distintas épocas de rezago y aplicación de N en praderas para ensilaje, empleando tres dosis (0, 60 y 120 N kg ha⁻¹) en tres períodos de rezago desde agosto, donde concluyeron que las dosis más apropiada fue 60 kg de N ha⁻¹ y con un período de rezago de 6-7 semanas, sin alterar demasiado el equilibrio ballica-trébol.

2.4.3 Estrategias de fertilización. Generalmente se pueden distinguir tres estrategias de fertilización N en praderas gramíneas-leguminosas, que se basan en: “no aplicar N”, donde se confía en el N proveniente de la fijación simbiótica, a través del trébol. Se ha determinado que estas praderas, en las estaciones frías, la producción estará restringida y es adecuada en sistemas ganaderos con bajas cargas animales; “alta aplicación de N”, estrategia que implica la aplicación de N después de cada pastoreo, siempre y cuando la humedad del suelo sea adecuada, lo que podría resultar en inaceptables pérdidas de N e ineficiencia, siendo un sistema ganadero recomendado para altas cargas animales; finalmente, se utiliza la estrategia de “las aplicaciones de N estratégico”. Se aplica el N estratégicamente de forma tal, que el N es utilizado como un suplemento al N mineralizado en el suelo y no como una aplicación fertilizante en sí, ya que se emplea solo cuando se requiere un crecimiento adicional de las gramíneas y cuando el crecimiento del trébol es limitado (ECKARD y FRACKS, 1998).

2.4.3.1 Fertilización suplementaria de N invernal. Esta es una aplicación de N basada en el modelo de “aplicación estratégica de N”, y se utiliza cuando se requiere de un

crecimiento adicional durante períodos fríos, dejando en períodos cálidos al trébol como principal contribuyente de N. Generalmente, se considera al fertilizante N como un suplemento y no como un fertilizante, ya que éste va a suplir la falta de N, que no esta aportada por sistema (ECKARD y FRACKS, 1998) y a compensar las pérdidas de N mineral en estos períodos.

La fertilización suplementaria de N invernal se fundamenta en realizar una fertilización eficiente, en que se considera, que al haber condiciones para el crecimiento de la pradera, probablemente se requiere de una aplicación suplementaria de N, para aumentar las tasas de crecimiento de la pradera. Debe considerarse que existen épocas, donde la fertilización suplementaria de N posee mayores respuestas relativas con respecto al crecimiento sin aplicación de N, mientras en que en otras, la respuesta relativa es mucho menor. Tal es el caso, del invierno, donde pueda existir un incremento sobre o entre los 80 a 100% en la tasa de crecimiento, comparado con primavera, donde el aumento con fertilización N es solo del 20% (ECKARD y FRACKS, 1998). De igual forma, TEUBER *et al.* (2003), señalan que estudios realizados en el llano longitudinal de Osorno, la fertilización con N incrementó el rendimiento en invierno en un 65%, siendo la mayor respuesta relativa en crecimiento que las otras épocas del año.

2.4.4 Eficiencia de fertilización N invernal. Para lograr optimizar la fertilización N y obtener una buena respuesta en la producción de la pradera, hay que tener presente el efecto de la fertilidad basal en el crecimiento de la pradera. Si existe deficiencia de cualquier macronutriente o una inadecuada alcalinidad del suelo, éstos limitarán la respuesta al N y la fertilización no se verá reflejada en el rendimiento. Es por eso, que se recomienda fertilizar con N a praderas de alto potencial forrajero y de alta fertilidad basal, para obtener una respuesta adecuada a la fertilización N (PINOCHET, 1990).

En el invierno las bajas temperaturas del suelo disminuyen substancialmente las tasas de crecimiento, reduciendo la respuesta al fertilizante N. Las praderas en épocas

frías pueden detener el crecimiento entre 6 a 8 semanas, cuando las temperaturas del suelo (a 10 cm) están por bajo los 4 °C, haciendo despreciable la respuesta del nutriente. Debido a las razones anteriormente mencionadas, la aplicación del fertilizante N hay que realizarla en períodos en que se inician las alzas de temperaturas; como lo es a fines de invierno, ya que las gramíneas son capaces de crecer en un umbral térmico inferior al del trébol y, generalmente, el suelo en esta época no es capaz de suministrar el N mineral necesario para el crecimiento de las praderas (ECKARD FRACKS, 1998).

De igual modo, la época posee alta pluviometría, lo que facilita al N mineral acumulando las pérdidas por lixiviación y/o desnitrificación, lo que determina diferencias importantes en la eficiencia de la fertilización N, siendo de mayor riesgo en suelos arenosos y delgados (RODRIGUEZ *et al.*, 2001). La estrategia para evitar la pérdida por lixiviación del N del fertilizante debe centrarse en el manejo adecuado de la parcialización de la dosis de fertilización. Una aplicación de N demasiado temprana, podría resultar en una alta lixiviación y aplicaciones demasiado tardías, podría restringir la respuesta potencial del crecimiento temprano primaveral de las praderas (WHITEHEAD, 1995). Además, en invierno ocurren anegamientos de agua que generan condiciones propicias para producir desnitrificación. Debido a aquello, es importante considerar la fuente nitrogenada del fertilizante a aplicar. Los nitratos son móviles en el agua del suelo y se podrían lixiviar más rápidamente y son directamente la fuente de N para la desnitrificación. Asimismo, bajo condiciones de anegamiento, los fertilizantes amoniacales son la mejor fuente de N a usar, ya que las praderas inundadas tienden a absorber más amonio del suelo, que nitratos. Sin embargo, debe conjugarse su utilización con la posibilidad de volatilización, ya que al aplicar un fertilizante amoniacal tempranamente entre invierno y primavera, se dan las condiciones de evaporación y mayores temperaturas, que facilitan las pérdidas por volatilización (WHITEHEAD, 1995).

2.4.5 Eficiencia de absorción de N invernal. Las plantas requieren de un ritmo de absorción de N, que está determinado por las necesidades derivadas de la tasa

fotosintética y la producción de compuestos carbonados, especialmente proteínas. Debido a ello, los cultivos presentan una tasa de absorción mínima óptima de N, la cual requiere para maximizar la tasa fotosintética. Es por eso, que en la eficiencia de absorción de N es altamente importante la sincronía entre la mineralización del N del suelo, la acumulación de N mineral y la tasa de absorción del cultivo. Sin embargo, durante el invierno es difícil mantener en forma equilibrada esta relación, ya que existen varios factores que afectan al crecimiento de la pradera (y por ende su requerimientos de N) y factores que facilitan las pérdidas del N mineral del suelo y que afectan la tasa de mineralización de N.¹

Las plantas presentan dos factores de alta relevancia para poder tener una buena eficiencia de absorción del N mineral: la profundidad de enraizamiento y los efectos rizosféricos. La profundidad de enraizamiento de la pradera determina hasta que profundidad del perfil del suelo, puede recuperar N mineral que se ha movido a través de flujo de masas. Para ello debe llegar a esa profundidad del suelo con una densidad radical, que le permita absorber N tanto a través de difusión como flujo de masas. Además, se debe considerar la variación del crecimiento de las raíces a través de los ciclos de corte de las praderas. Por su parte, los factores rizosféricos de las plantas, explican la capacidad de éstas de producir compuesto inhibidores de la nitrificación de N mineralizado, manteniéndolo como amonio y de esa forma reducir el movimiento hacia las estratas más profundas del suelo y las pérdidas por desnitrificación.²

Conjuntamente WHITEHEAD (1995), menciona que los factores ambientales tienen una alta influencia en la absorción de nitrógeno durante la época invernal. En el caso de las gramíneas se ven afectadas en la tasa de absorción de nitrato y de amonio, debido a que están influenciadas por la temperatura y pH, pero difieren para ambos

¹ y ² PINOCHET, D. (2000). Ing Agr. MSc. Ph.D. Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile. Nitrógeno en los sistemas agrícolas (Apunte fertilidad y fertilizantes).

iones. Estudios sobre ballicas perennes, han mostrado que la absorción de nitrato incrementa con el aumento de las temperaturas en el rango 5 a 35°C, y se obtienen mejores respuestas a pH 6,2, mientras que la absorción de amonio es mayor a una temperatura de alrededor de 22°C, y siendo ligeramente influenciada por el pH en un rango 4,0-7,5. Además la luz, es uno de los factores mas importantes, ya que si ésta es baja no estimula a la planta para realizar una adecuada absorción, debiéndose a que el nitrato posee una tasa de conversión a formas orgánicas que es dependientes de la fotosíntesis y de la producción de carbohidratos.

WATSON (1986), estudió la absorción del nitrato y el amonio en *Lolium perenne*, y señala que cuando ambos iones se suministran en forma conjunta, el amonio es absorbido preferencialmente, sobre todo cuando hay bajas temperaturas del suelo, debiéndose a un efecto inhibitorio que induce el amonio sobre el nitrato cuando se suministran juntos. El autor destaca, que también ocurre el mismo efecto cuando se otorgan en forma separada. Además WHITEHEAD (1995), concuerda con lo antes mencionado, en donde las gramíneas tienen una mayor absorción de amonio que de nitrato.

3 MATERIAL Y METODO

3.1 Material

3.1.2 Ubicación del Ensayo. El ensayo se realizó en el predio “Vista Alegre” propiedad de la Universidad Austral de Chile, ubicado en la Región de los Ríos, Provincia y Comuna de Valdivia, a 6 km en dirección Norte de la ciudad de Valdivia. Este predio se ubica entre los paralelos 39°47’46” y 39°48’54” latitud sur y los meridianos 73°13’13” y 73°12’24” longitud oeste.

3.1.3 Características climáticas de la zona. Según el sistema de clasificación de ecoregiones propuesto por GASTO *et al.* (1990), esta zona, pertenece al reino templado, dominio húmedo, provincia de verano fresco. Además HUBER (1970), señala que existe una influencia ejercida por la cercanía al mar y a la hoya hidrográfica de los ríos Valdivia y Cruces, que hacen a esta zona posea un clima de características marítimas.

3.1.3.1 Temperatura. Las temperaturas medias anuales fluctúan del orden de 12°C llegando a un valor medio máximo en el mes de enero con 16,8°C y una media mensual mínima de 5,4°C en el mes de junio (HUBER, 1970).

3.1.3.2 Precipitaciones. En esta zona las precipitaciones son características, ya que fluctúan entre 1800 a 3100 mm anuales, con un promedio de 2500 mm. Además, presentan una distribución estacional bien concentrada, siendo el invierno la estación más lluviosa (MONTALDO y FUENTES, 1980).

3.1.3.3 Humedad relativa. El promedio de la humedad relativa anual es del 78%, aumentando en los meses de otoño e invierno en donde existe una fluctuación entre 80 a 90% y la media mensual máxima es de 89% en el mes de junio. Después disminuye en

la época de verano, oscilando entre los 60% a 70% y poseyendo una media mensual mínima de 67% en el mes de enero (HUBER, 1970).

3.1.3.4 Período libre de heladas. Según HUBER (1970), en un período de 10 años la frecuencia de heladas media anual han afectando generalmente a los meses de julio a septiembre, que contempla un lapso de 46 días. Sin embargo, desde diciembre a marzo son los meses que están exentos de heladas.

3.1.4 Características climáticas del período del ensayo. Durante los meses en que se realizó el estudio se registró la información climática de precipitación, radiación global, temperatura media, máxima y mínima (Figura 6, 7 y 8) en la estación climatológica del Instituto de Geociencias de la Universidad Austral de Chile, ubicada en la isla Teja.

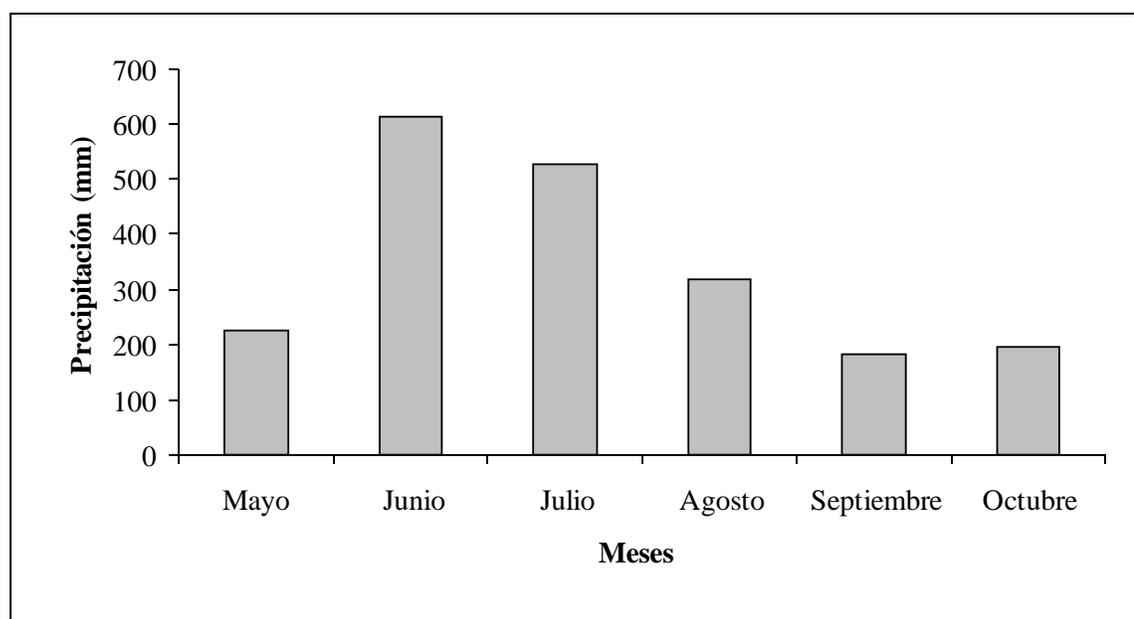


FIGURA 6 Precipitación mensual (mm) registrada durante el período de estudio (mayo - octubre 2006).

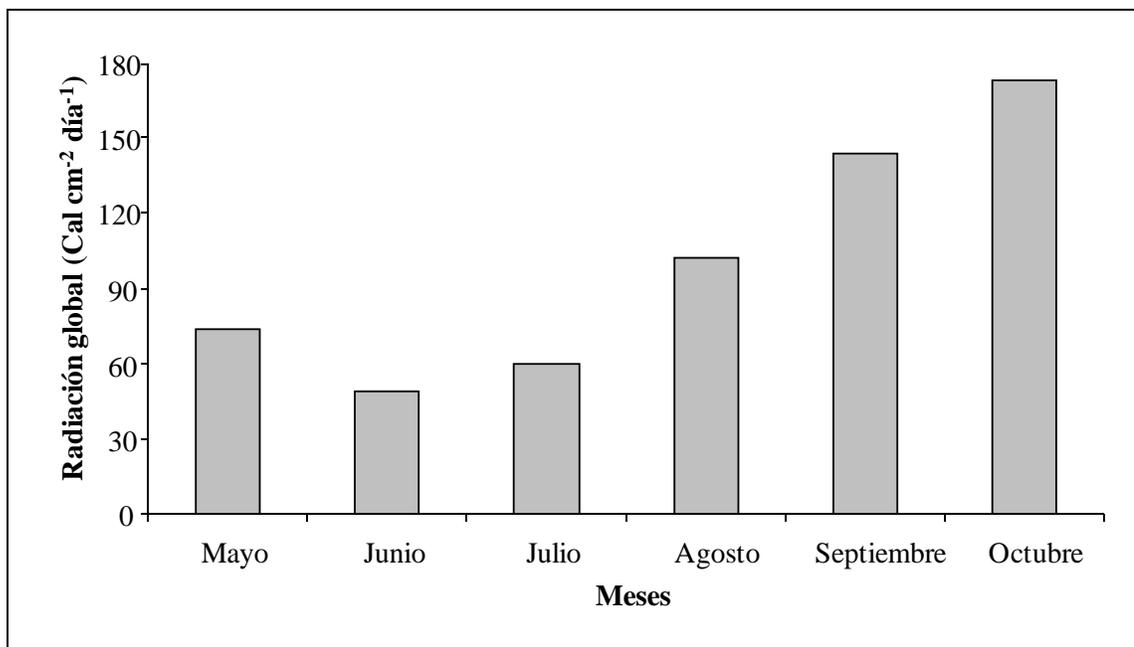


FIGURA 7 Radiación global promedio mensual (cal cm⁻² día⁻¹) registrada durante el período invernal evaluado (mayo - octubre 2006).

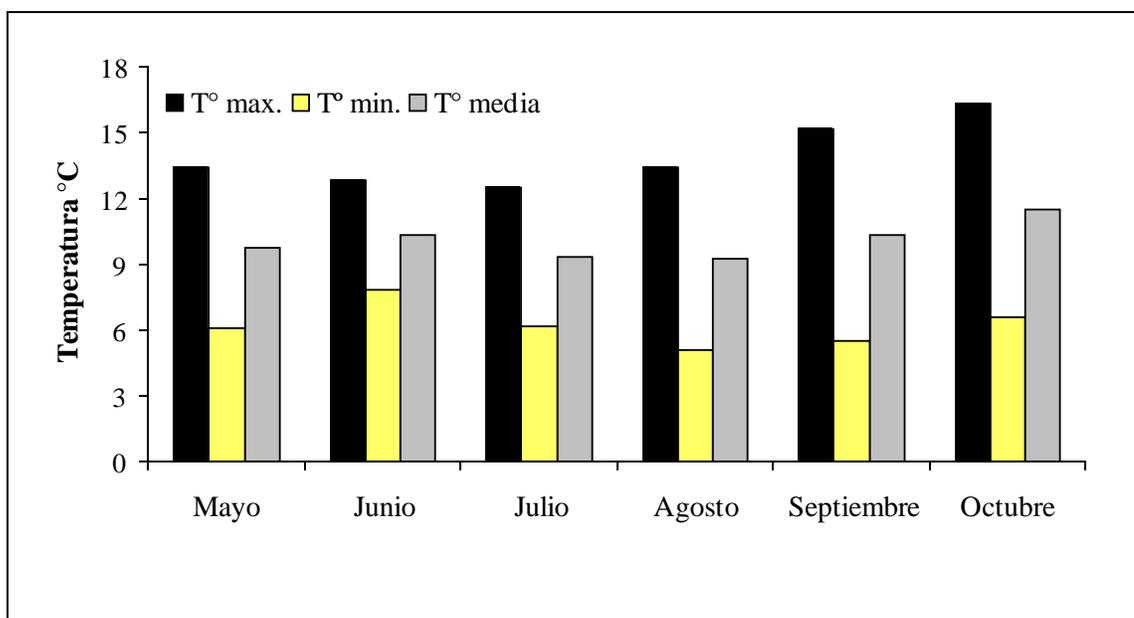


FIGURA 8 Temperatura máxima, mínima y media promedio mensual (°C) registrada durante el período de estudio (mayo-octubre 2006).

3.1.5 Características del sitio. Según NISSEN y BARRIA (1976), el predio de Vista Alegre presenta un suelo trumao (Typic Hapludand) perteneciente a la serie Valdivia, el cual se caracteriza por presentar una pendiente entre 2 a 5% y de una topografía plana a lomaje suave.

3.1.5.1 Características químicas. La muestra de suelo del sitio del ensayo fue evaluada mediante un análisis de suelo en el laboratorio del Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos de la Universidad Austral de Chile, el cual presenta los siguientes resultados

CUADRO 2 Análisis químico de suelo del sitio utilizado en el ensayo

pH (1:2,5) agua	5,5
pH (1:2,5) CaCl ₂ 0,01M	4,7
Materia Orgánica	15,9
Fósforo intercambiable (mg kg ⁻¹ P-Olsen)	12,6
Calcio intercambiable (cmol _c kg ⁻¹)	2,61
Magnesio intercambiable (cmol _c kg ⁻¹)	0,60
Potasio intercambiable (cmol _c kg ⁻¹)	0,41
Sodio intercambiable (cmol _c kg ⁻¹)	0,13
Suma de bases intercambiable (cmol _c kg ⁻¹)	3,75
Aluminio intercambiable (cmol _c kg ⁻¹)	0,31
Saturación de aluminio (%)	7,5

3.1.6 Material vegetal. Se utilizó una pradera permanente naturalizada mejorada polifítica, de rendimientos medios que fluctúan entre las 8 a 12 t de MS ha⁻¹ (registro predial). La composición botánica del sitio del ensayo estuvo dominada principalmente por gramíneas, equivaliendo al 67% del total de la composición botánica y dentro de estas destacan: ballica inglesa (*Lolium perenne* L.), bromo (*Bromus valdivianus* L.) y pasto dulce (*Holcus lanatus* L.). En forma intermedia se determinó la presencia de las especies de hoja ancha, con un 25% y finalmente, las especies de menor proporción

fueron las leguminosas con un 8%. Más detalles de la composición botánica en el Cuadro 3.

CUADRO 3 Composición botánica al inicio del ensayo

Especies	%
Gramíneas	67,28
<i>Lolium perenne</i>	17,23
<i>Lolium multiflorum</i>	4,08
<i>Bromus valdivianus</i>	13,23
<i>Holcus lanatus</i>	12,26
<i>Dactylis glomerata</i>	2,92
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	6,90
<i>Agrostis capillaris</i>	5,99
Otras gramíneas	4,67
Leguminosas	8,11
<i>Trifolium repens</i>	5,89
Otras leguminosas	2,22
Hoja ancha	24,61

3.1.7 Fertilizantes. Se utilizó superfosfato triple (46% P₂O₅) como fuente de fosforada de corrección y nitrato de calcio (16% NO₃⁻, 27% CaO) como fuente nitrogenada para los tratamientos de fertilización N.

3.2 Método

3.2.1 Duración del ensayo. El ensayo se inició con un corte de homogenización de la pradera perenne el día 13 de mayo del 2006. Ese mismo día se obtuvieron las muestras de composición botánica y, posteriormente se aplicaron la dosis de fertilizantes de corrección. El estudio terminó el 1 de octubre de 2006, día en que se realizó el sexto y último corte del ensayo.

3.2.2 Fertilización basal del ensayo. Al iniciar el ensayo se aplicó una dosis de fertilización fosforada de 75 kg P₂O₅ ha⁻¹, aplicado en cobertera. Esta fertilización como

un único nutriente basal fue realizada dado que se consideró que el suministro del suelo abastecía de los requerimientos de la pradera en potasio, calcio, magnesio y en los micronutrientes. Esta fertilización se efectuó al inicio del estudio y fue aplicada en todos los tratamientos, con el objetivo de que no existieran deficiencias nutricionales (excepción N) y de esa forma, la tasa de crecimiento de la pradera no fuera afectada por la fertilidad de otros nutrientes (PINOCHET, 1990).

3.2.3 Tratamientos de fertilización N. Se diseñaron tres tratamientos de fertilización N: dos tratamientos consistieron en la aplicación después de cada corte de dosis de N de 25 y 50 kg N ha⁻¹, respectivamente, y un tratamiento control sin aplicación de fertilizante N, para evaluar la respuesta de la pradera al N nativo del suelo. Las dosis de fertilización de N se aplicaron en cobertura al inicio del ensayo (corte de homogenización) y después de cada muestreo (cada tres semanas). Los niveles de fertilización aplicados se diseñaron con el objetivo de tener una disponibilidad de N mineral por sobre los requerimientos estimados de la pradera. Por esa razón, se aplicaron una dosis media alta y una dosis muy alta, de forma que la tasa de crecimiento de la pradera debida al N nativo del suelo, se comparara con las obtenidas sin limitación de N, durante la época de invierno.

3.2.4 Diseño experimental. El ensayo fue dispuesto en bloques completos al azar, consistiendo de tres tratamientos y dos bloques. Además, cada tratamiento en cada bloque estuvo presente en una serie de tres parcelas, las cuales fueron cortadas diferidas semanalmente de acuerdo a la metodología de Anslow (ANSLOW y GREEN, 1967) para determinar la tasa de crecimiento de praderas permanentes (Figura 9).

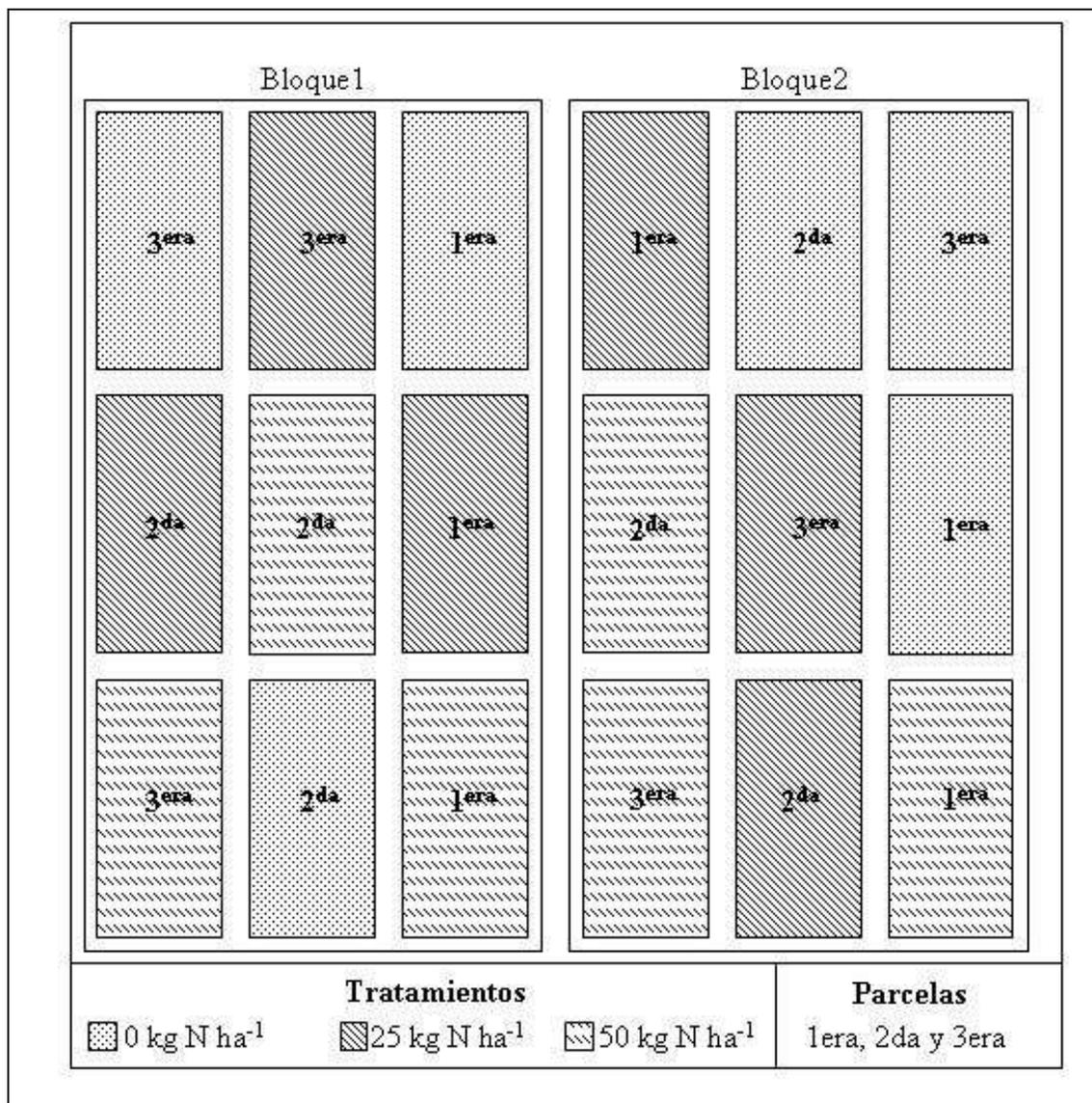


FIGURA 9 Distribución y diseño del ensayo.

3.2.5 Tamaño de las parcelas experimentales. Cada parcela correspondió a una superficie de 7 m² (1,4 m de ancho por 5 m de largo) y el estudio ocupó una superficie de 315 m². Las parcelas fueron separadas entre cada una de ellas por una distancia de 1,4 m. Toda la superficie experimental fue cercada con un deslinde al cerco de 3 m en contorno. Cada parcela se identificó individualmente el número de tratamiento correspondiente, seguido del número de la serie de tiempo según época de corte (Figura 10).

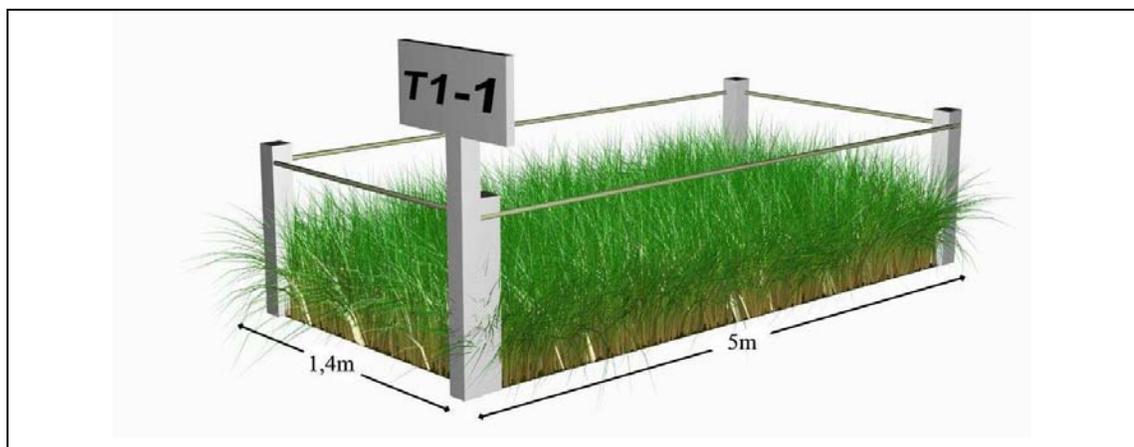


FIGURA 10 Superficie de las parcelas del ensayo y su identificación.

3.3 Evaluación del ensayo

Cada parcela de crecimiento de pradera fue evaluada directamente en su producción de materia seca total de la parte aérea durante períodos de crecimientos de tres semanas, concentración de N en el materia vegetal cosechado y un análisis químico del suelo medido quincenalmente. La composición botánica fue evaluada al inicio y final del experimento.

3.3.1 Corte de homogenización y cortes de cada tratamiento a través del tiempo.

Al principio se realizó un corte de homogenización para la primera parcela de cada tratamiento en la fecha 13 de mayo, luego se hizo el corte a la segunda parcela de cada tratamiento el 23 de mayo y finalmente el 31 de mayo para la tercera. De esta forma las parcelas (primera, segunda y tercera) de cada tratamiento de fertilización N, quedaban alternadas por una semana aproximadamente entre un corte y otro y tres semanas de intervalo para volver a cortar la misma parcela. Los cortes se realizaron con una segadora de césped manual autopropulsada (Bertolini modelo 406) con un dimensión de corte de 1,2 m de ancho y una altura de 5 cm. Además, se corregía con una tijera de césped manual lugares que la segadora no cortó adecuadamente a la altura deseada.

3.3.2 Muestras del material vegetal. El muestreo del material vegetal se realizó de acuerdo al método de Anslow, donde los cortes para cada tratamiento se realizan

semanalmente. La frecuencia semanal se obtiene difiriendo cortes a una serie de tres parcelas por tratamiento en cada bloque, las cuales fueron muestreadas alternadamente. Después de tres semanas del corte de homogeneización se cosechó la primera, luego a la semana siguiente se cosechó la segunda (diferida también tres semanas de su corte de homogeneización) y finalmente la tercera y, posteriormente se vuelve a cosechar la primera y así sucesivamente. De esta forma, se obtiene un período de crecimiento para cada parcela experimental de 3 semanas. Las fechas de muestreo de cada parcela en cada bloque se muestran en el Anexo 1. Después de la cosecha total de la parcela y cada muestra debidamente rotulada en bolsas plásticas se procedía a pesar el material vegetal fresco en una balanza electrónica (0,01 g), luego de ello se obtenían dos submuestras de dicho material para generar los datos de materia seca y concentración de N en el material cosechado.

3.3.3 Concentración de N en la biomasa aérea. Las submuestras del material cosechado, en cada período y por parcela, destinadas para el análisis de N, después de secadas a peso constante (60 °C) fueron molidas a un tamaño de un tamiz 1 mm en un molino de martillo de laboratorio Thomas - Willey modelo 4. El material molido fue analizado para determinar N total por el método micro-kjeldhal (SADZAWKA *et al.*, 2007). De esta forma, la concentración de N se evaluó durante las mismas fechas en que se determinó el crecimiento del material vegetal y la concentración de N obtenida representó el valor en períodos de tres semanas.

3.3.4 Muestreos quincenales de N mineral en el suelo. Estos se realizaron cada quince días, comenzando el día 8 de junio del 2006 y finalizando el 1 de octubre del mismo año (Anexo 2). Los valores correspondieron a muestras compuestas de seis submuestras de suelo al azar de 0 a 20 y 0 a 90 cm de profundidad. Solo se muestreó el N mineral desde el contorno de la superficie exterior al tratamiento control de cada bloque (0 kg N ha⁻¹), el cual presentaba vegetación que se cortaba al mismo tiempo que la parcela del tratamiento sin aplicación de N. El muestreo se realizó utilizando un barreno de 1 m de longitud.

Las muestras de suelo fueron tamizadas a 2 mm y secadas al aire. El N mineral se extractó con KCl 2M y la determinación de N mineral fue por arrastre de vapor de acuerdo al método de Bremner (SADZAWKA *et al.*, 2007)

3.3.5 Composición botánica. La evaluación de la composición botánica de la pradera se realizó usando el método de composición botánica por peso. Brevemente, éste consiste en usar un cuadrante de 0,2 x 0,2 m, cada 50 cm en un transecto horizontal (2 m). La pradera contenida en el cuadrante fue cortada con una tijera a ras de suelo y el material recogido llevado al laboratorio, donde se separaron en forma manual cada una de las especies pratenses. Las especies fueron secadas en un horno de aire forzado (60°C por 48 horas o hasta que alcanzaron peso constante) y registrado el peso de la materia seca por especie y total de la muestra en una balanza digital con precisión de 0,01 g. Los resultados de la composición botánica fueron expresados en porcentaje.

La composición botánica inicial (13 de mayo) fue obtenida en forma totalmente al azar en sector que circunscribe el ensayo, con 5 transectos horizontales (25 cuadrantes). La composición botánica final se determinó en ambas repeticiones para cada tratamiento de acuerdo a la serie de corte en que correspondió el último muestreo del ensayo (16 de septiembre, 24 de septiembre y 1 de octubre). En cada parcela se realizó un transecto de 2 m. Los valores determinados en base a peso se estimaron promediando la composición botánica presente en las tres parcelas de cada tratamiento de cada bloque.

3.4 Variables derivadas

Las variables derivadas corresponden generalmente a aquellas que se determinan a partir de las variables de medición directa. Las variables derivadas fueron: tasa de crecimiento, derivación de la tasa de crecimiento diaria según Anslow, extracción de N en períodos de tres semanas, disponibilidad de N mineral del suelo durante períodos de tres semanas, disponibilidad de N mineral del suelo más adición de fertilizante durante

períodos de tres semanas, eficiencia de absorción de N durante período invernal evaluado y variables climáticas expresadas en períodos de tres semanas.

3.4.1 Tasa de crecimiento. La tasa de crecimiento de cada tratamiento por períodos de tres semanas se estimó a través de la producción de materia seca acumulada en el período, dividida por los días en que fue producida. Esta tasa de crecimiento corresponde a un valor promedio del crecimiento diario experimentado por de las especies constituyentes de la pradera y no representa la situación real de crecimiento diario, debido a la curva de crecimiento sigmoidea que caracteriza el crecimiento de especies pratenses, luego de una defoliación.

3.4.2 Derivación de la tasa de crecimiento diaria. La derivación de la tasa de crecimiento diario se realizó de acuerdo a ANSLOW y GREEN (1967). Esta tasa se obtiene a través de la superposición de las tasas diarias obtenidas en períodos de tres semanas para cada tratamiento. Un esquema de cálculo de acuerdo a la metodología de Anslow se muestra en la Figura 11.

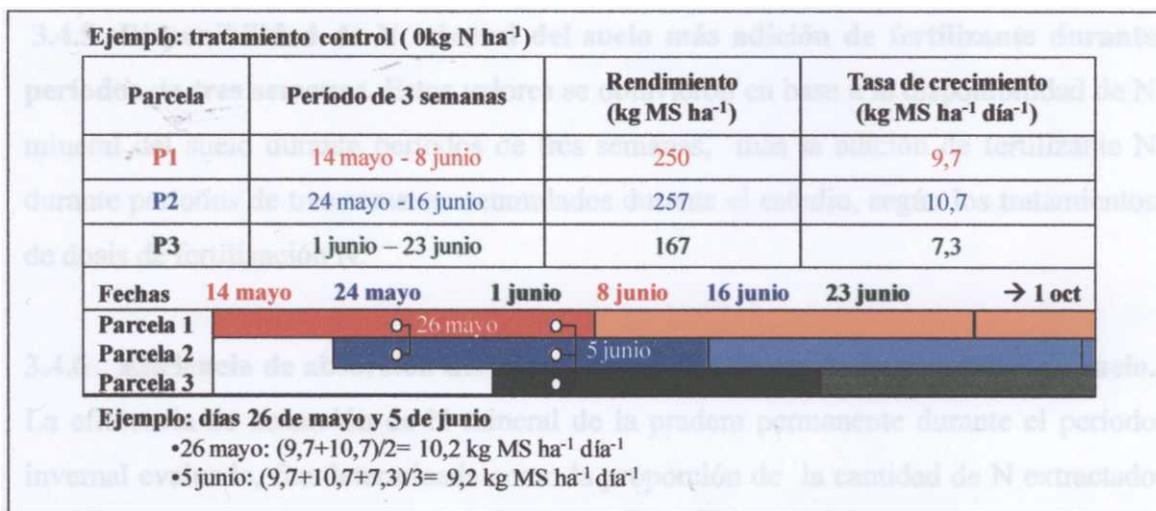


FIGURA 11 Esquema de cálculo de la tasa de crecimiento de acuerdo a la metodología de Anslow (ANSLOW y GREEN, 1967).

3.4.3 Extracción de N en períodos de tres semanas. La extracción de N se estimó multiplicando la producción de materia seca obtenida en períodos de tres semanas por la concentración de N de la biomasa aérea correspondiente al mismo período de tres semanas.

3.4.4 Disponibilidad de N mineral del suelo durante períodos de tres semanas. Se determinó la cantidad de N mineral presente entre dos muestreos de N mineral consecutivos. Esto es, restando el N mineral presente en el muestreo dos del N mineral presente en el muestreo anterior. Este valor positivo o negativo, se dividió por dos para obtener el incremento o decrecimiento del N mineral semanal. Este valor semanal fue promediado con los valores correspondientes a períodos semanales durante cada tres semanas. Los valores promedios de cada tres semanas de presencia de N mineral se relacionaron con la extracción correspondiente al mismo período de tres semanas en el tratamiento control. De esta forma, el N mineral que estuvo presente correspondió al delta de N mineral entre muestreos más la extracción de la pradera en el período de tres semanas.

3.4.5 Disponibilidad de N mineral del suelo más adición de fertilizante durante períodos de tres semanas. Estos valores se obtuvieron en base a la disponibilidad de N mineral del suelo durante períodos de tres semanas, más la adición de fertilizante N durante períodos de tres semanas acumulados durante el estudio, según los tratamientos de dosis de fertilización N.

3.4.6 Eficiencia de absorción del N presente hasta 90 cm de profundidad de suelo. La eficiencia de absorción de N mineral de la pradera permanente durante el período invernal evaluado, fue determinada como la proporción de la cantidad de N extractado en relación a la disponibilidad de N total del suelo (suministro N+ extracción N tratamiento control + fertilizante). La cantidad de N mineral extractado durante toda la época invernal para cada tratamiento, se determinó sumando los valores de extracción de N de los períodos de crecimiento de tres semanas en cada una de las tres parcelas.

Después, estos tres valores acumulados (tres parcelas) en cada tratamiento eran promediados, donde se obtenía la cantidad de N mineral extractado durante la época invernal evaluada. La disponibilidad de N mineral se estimó, promediando los valores de suministro de N nativo durante los períodos de crecimiento de tres semanas (derivado del suministro quincenal) en cada una de las tres parcelas en su tratamiento correspondiente. Además, se le adicionó el N mineral extractado por el tratamiento control, el cual fue acumulado en cada una de tres parcelas. Del mismo modo, se adicionó en los tratamientos de fertilización N, las cantidades N mineral acumuladas aportadas por fertilizante N, en cada una de las parcelas. Finalmente, estos valores acumulados (suministro N nativo del suelo + extracción N tratamiento control + fertilizante N) de las tres parcelas en cada tratamiento eran promediados obteniendo la disponibilidad de N total durante época invernal evaluada en los tratamientos correspondientes.

La eficiencia de recuperación evidente de la fertilización de N (ERE) fue determinada por la siguiente ecuación:

$$(1) \quad ERE = \frac{(N_f - N_i)}{N_n} \times 100$$

Donde:

N_f : Extracción de N acumulada en la biomasa aérea en los tratamientos de fertilización N (kg).

N_i : Extracción de N acumulada en la biomasa aérea en el tratamiento no fertilizado (kg).

N_n : Cantidad de N acumulado del N aplicado (kg).

3.4.7 Variables climáticas expresadas en períodos de tres semanas. Se estimó los valores promedio de la temperatura media y la radiación global, en períodos de tres semanas de crecimiento de la pradera, a partir de sus valores promedios diarios en el período considerado. La precipitación de los períodos de tres semanas correspondió a la

precipitación diaria acumulada en los mismos períodos de tres semanas correspondientes.

3.5 Análisis estadístico. Los resultados obtenidos fueron analizados por medio de un análisis de varianza (ANDEVA). En los casos que hubo diferencias significativas entre los tratamientos se procedía a analizarlos a través de la prueba de diferencias de medias de Tukey con un 95% de nivel de confianza.

Los análisis estadísticos fueron realizados con el programa computacional estadístico SPSS 15.0 para Windows.

4. PRESENTACION Y DISCUSION DE RESULTADOS

4.1 Rendimiento de materia seca durante el período invernal de evaluación

Los resultados del rendimiento de materia seca de la pradera evaluada se presentan en el Cuadro 4 y corresponden a la producción de materia seca registrada durante los períodos de crecimiento de tres semanas. Así, se muestra el crecimiento de la pradera, durante la época invernal evaluada, desde el 14 de mayo hasta el 1 de octubre del 2006. Además, se entregan datos para inferir resultados de la estación invernal astrológica (21 de junio al 21 de septiembre).

El análisis estadístico no detectó interacciones entre los tratamientos de fertilización N y sus repeticiones, para los valores del rendimiento de la pradera en períodos de tres semanas de crecimiento (Anexos 3, 4 y 5). El rendimiento de la pradera estuvo afectado significativamente ($p < 0,05$) por los tratamientos de fertilización N. Se detectaron diferencias significativas en el promedio general del período evaluado (14 de mayo hasta el 1 de octubre). Estas diferencias significativas fueron entre el tratamiento control sin aplicación de N y los tratamientos que recibieron aplicaciones de fertilización de 25 y 50 kg N ha⁻¹, después de cada corte, los cuales no difirieron entre sí (Cuadro 4).

La producción promedio de crecimiento durante la época invernal evaluada cada tres semanas en el tratamiento sin aplicación de N, fue de alrededor 150 kg MS ha⁻¹ (Cuadro 4). Este valor se incrementó por 2,5 veces (250%) cuando se aplicó 50 kg N ha⁻¹ después de cada corte y, aumentó 1,9 veces (190%) con la aplicación de 25 kg N ha⁻¹ después de cada corte.

Un análisis detallado del crecimiento de la pradera cada tres semanas, muestra que al inicio de la época invernal evaluada, desde el 14 de mayo al 7 de julio, no se

detectaron diferencias significativas, entre los tres tratamientos en la producción de materia seca (Cuadro 4). Sin embargo, se observó que desde el inicio de los tratamientos, la pradera comenzó a mostrar una respuesta a la fertilización N en rendimiento, que se transformó en diferencias estadísticas consistentes, a partir del muestreo del 24 de junio hasta la evaluación final el 1 de octubre, diferenciando el tratamiento control de los tratamientos con fertilización N. Además, a partir del 20 de agosto se observaron diferencias significativas en tres niveles de fertilización N. Esto es, entre el tratamiento control y los tratamientos de fertilización N y entre ambos tratamientos de fertilización N.

Estos resultados muestran que el crecimiento de la pradera pudo estar limitado por el nivel de suministro de N del suelo en las condiciones de crecimiento invernal evaluadas. Debe considerarse que la respuesta a la fertilización N, depende de cambios en la composición botánica (aumento de gramíneas), del aumento en los carbohidratos de reserva de las especies componentes de la pradera en cada período de crecimiento (WHITEHEAD, 1995) y de los cambios en la dinámica del suministro de N del suelo, donde deben considerarse las pérdidas del N mineral por lixiviación, desnitrificación de nitratos y/o una baja tasa de mineralización. Para ello, se discutirá en los acápites 4.6 y 4.7, la variación en el contenido de N mineral en el suelo, durante todo el período de crecimiento de la pradera y la tasa de extracción de N de la pradera, además de evaluar los cambios en la composición botánica de la pradera al inicio y al final de la evaluación del crecimiento invernal.

El valor mínimo de crecimiento, para un período de tres semanas, fue entre el 29 de julio al 19 de agosto y fue el mismo en todos los tratamientos. Este resultado, sugiere que fueron las condiciones climáticas las determinantes del bajo crecimiento de la pradera en este período. Sin embargo, el valor mínimo fue diferente dependiendo del tratamiento de fertilización N. El control, sin aplicación de nitrógeno, obtuvo una producción mínima de 33 kg MS ha^{-1} , que difirió estadísticamente del tratamiento con la dosis de 50 kg N ha^{-1} después de cada corte, quedando la dosis de 25 kg N ha^{-1} después

de cada corte, en una situación intermedia. El valor de crecimiento en este período fue 3,6 veces mayor cuando se aplicó dosis de 50 kg N ha⁻¹ después de cada corte y 2,0 veces superior con la dosis de 25 kg N ha⁻¹ después de cada corte.

CUADRO 4 Productividad de materia seca en períodos de crecimiento de tres semanas, en distintos niveles de fertilización N.

Período de crecimiento		Rendimiento (kg MS ha ⁻¹ período ⁻¹)		
Inicio	Término	Fertilización N (kg N ha ⁻¹ corte ⁻¹)		
		0	25	50
14 mayo	08 junio	250,5 ± 21,0 a	308,8 ± 63,0 a	368,8 ± 134,7 a
24 mayo	16 junio	256,5 ± 2,7 a	265,7 ± 6,5 a	317,9 ± 33,6 a
01 junio	23 junio	166,9 ± 19,4 a	259,2 ± 71,4 a	280,8 ± 8,4 a
09 junio	30 junio	143,6 ± 2,8 a	225,9 ± 22,8 a	251,2 ± 51,8 a
17 junio	07 julio	130,7 ± 4,0 a	195,0 ± 25,1 a	230,1 ± 38,0 a
24 junio	14 julio	148,8 ± 0,1 a	219,3 ± 16,0 b	255,3 ± 11,0 b
01 julio	21 julio	111,0 ± 4,7 a	221,6 ± 51,4 a	230,5 ± 52,9 a
08 julio	28 julio	67,9 ± 8,0 a	104,0 ± 26,5 ab	136,5 ± 0,8 b
15 julio	04 agosto	52,0 ± 12,2 a	91,8 ± 2,5 b	121,4 ± 3,6 b
22 julio	11 agosto	48,5 ± 0,6 a	143,2 ± 13,8 b	192,2 ± 13,4 b
29 julio	19 agosto	33,1 ± 4,3 a	67,1 ± 11,1 a	118,2 ± 8,7 b
05 agosto	26 agosto	66,5 ± 11,1 a	150,7 ± 12,2 ab	219,0 ± 32,4 b
12 agosto	02 septiembre	104,5 ± 5,3 a	234,3 ± 18,8 b	273,9 ± 14,9 b
20 agosto	12 septiembre	124,5 ± 20,2 a	295,9 ± 33,0 b	469,0 ± 43,7 c
27 agosto	16 septiembre	110,6 ± 19,0 a	417,3 ± 60,8 b	696,6 ± 6,9 c
03 septiembre	24 septiembre	314,1 ± 68,5 a	734,1 ± 36,9 b	965,9 ± 31,4 c
13 septiembre	01 octubre	386,1 ± 15,1 a	897,0 ± 112,4ab	1295,4 ± 237,8 b
Promedio general por período de tres semanas		148,0 ± 98,9 a	284,2 ± 218,9 b	377,8 ± 320,1 b

Valores seguidos de distinta letra en la fila indican que existe significancia (p<0,05; Tukey).

Los valores máximos de rendimiento de materia seca se determinaron en el último muestreo del ensayo (13 de septiembre al 1 de octubre) en todos los tratamientos, alcanzando el tratamiento control valores de 386 kg MS ha⁻¹, manteniéndose la supremacía de duplicación (2,3 veces) o triplicación del crecimiento (3,4 veces) con la aplicación de 25 y 50 kg N ha⁻¹ después de cada corte, respectivamente. Este resultado muestra que el período invernal ha terminado y que las condiciones climáticas más adecuadas de la primavera para el crecimiento de la pradera ya estaban establecidas.

En el objetivo de este trabajo no se contempló evaluar la correcta dosificación del N, sino determinar el efecto de distintos niveles de disponibilidad de N en el crecimiento de la pradera en el período invernal, tal que N no sea un factor limitante del crecimiento potencial de la pradera. De esta forma, estos resultados deben ser interpretados en función de un suministro deficiente hasta un suministro suficiente o incluso excesivo, para el crecimiento de la pradera. Así, la respuesta a la fertilización N se interpretó como indicativa de un suministro del N nativo del suelo deficiente, para el crecimiento potencial de la pradera bajo las condiciones de invierno, en las condiciones de evaluación de este experimento.

En la literatura nacional revisada no se encontraron evaluaciones de rendimiento de praderas perennes naturalizadas durante períodos de crecimiento de tres semanas en la época invernal. Sin embargo, existen evaluaciones del crecimiento invernal de praderas en períodos similares, bajo un solo corte en períodos mayores y de crecimiento acumulado por 12 a 16 semanas. Así, en praderas perennes naturalizadas con fertilización en Valdivia, para el crecimiento de junio a septiembre (MORALES, 2000; CARDENAS, 2002) se determinaron rendimientos para el período de 958 y 838 kg MS ha⁻¹, respectivamente. Estos valores son equivalentes a 272 y 242 kg MS ha⁻¹ expresados en períodos de tres semanas. Al comparar estos valores con este experimento, se muestra que fueron similares al tratamiento de 25 kg N ha⁻¹ después de cada corte, que presentó en este experimento un valor promedio del período de 284 kg MS ha⁻¹. La comparación del tratamiento control sin fertilización N de este experimento

con respecto al control sin fertilización de MORALES (2000) y CARDENAS (2002) mostró que se obtuvieron valores superiores a los reportados por esos autores. En el presente experimento fue de 148 kg ha^{-1} en un período de tres semanas. En tanto, el experimento de los autores citados fue de 118 y 70 kg MS ha^{-1} , en períodos equivalentes. Esta discrepancia puede ser debida a que los tratamientos controles no son completamente comparables. En los experimentos de los autores citados, hubo diferencias en factores de manejo con respecto al experimento realizado. Por ejemplo, el manejo en los experimentos citados fue bajo pastoreo por bovinos, mientras que el presente experimento, el manejo fue de corte a través de una máquina segadora. Además, el presente experimento fue manejado para solo ser deficiente de N en el control, en tanto los experimentos comparativos, la pradera perenne manejada sin fertilización, no recibió fertilización basal, es decir ningún otro nutriente. Ambos experimentos citados no presentaron deficiencias en potasio. Sin embargo, fósforo fue ligeramente deficiente en el estudio de MORALES (2000) (11 ppm P-Olsen), mientras que en el estudio de CARDENAS (2002), el nivel de P fue mayor al usualmente requerido para la productividad de praderas en el agroecosistema de Valdivia (15 ppm P-Olsen). Sin embargo, hay que tener presente otros factores en los experimentos de los autores citados. En estos experimentos se presentó una diferente contribución de especies de alto valor forrajero y, además, diferentes condiciones climáticas invernales entre un año y otro.

4.2 Estimación de la tasa de crecimiento de la pradera durante el período evaluado

En base a los datos de producción de materia seca por períodos de tres semanas se estimó la tasa de crecimiento diaria de la pradera. Para ello, se dividió el crecimiento obtenido en cada período de tres semanas (Cuadro 4) por el número de días entre evaluación. Los resultados se muestran en el Cuadro 5.

Durante el período invernal evaluado se establecieron diferencias significativas en los promedios entre el tratamiento control y los tratamientos que recibieron dosis de

N de 25 y 50 kg N ha⁻¹ después de cada corte. El promedio general de la tasa de crecimiento sin aplicación de N fue de aproximadamente 7 kg MS ha⁻¹ día⁻¹. Este valor fue superado por más de 6 kg MS ha⁻¹ día⁻¹ (13 kg MS ha⁻¹ día⁻¹) cuando se aplicó una dosis de 25 kg N ha⁻¹ después de cada corte y por más de 10 kg MS ha⁻¹ día⁻¹ (17 kg MS ha⁻¹ día⁻¹) con una dosis de 50 kg N ha⁻¹, después de cada corte. El hecho de que el promedio general de la tasa de crecimiento diaria estimada para los tratamientos que recibieron dosis de N superaran ampliamente promedio general de la tasa de crecimiento del tratamiento control, es indicativo de la existencia de un probable déficit del suministro de N para el tratamiento control, lo que habría afectado la tasa de crecimiento potencial invernal de la pradera perenne. En el ensayo de MORALES (2000), se presentan valores similares al tratamiento de dosis de 25 kg N ha⁻¹ después de cada corte, quien obtuvo 13,0 kg MS ha⁻¹ día⁻¹ en una pradera perenne naturalizada con fertilización, durante el período de junio a septiembre en la zona de Valdivia. El mismo autor menciona que en una pradera perenne naturalizada sin adición de fertilizantes bajo las mismas condiciones la tasa de crecimiento diaria fue de 5,6 kg MS ha⁻¹, asemejándose bastante al promedio general de la tasa de crecimiento del tratamiento control, quien recibió una completa fertilización a excepción de N. Generalmente, esto muestra que la tasa de crecimiento diaria del tratamiento control se vio afectada por una baja disponibilidad N, llegando a ser similar a una pradera sin fertilización y disminuyendo su potencial de crecimiento durante la época invernal.

El comportamiento de la tasa de crecimiento a través del tiempo es mayor para los tratamientos que recibieron dosis de N, manteniéndose siempre sobre el control. No obstante, todos siguen una trayectoria similar, donde inicialmente la tasa de crecimiento empieza a descender lentamente hasta mediados de agosto (29 de julio al 19 agosto) para que luego inicie un aumento continuamente hasta llegar a su máximo valor al término del ensayo. En la Figura 12 se muestra el valor de la tasa de crecimiento semanal correspondiente al crecimiento de los períodos de tres semanas, registrado en cada parcela desplazada en el tiempo, por cada tratamiento de nivel de fertilización N. En el Anexo 6 se muestra, en cada tratamiento, la distribución de cada uno de los

valores promedio de la tasa de crecimiento, de sus respectivos períodos de crecimiento, durante la época invernal evaluada.

CUADRO 5 Estimación de la tasa de crecimiento en períodos de crecimiento de tres semanas, en distintos niveles de fertilización N.

Período de crecimiento		Tasa de crecimiento (kg MS ha ⁻¹ día ⁻¹ período ⁻¹)		
Inicio	Término	Fertilización N (kg N ha ⁻¹ corte ⁻¹)		
		0	25	50
14 mayo	08 junio	9,6 ± 0,8 a	11,9 ± 2,4 a	14,2 ± 5,2 a
24 mayo	16 junio	10,7 ± 0,1 a	11,1 ± 0,3 a	13,3 ± 1,4 a
01 junio	23 junio	7,3 ± 0,9 a	11,3 ± 3,1 a	12,2 ± 0,4 a
09 junio	30 junio	6,5 ± 0,1 a	10,3 ± 1,0 a	11,4 ± 2,4 a
17 junio	07 julio	6,2 ± 0,2 a	9,3 ± 1,2 a	11,0 ± 1,8 a
24 junio	14 julio	7,1 ± 0,0 a	10,4 ± 0,8 b	12,2 ± 0,5 b
01 julio	21 julio	5,3 ± 0,2 a	10,6 ± 2,5 a	11,0 ± 2,5 a
08 julio	28 julio	3,2 ± 0,4 a	5,0 ± 1,3 ab	6,5 ± 0,1 b
15 julio	04 agosto	2,5 ± 0,6 a	4,4 ± 0,1 b	5,8 ± 0,2 b
22 julio	11 agosto	2,3 ± 0,1 a	6,8 ± 0,7 b	9,2 ± 0,8 b
29 julio	19 agosto	1,5 ± 0,2 a	3,1 ± 0,5 a	5,4 ± 0,4 b
05 agosto	26 agosto	3,0 ± 0,5 a	6,9 ± 0,6 ab	10,0 ± 1,5 b
12 agosto	02 septiembre	4,8 ± 0,2 a	10,7 ± 0,9 b	12,5 ± 0,7 b
20 agosto	12 septiembre	5,2 ± 0,8 a	12,3 ± 1,4 b	19,5 ± 1,8 c
27 agosto	16 septiembre	5,3 ± 0,9 a	19,9 ± 2,9 b	33,2 ± 0,3 c
03 septiembre	24 septiembre	14,3 ± 3,1 a	33,4 ± 1,7 b	43,9 ± 1,4 c
13 septiembre	01 octubre	20,3 ± 0,8 a	47,2 ± 5,9 ab	68,2 ± 12,5 b
Promedio general por período de tres semanas		6,8 ± 4,8 a	13,2 ± 11,1 b	17,6 ± 16,3 b

Valores seguidos de distinta letra en la fila indican que existe significancia ($p < 0,05$; Tukey).

La tasa de crecimiento mínima estimada para cada tratamiento se obtuvo durante el período del 29 de julio al 19 de agosto, donde el valor más bajo se presentó en el

tratamiento que no recibió dosis de N con $1,5 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$. Este valor se duplicó cuando se aplicó una dosis de $25 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ después de cada corte y aumentó en 3,5 veces con una dosis de $50 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ después de cada corte.

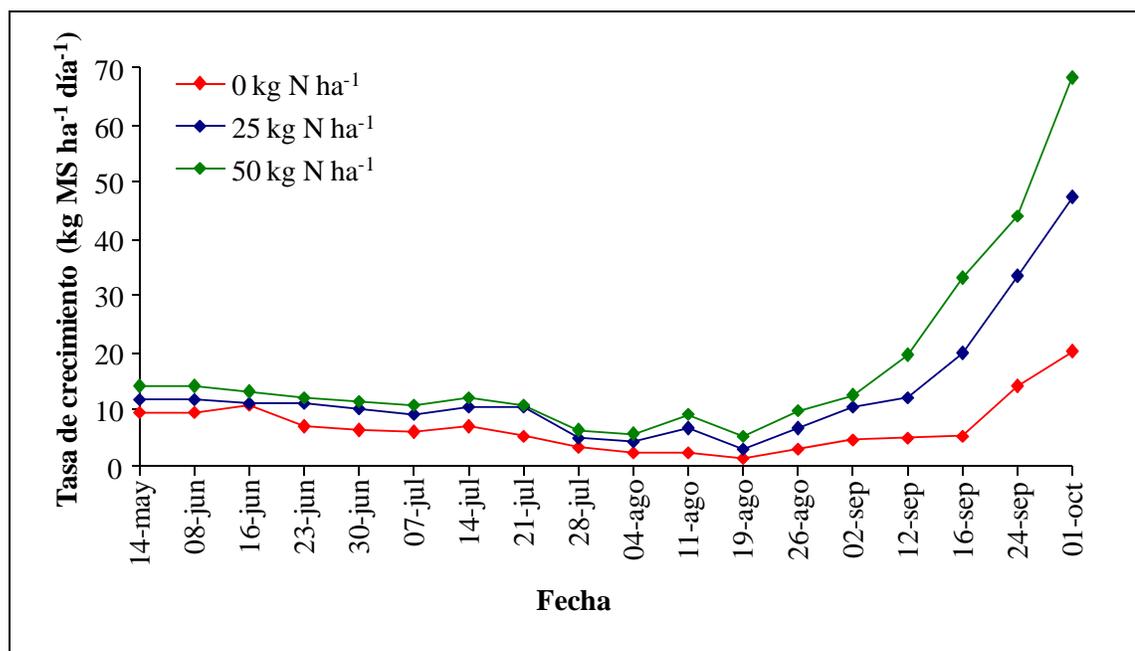


FIGURA 12 Efectos de los distintos niveles de fertilización N sobre la tasa de crecimiento en la fecha de término de los períodos de crecimiento de tres semanas, durante la época invernal evaluada.

La tasa de crecimiento máxima estimada en cada uno de los tratamientos se alcanzó durante el último período del ensayo (13 septiembre al 1 de octubre), donde el tratamiento en que se le adicionó 50 kg N ha^{-1} después de cada corte presentó la tasa de crecimiento máxima con aproximadamente $68 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$, superando en $20 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ cuando se redujo la dosis N a la mitad, y de $47 \text{ kg MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$ cuando no se aplicó ninguna dosis de N fertilizante.

4.3 Evaluación de los cambios en la composición botánica

La composición botánica fue evaluada al inicio y al término del estudio, midiendo por peso la contribución relativa de las especies. Además se estimó la producción de materia seca de cada especie al término de ensayo.

4.3.1 Contribución relativa de las especies. Esta se expresó como porcentaje de contribución de materia seca de cada especie. Al comparar estos valores, se evalúa los cambios en la contribución de las especies, producto de variables ambientales y a los distintos tratamientos de suministro de N, a las cuales la pradera estuvo sometida.

Para todos los tratamientos se consideró la misma contribución relativa inicial: 67% de gramíneas, 25 % de especies de hoja ancha y un 8 % de leguminosas. En el caso de las gramíneas, las especies de mayor contribución fueron *Lolium perenne* (17%), *Bromus valdivianus* (13%) y *Holcus lanatus* (12%); mientras que en las leguminosas fue *Trifolium repens* (6%), (Cuadro 6).

CUADRO 6 Efectos de los distintos niveles de fertilización N sobre la contribución relativa de las especies a inicios y al final de la evaluación invernal.

Fertilización N (kg N ha ⁻¹ corte ⁻¹)	Especies	Inicial (%)	Final (%)
0	Gramíneas	67,3 a	64,3 a
	Leguminosas	8,1 a	5,8 a
	Hoja ancha	24,6 a	29,8 b
25	Gramíneas	67,3 a	75,3 b
	Leguminosas	8,1 b	2,2 a
	Hojas anchas	24,6 a	22,5 a
50	Gramíneas	67,3 a	77,3 b
	Leguminosas	8,1 b	1,9 a
	Hojas anchas	24,6 a	20,7 a

Valores seguidos de distinta letra en la fila indican que existe significancia ($p < 0,05$; Tukey).

En la evaluación al final del estudio, en el tratamiento que no recibió N (control) se determinaron diferencias entre las especies presentes al inicio y al término del ensayo (Cuadro 6). La presencia de las gramíneas disminuyó de 67% (inicial) a 64% (final), sin ser estadísticamente diferente. Una situación similar fue detectada en leguminosas, que decayeron de 8% a 6%, sin diferencias estadísticas. Sin embargo, las especies de hoja ancha incrementaron su contribución relativa en 5 unidades porcentuales, llegando al término del ensayo a un 30%, diferencia que fue estadísticamente significativa. Las condiciones del tratamiento afectaron la presencia de especies de hoja ancha, quienes aumentaron en condiciones de no adición de N, óptima nutrición de otros elementos nutritivos, condiciones climáticas invernales y alta intensidad de desfoliación.

Por su parte, los tratamientos que se fertilizaron con N, incrementaron su contenido de gramíneas en desmedro de la contribución relativa de las leguminosas y de las especies de hoja ancha. Así, al término del ensayo el tratamiento con una dosis de 25 kg N ha⁻¹ después de cada corte, aumentó en 8 unidades porcentuales las gramíneas, mientras que las leguminosas y las especies de hoja ancha disminuyeron en 5,9 y 2,1 unidades porcentuales, respectivamente (Cuadro 6). Similar efecto fue observado con la dosis de 50 kg N ha⁻¹ después de cada corte, donde las gramíneas incrementaron su presencia en 10 unidades porcentuales mientras que las leguminosas y las especies de hoja ancha se redujeron en 6,2 y 3,9 unidades porcentuales, respectivamente. Ambos tratamientos con fertilización N mostraron diferencias significativas en la contribución de las gramíneas y leguminosas al inicio y al final del ensayo. Sin embargo, en los dos tratamientos, las especies de hoja ancha iniciales no presentaron diferencias significativas con respecto a las finales. Esto indica que la fertilización de N aumentó la proporción de gramíneas, sugiriendo que estas presentaron respuesta a la fertilización N en producción de materia seca. Por su parte, la disminución relativa de la contribución de las leguminosas y las especies de hoja ancha, se debería parcialmente al menos, al incremento de la biomasa de gramíneas. PINOCHET *et al.* (2000) señalan, que las gramíneas presentan una mayor eficiencia de uso de los nutrientes disponibles, lo que las hace fuertes competidoras en mezclas con otras especies. Por su parte, WHITEHEAD

(1995) muestra evidencias de que las gramíneas poseen su mayor respuesta de competencia en altas dosis de fertilización N, aumentando considerablemente la contribución de estas especies en mezclas con otras.

En el Anexo 7 se detalla la contribución de cada especie en las gramíneas, leguminosas y hojas ancha al término de la evaluación.

Evaluando comparativamente los tratamientos al término del ensayo (Cuadro 7), se determinó diferencias significativas en la contribución de especies (gramíneas, leguminosas y hojas anchas) entre el tratamiento control y los tratamientos que recibieron dosis de N. Los tratamientos que recibieron dosis de N, presentaron una mayor contribución de las gramíneas y una menor contribución en las especies de hojas anchas y leguminosas, con respecto al tratamiento control sin fertilización N.

CUADRO 7 Efectos de los distintos niveles de fertilización N sobre la contribución relativa de las especies al término de la evaluación invernal.

Especies	Contribución de especies (%)		
	Fertilización N (kg N ha ⁻¹ corte ⁻¹)		
	0	25	50
Gramíneas	64,3 ± 0,4 a	75,3 ± 0,5 b	77,3 ± 2,2 b
Leguminosas	5,8 ± 1,2 b	2,2 ± 0,2 a	1,9 ± 0,4 a
Hoja ancha	29,8 ± 1,2 b	22,5 ± 0,2 a	20,7 ± 1,9 a

Valores seguidos de distinta letra en la fila indican que existe significancia (p<0,05; Tukey).

4.3.2 Producción de materia seca por especie. Esta variable se determinó en cada tratamiento solo al término del ensayo, ya que no se tenían los registros del período de crecimiento del material vegetal muestreado a inicios de la evaluación, y por consiguiente no se podían relacionar dichos valores (iniciales y finales).

La producción de materia seca de las gramíneas presentó diferencias significativas entre el tratamiento control (sin aplicación de N) y los tratamientos que recibieron dosis N (25 y 50 kg N ha⁻¹ después de cada corte). Sin embargo, en los tratamientos donde hubo aplicación de 25 y 50 kg N ha⁻¹ después de cada corte, no se detectaron diferencias significativas. El Cuadro 8, muestra que el tratamiento que no recibió dosis de N (control), obtuvo la menor productividad de materia seca en las gramíneas con 1200 kg MS ha⁻¹. Este valor fue 1,4 veces superior cuando se aplicó una dosis de N de 25 kg N ha⁻¹ después de cada corte y de 1,6 veces superior cuando se aplicó una dosis de 50 kg N ha⁻¹ después de cada corte. Estos valores indican que las gramíneas aumentaron notoriamente su producción, al ser sometidas a dosis altas de N. Romero (1986) mencionado por DE LA MAZA (1989), señala que las gramíneas responden positivamente a la fertilización de N, adjudicando esta mayor respuesta a una mayor eficiencia interna de estas especies en el uso de carbono y de N, permitiéndole alcanzar productividades mayores que otras especies para cantidades de recursos similares.

CUADRO 8 Efectos de los distintos niveles de fertilización N sobre la producción de materia seca de las especies al término de la evaluación invernal.

Especies	Producción por especies (kg MS ha ⁻¹)		
	Fertilización N (kg N ha ⁻¹ corte ⁻¹)		
	0	25	50
Gramíneas	1196,8 ± 21,6 a	1671,2 ± 97,2 b	1850,7 ± 53,0 b
Leguminosas	108,6 ± 24,1 a	48,5 ± 2,9 a	46,5 ± 9,5 a
Hoja ancha	555,3 ± 12,2 a	499,4 ± 21,2 a	495,6 ± 45,6 a

Valores seguidos de distinta letra en la fila indican que existe significancia ($p < 0,05$; Tukey).

La producción de materia seca de las leguminosas no detectaron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre los tratamientos (Cuadro 8). Sin embargo, el tratamiento que no recibió dosis de N obtuvo una producción de leguminosas de 110 kg MS ha⁻¹, sobrepasando respectivamente en 60 y 62 kg de MS ha⁻¹ a los tratamientos que

recibieron dosis de 25 y 50 kg N ha⁻¹ después de cada corte. Estos resultados muestran que con una alta adición de N, existió una reducción en la producción de leguminosas, que no pudo ser detectada estadísticamente.

Por otra parte la producción de materia seca de las especies de hoja ancha (Cuadro 8) no mostró diferencias significativas entre los tratamientos. Los valores fluctuaron entre los 550 y 500 kg MS ha⁻¹, para todos los tratamientos.

Estos resultados muestran que tanto la contribución (Cuadro 7) como la producción (Cuadro 8) de las gramíneas al término del ensayo estuvieron influidas directamente por las dosis de N aplicadas, presentándose diferencias significativas entre el tratamiento control y los tratamientos que recibieron dosis de N. Por su parte, las leguminosas y las especies de hoja ancha, difirieron en los efectos sobre la contribución relativa y la biomasa producida. Se detectaron diferencias significativas en el tratamiento control y los tratamientos que recibieron dosis de N, en ambos grupos de especies en contribución relativa mientras que en producción no se detectaron diferencias significativas entre los tratamientos. Estos resultados muestran que las especies de hoja ancha y las leguminosas se vieron solo levemente afectadas por las dosis de N, ya que el aumento en la proporción de las gramíneas, es mayoritariamente explicado por un aumento en la biomasa producida de éstas.

4.4 Concentración N en los tejidos cosechados

La concentración de N se determinó en la parte de la biomasa aérea cosechada y se expresó como porcentaje de N en relación a la materia seca producida. Cada valor fue obtenido durante los mismos períodos de crecimientos de tres semanas, en que se obtuvieron los datos de rendimiento.

La concentración de N en la biomasa aérea, en los tratamientos que recibieron dosis de 25 y 50 kg N ha⁻¹ después de cada corte, no presentaron diferencias significativas en el promedio ponderado de todo el período invernal evaluado,

obteniéndose valores de 2,9 y 3,1% de N, respectivamente. Por su parte, el tratamiento control presentó una concentración de de N de un 2,0% como promedio ponderado, mostrando diferencias significativas con respecto a los tratamientos que recibieron dosis de fertilización N.

CUADRO 9 Concentración de N en la biomasa aérea cosechada en períodos de tres semanas, en distintos niveles de fertilización N

Período de crecimiento		Concentración de N (%)		
Inicio	Término	Fertilización (kg N ha ⁻¹ corte ⁻¹)		
		0	25	50
14 mayo	08 junio	2,12 ± 0,1 a	2,41 ± 0,0 a	2,25 ± 0,1 a
24 mayo	16 junio	1,99 ± 0,1 a	2,24 ± 0,2 a	2,14 ± 0,1 a
01 junio	23 junio	1,92 ± 0,1 a	2,20 ± 0,2 a	2,30 ± 0,2 a
09 junio	30 junio	1,89 ± 0,1 a	2,78 ± 0,1 b	3,10 ± 0,1 b
17 junio	07 julio	1,68 ± 0,1 a	2,73 ± 0,1 b	2,92 ± 0,1 b
24 junio	14 julio	1,64 ± 0,0 a	2,53 ± 0,1 b	2,99 ± 0,1 c
01 julio	21 julio	1,71 ± 0,1 a	2,90 ± 0,2 b	2,84 ± 0,1 b
08 julio	28 julio	1,69 ± 0,1 a	2,89 ± 0,1 b	3,03 ± 0,2 b
15 julio	04 agosto	1,66 ± 0,0 a	2,85 ± 0,0 b	3,26 ± 0,2 b
22 julio	11 agosto	1,77 ± 0,1 a	2,81 ± 0,0 b	2,91 ± 0,0 b
29 julio	19 agosto	1,91 ± 0,1 a	2,90 ± 0,2 b	3,17 ± 0,2 b
05 agosto	26 agosto	1,88 ± 0,1 a	2,74 ± 0,0 b	2,96 ± 0,1 b
12 agosto	02 septiembre	1,92 ± 0,1 a	2,86 ± 0,1 b	3,06 ± 0,1 b
20 agosto	12 septiembre	1,82 ± 0,0 a	2,90 ± 0,1 b	3,25 ± 0,2 b
27 agosto	16 septiembre	2,05 ± 0,2 a	3,06 ± 0,2 b	3,22 ± 0,1 b
03 septiembre	24 septiembre	2,18 ± 0,0 a	3,17 ± 0,1 b	3,35 ± 0,0 b
13 septiembre	01 octubre	2,28 ± 0,2 a	3,20 ± 0,1 b	3,40 ± 0,1 b
Promedio ponderado por período de tres semanas		2,00 ± 0,2 a	2,88 ± 0,3 b	3,08 ± 0,4 b

Valores seguidos de distinta letra en la fila indican que existe significancia ($p < 0,05$; Tukey).

En el Cuadro 9, se presentan los valores de concentración de N en la biomasa aérea en los distintos períodos de crecimiento y en sus tratamientos correspondientes según dosis de N aplicada. Al analizarlo, se determinó que al inicio de la época invernal evaluada, desde el 14 de mayo al 23 de junio, no se detectaron diferencias significativas en la concentración de N de la biomasa aérea, entre los tres tratamientos. No obstante, los valores de los tratamientos que recibieron dosis de N (25 y 50 kg N ha⁻¹ después de cada corte) eran mayores a los del control, lo que indica que desde un principio existió una respuesta de la fertilización N en el aumento de concentración de N. Luego, desde el 9 de junio hasta el 1 de octubre la respuesta se hace estadísticamente diferente hasta el término del ensayo, entre los tratamientos que recibieron dosis de N y el tratamiento control.

Las concentraciones de N en la biomasa aérea durante los distintos períodos de crecimiento en el tratamiento control, se mantuvieron en rangos que oscilaron entre 1,6 a 2,3 % de N. Diferente fue el caso, en el tratamiento que recibió dosis de 25 kg N ha⁻¹ después de cada corte, ya que las concentraciones se mantuvieron entre 2,2 y 3,2% de N. Siendo similar al tratamiento que recibió dosis 50 kg N ha⁻¹ después de cada corte, que osciló entre 2,1 a 3,4% de N. Estos resultados muestran que la fertilización N aumentó la concentración de N en la biomasa aérea, ya que los máximos valores del tratamiento control (2,3% N) fueron semejantes a los valores mínimos de los tratamientos que recibieron dosis de 25 y 50 kg N ha⁻¹ después de cada corte, con 2,2 y 2,1% de N respectivamente.

MARINO *et al.* (2004), en su estudio del crecimiento y concentración de N en *Lolium multiflorum* bajo distintas dosis de N (0, 50 100, 150, 200 y 250 kg N ha⁻¹), evaluado en la época de agosto a octubre en el sudeste de Buenos Aires, obtuvieron valores de concentración de N al finalizar el ensayo de 1,5; 2,0 y 2,6% N para tratamientos que recibieron 0, 150 y 250 kg N ha⁻¹, respectivamente. Estas tres dosis de N son aproximadamente equivalentes a cada uno de los tres tratamientos de fertilización N realizados en este estudio (0, 25 y 50 kg N ha⁻¹). Las concentraciones de N al término

de este ensayo, superaron en todos los tratamientos en más de 0,8 unidades porcentuales a las obtenidas por dicho autor. Posiblemente la diferencia entre las concentraciones de N entre ambos estudios se podría deber al efecto del manejo de la fertilización, ya que el presente experimento se realizó una aplicación de N parcializada y en el experimento de MARINO *et al.* (2004), se aplicó en una sola parcialidad. Otro factor a considerar, se deben al tipo de especies presentes y a la diferente conversión del N absorbido en producción de materia seca, componentes estructurales y acumulación de N mineral en los compartimentos de reserva de las plantas (de acuerdo a las condiciones climáticas y genotipo de las especies).

HALVIN *et al.* (1993), mencionan que las gramíneas de alto valor forrajero (*Festuca sp.*, *Lolium sp.*, *Dactylis glomerata* y similares) poseen un rango crítico de aproximadamente 2,5% N, para lograr rendimientos potenciales. Al analizar el tratamiento control (0 kg N ha⁻¹) a través del tiempo, se determinó que los valores en su mayoría no superaron el rango crítico señalado por el autor. Ello mostraría una concentración de N deficiente para casi todos los períodos del ensayo, lo que habría determinado que la tasa de crecimiento potencial de la pradera para estas especies estuviese afectada negativamente. Por su parte, los tratamientos que recibieron dosis de 25 y 50 kg N ha⁻¹ después de cada corte, mostraron valores que superaron el rango crítico en la mayoría de los períodos evaluados (excepto al inicio), lo que sería indicativo de que la deficiencia de N no habría afectado la tasa de crecimiento potencial.

En la Figura 13, se muestra las variaciones en la concentración de N y la variación de la tasa de crecimiento, durante la época invernal evaluada en períodos de tres semanas. En general, en el tratamiento control, se observa que la concentración de N desde el inicio (14 de mayo) decrece en conjunto con la tasa de crecimiento hasta mediados de agosto. Luego de ello, los valores de la concentración de N y los valores tasa de crecimiento comienzan a aumentar progresivamente hasta el 1 de octubre.

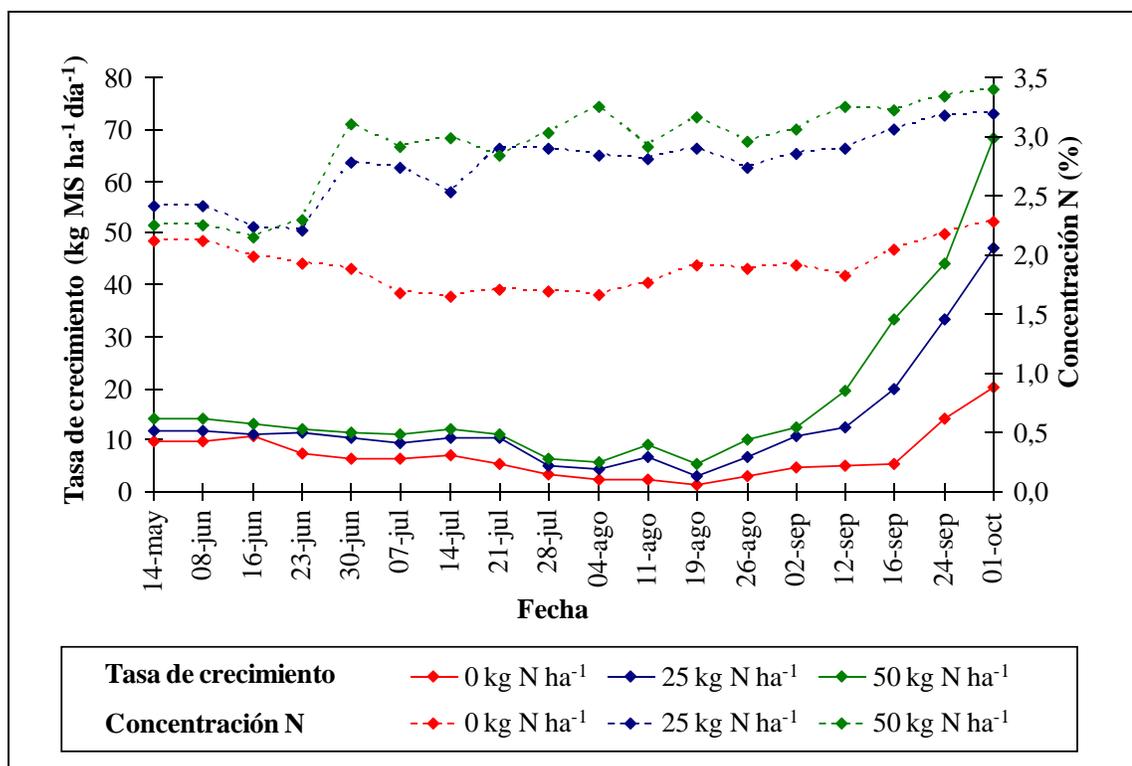


FIGURA 13 Efectos de los distintos niveles de fertilización N sobre la tasa de crecimiento ($\text{kg MS ha}^{-1} \text{ día}^{-1}$) y la concentración de N en la biomasa aérea (%), en la fecha de término de los períodos de tres semanas, durante la época invernal evaluada.

Los tratamientos que recibieron dosis de N, presentaron un comportamiento similar entre ellos y diferente al tratamiento control. En un principio, los valores de concentración de N fueron estables tanto para la concentración como la tasa de crecimiento, desde el 14 de mayo al 23 de junio. Después de dicha fecha, comenzó un incremento en la concentración de N, estableciéndose por sobre 2,5% de N, hasta el término del estudio. Por su parte, la tasa de crecimiento fue decreciente hasta mediados de agosto, para que después de dicha fecha, la tasa de crecimiento fuera creciente hasta el término de la evaluación.

Estos resultados muestran que los tratamientos que recibieron fertilización N (25 y 50 kg N ha^{-1} después de cada corte) habrían tenido una concentración de N adecuada,

que les habría permitido lograr tasas de crecimientos no restringidas por el N durante todo el estudio. Se debe destacar que la tasa de crecimiento de la pradera entre el 14 de mayo al 19 de agosto fue en general decreciente e independiente del tratamiento de fertilización N. Este comportamiento probablemente se debió a las condiciones climáticas adversas de la época invernal y no a la disponibilidad de N del suelo.

4.5 Extracción de N de la pradera

Esta variable fue derivada en base a la concentración de N y el rendimiento de materia seca de la pradera, en los períodos de tres semanas y estima la cantidad de nitrógeno extractado desde el N absorbido por plantas. Se considera que una fracción del N extractado provino desde la mineralización del N orgánico del suelo y otra desde el fertilizante que fue aplicado en el caso de los tratamientos de 25 y 50 kg N ha⁻¹ después de cada corte.

En el tratamiento control, la extracción de N promedio para el período de crecimiento de tres semanas fue de 2,9 kg N ha⁻¹, presentando diferencias significativas con respecto a los tratamientos que recibieron dosis de 25 y 50 kg N ha⁻¹ después de cada corte, los cuales sobrepasaron en 2,8 (280%) y 3,9 (390%) veces respectivamente, al tratamiento control (Cuadro 10). No obstante, la extracción de N promedio para los tratamientos con fertilización N (25 y 50 kg N ha⁻¹ después de cada corte) no fue estadísticamente diferente. El aumento en la cantidad de N extractado en los tratamientos fertilizados por sobre el control, muestran que una gran proporción de N extractado provino desde el fertilizante aplicado. Este aumento en la extracción sería indicativo de una mayor capacidad de extracción de N por parte de la pradera fertilizada con N, lo que implicaría que existió una deficiencia de N durante la época invernal evaluada.

Los valores de extracción de N cada tres semanas, muestran que al inicio de la época invernal evaluada (14 de mayo al 23 de junio) no se detectaron diferencias significativas, entre los tres tratamientos. En todos los casos, el tratamiento control fue

inferior a los tratamientos de 25 y 50 kg N ha⁻¹ después de cada corte (Cuadro 10). Posteriormente, en los períodos desde el 9 de junio al 28 de julio se detectaron diferencias significativas entre el tratamiento control y los tratamientos fertilizados con N. Finalmente, en los siguientes períodos desde el 15 de julio al 1 de octubre, las diferencias estadísticas son significativas entre los tres tratamientos.

CUADRO 10 Extracción de N en períodos de tres semanas, en los distintos niveles de fertilización N

Período de crecimiento		Extracción de N (kg N ha ⁻¹ período ⁻¹)		
Inicio	Término	Fertilización N (kg N ha ⁻¹ corte ⁻¹)		
		0	25	50
14 mayo	08 junio	5,3 ± 0,7 a	7,5 ± 1,6 a	8,4 ± 3,6 a
24 mayo	16 junio	5,1 ± 0,3 a	5,9 ± 0,3 a	6,8 ± 1,1 a
01 junio	23 junio	3,2 ± 0,6 a	5,8 ± 2,1 a	6,4 ± 0,3 a
09 junio	30 junio	2,7 ± 0,3 a	6,3 ± 0,5 ab	7,8 ± 1,9 b
17 junio	07 julio	2,2 ± 0,0 a	5,3 ± 0,5 b	6,7 ± 0,8 b
24 junio	14 julio	2,4 ± 0,1 a	5,6 ± 0,7 b	7,6 ± 0,0 c
01 julio	21 julio	1,9 ± 0,0 a	6,4 ± 1,0 b	6,5 ± 1,2 b
08 julio	28 julio	1,2 ± 0,2 a	3,0 ± 0,8 ab	4,1 ± 0,3 b
15 julio	04 agosto	0,9 ± 0,2 a	2,6 ± 0,1 b	4,0 ± 0,3 c
22 julio	11 agosto	0,9 ± 0,0 a	4,0 ± 0,4 b	5,6 ± 0,4 c
29 julio	19 agosto	0,6 ± 0,1 a	1,9 ± 0,2 b	3,8 ± 0,5 c
05 agosto	26 agosto	1,3 ± 0,3 a	4,1 ± 0,3 ab	6,5 ± 1,2 b
12 agosto	02 septiembre	2,0 ± 0,0 a	6,7 ± 0,9 b	8,4 ± 0,2 b
20 agosto	12 septiembre	2,3 ± 0,4 a	8,6 ± 0,8 b	15,2 ± 0,5 c
27 agosto	16 septiembre	2,2 ± 0,2 a	12,8 ± 2,6 b	22,4 ± 0,6 c
03 septiembre	24 septiembre	6,8 ± 1,4 a	23,3 ± 0,6 b	32,3 ± 0,6 c
13 septiembre	01 octubre	8,8 ± 0,9 a	28,6 ± 2,8 b	43,9 ± 6,8 b
Promedio general por período de tres semanas		2,9 ± 2,3 a	8,1 ± 7,2 b	11,6 ± 11,1 b

Valores seguidos de distinta letra en la fila indican que existe significancia (p<0,05; Tukey)

La curva de extracción de N en el tiempo para períodos de crecimiento de tres semanas (Figura 14), muestra que el tratamiento control decrece paulatinamente a partir del inicio de la época invernal, llegando a un valor mínimo en el período del 29 de julio al 19 de agosto (extracción de 0,6 kg de N ha⁻¹). Por su parte los tratamientos que recibieron dosis 25 y 50 kg N ha⁻¹ después de cada corte, mantienen una extracción estable de N desde el inicio hasta el período del 1 julio al 21 de julio, disminuyendo posteriormente a sus valores mínimos de 1,9 y 3,8 kg N ha⁻¹, respectivamente, durante el período del 29 de julio al 19 de agosto. La coincidencia de que todas las extracciones mínimas sean en el mismo período es indicativa de que los factores climáticos invernales afectaron la tasa de crecimiento, haciéndola decreciente hasta el 19 de agosto. Posteriormente, el incremento en la extracción de N muestra que comienza la reversión del período invernal y se puede indicar que comenzará la respuesta primaveral al crecimiento de pradera.

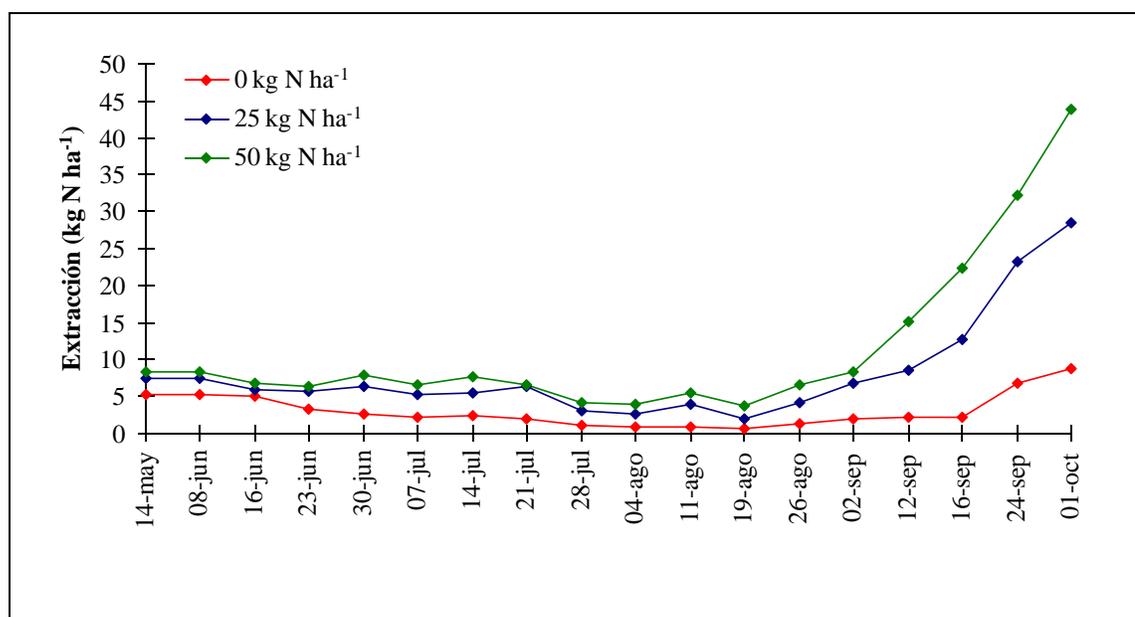


FIGURA 14 Extracción de N en los distintos niveles de fertilización N, en la fecha de término de los períodos de tres semanas durante la época invernal evaluada.

La diferencia en extracción de N entre los tratamientos en el período donde se alcanza el valor mínimo de extracción (29 de julio al 19 de agosto) muestra que existió una limitación del crecimiento y/o absorción de N por el suministro de N nativo del suelo. Esta diferencia se mantiene incluso después de este período, mostrando en los tratamientos un comportamiento similar. El tratamiento que recibió 50 kg de N ha⁻¹ después de cada corte, obtuvo un valor máximo de extracción de 43,9 kg N ha⁻¹ en el último período evaluado en el ensayo, superando de esa forma en más 35 y 15 kg N ha⁻¹ a los tratamientos que recibieron dosis de 0 y 25 kg N ha⁻¹ después de cada corte, respectivamente.

4.6 Suministro de N quincenal del suelo

El suministro de N se midió cada 15 días en el contorno exterior de las parcelas que contenían a los tratamientos controles (0 kg N ha⁻¹ después de cada corte) a una profundidad de 0-20 y 0-90 cm.

Los valores obtenidos, presentaron variaciones a lo largo del período invernal evaluado (Figura 15). Estas variaciones en el tiempo se explican en función de la mineralización del N orgánico presente en el suelo y en las pérdidas de N mineral del suelo por lixiviación y desnitrificación, debido a las condiciones climáticas invernales.

Debido al objetivo general de este estudio y a la complejidad del sistema del N en el suelo, sólo se presentan los resultados obtenidos, como una idea general de la disponibilidad de N a lo largo del desarrollo del período invernal evaluado y no como un análisis del comportamiento del N en el suelo.

El suministro N mineral del suelo presentó sus niveles más bajo durante el mes de julio, fluctuando entre 79 y 83 kg N ha⁻¹ distribuidos en los primeros 90 cm del suelo. Los valores máximos, por su parte, se mostraron desde fines de agosto hasta el 1 de octubre (inicio de la primavera) fluctuando entre 103 y los 117 kg N ha⁻¹. En el estudio de QUIÑONES (2007) en Valdivia, para el suministro de N mineral del suelo para el

cultivo de trigo, se obtuvo valores similares a los obtenidos en este estudio, durante los meses de agosto a septiembre, mostrando el estudio de N mineral para trigo en este período un suministro de N entre 88 y 115 kg N ha⁻¹.

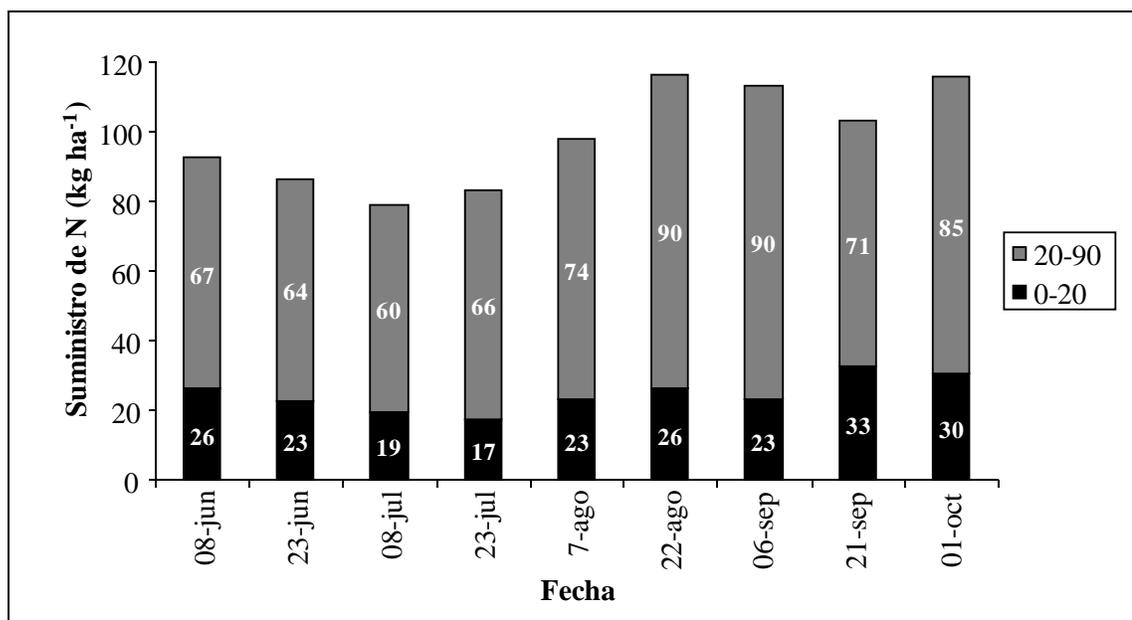


FIGURA 15 Suministro de N del suelo medido quincenalmente a una profundidad de 0 a 20cm y 20 a 90cm.

La Figura 15, muestra que desde el inicio del ensayo (14 de mayo) hasta el 8 de julio existió una disminución acumulada de N mineral de 14 kg N ha⁻¹. Este contenido de N obedece al balance neto entre la tasa de mineralización, la extracción de N por las plantas y las pérdidas de lixiviación y desnitrificación, mostrando que han predominado las pérdidas por sobre la mineralización. Después del 8 de julio hasta el término del ensayo, generalmente se determinaron mayores mineralizaciones que pérdidas, alcanzando una ganancia acumulada de 36,9 kg N ha⁻¹. Es posible que estos incrementos en el N mineral se deban a un aumento de las temperaturas (mayor tasa de mineralización) y a condiciones ambientales que reducen las pérdidas de N (reducción de precipitaciones).

4.7 Disponibilidad de N mineral en el suelo

4.7.1 Disponibilidad de N mineral nativo. El suministro de N nativo del suelo, durante esta evaluación corresponde a la extracción de N realizada por parte de la pradera más la cantidad de N mineral presente determinada a través del análisis de suelo. Por esa razón se sumó la extracción del tratamiento sin aplicación de N a la cantidad de N mineral presente en cada período de evaluación. Sin embargo, dado que el suministro de N mineral se evaluó en forma quincenal y la extracción en períodos de tres semanas, se ajustaron ambos parámetros para que se pudiesen coordinar en períodos de tres semanas (Capítulo material y métodos 3.4.4)

La estimación de la disponibilidad total de N mineral nativo (tratamiento sin adición de fertilización N) en cada período de tres semanas (suministro N del suelo + extracción de N) fluctuó entre 82 y 117 kg N ha⁻¹ a 90 cm de profundidad. El valor mínimo se situó en el período del 1 de julio al 21 julio, mientras que el máximo valor máximo fue en el último período (13 de septiembre al 1 de octubre). Finalmente la disponibilidad de N promedio fue aproximadamente 100 kg N ha⁻¹, durante toda la época invernal evaluada (Cuadro 11).

En la Figura 16, se muestra que la disponibilidad de N del suelo comienza a disminuir progresivamente desde el inicio de la evaluación hasta el período del 1 al 21 de julio, donde se obtuvo el valor mínimo de 83 kg N ha⁻¹. Esto indica que durante estas fechas existió predominancia de las pérdidas de N mineral por sobre la mineralización del N orgánico del suelo. Ello es probablemente debido a las altas precipitaciones, que favorecen las pérdidas por percolación y las condiciones anóxicas y a las bajas temperaturas que reducen la tasa de mineralización. Después de dicha fecha, generalmente los valores incrementaron llegando a superar los 110 kg N ha⁻¹, mostrando que existe una dominancia de la mineralización por sobre las pérdidas de N.

CUADRO 11 Disponibilidad de N mineral nativo del suelo (extracción de N + suministro de N mineral del suelo) durante períodos de tres semanas a una profundidad de 90 cm.

Período de crecimiento		Extracción (kg N ha ⁻¹)	Suministro de N (kg N ha ⁻¹)	Total (kg N ha ⁻¹)
Inicio	Término			
14 mayo	08 junio	5,3	92,7	98,0
24 mayo	16 junio	5,1	91,6	96,7
01 junio	23 junio	3,2	89,7	92,9
09 junio	30 junio	2,7	86,3	89,0
17 junio	07 julio	2,2	82,7	84,9
24 junio	14 julio	2,4	80,9	83,3
01 julio	21 julio	1,9	80,9	82,8
08 julio	28 julio	1,2	84,0	85,1
15 julio	04 agosto	0,9	88,8	89,6
22 julio	11 agosto	0,9	95,5	96,4
29 julio	19 agosto	0,6	103,9	104,5
05 agosto	26 agosto	1,3	110,4	111,7
12 agosto	02 septiembre	2,0	113,9	115,9
20 agosto	12 septiembre	2,3	113,0	115,2
27 agosto	16 septiembre	2,2	110,6	112,8
03 septiembre	24 septiembre	6,8	107,7	114,5
13 septiembre	01 octubre	8,8	107,8	116,6
Promedio general por período de tres semanas		2,9	96,5	99,4

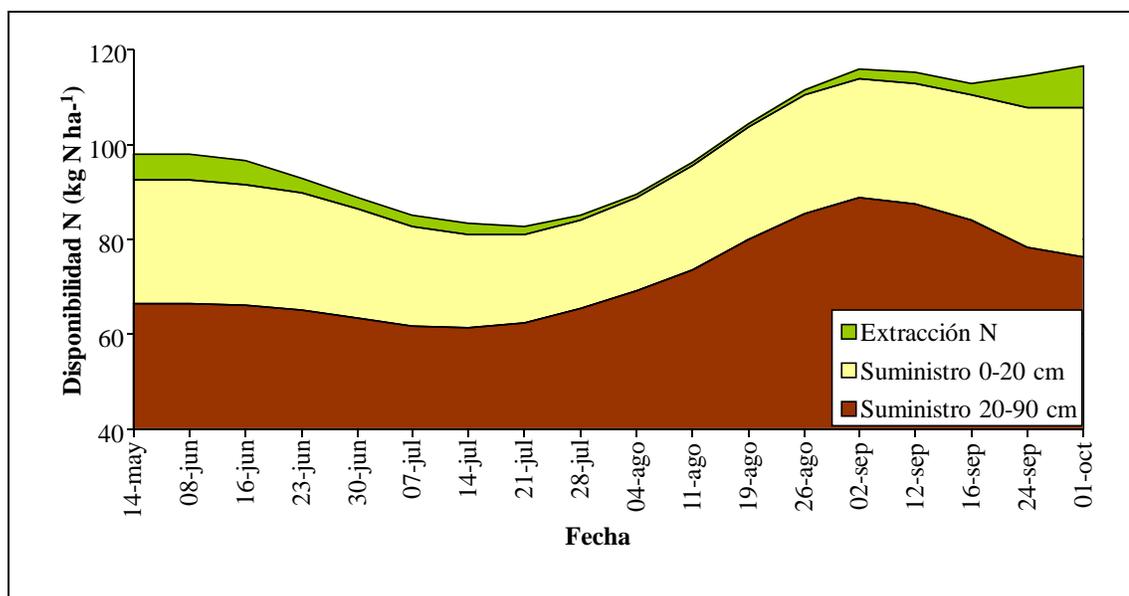


FIGURA 16 Disponibilidad total de N nativo del suelo (extracción de N + suministro de N mineral del suelo) en la fecha de término de los períodos de tres semanas durante la época invernal evaluada.

4.7.2 Disponibilidad de N mineral total en suelo en los tratamientos fertilizados.

Esta disponibilidad de N total se obtuvo considerando el aporte de N nativo del suelo, estimado en el tratamiento sin adición de fertilizante (punto 4.7.1) y la adición de fertilizante N (tratamientos de 25 y 50 kg N ha⁻¹ después de carda corte) a través del tiempo. De esa forma, se estimó la disponibilidad de N mineral total de cada tratamiento.

No se determinó directamente la lixiviación de N ni la desnitrificación, por lo que no fue posible evaluar las pérdidas de N provenientes del fertilizante. Se consideró que todo el N mineral aplicado como fertilizante estuvo disponible, por lo que para estimar la disponibilidad de N mineral total en el suelo en los tratamientos fertilizados correspondió al valor acumulado del N mineral adicionado (fertilizante) más el N mineral nativo del suelo. En el Anexo 8, se muestra el procedimiento de acumulación de las dosis de fertilización N.

CUADRO 12 Disponibilidad de N total (suministro de N nativo + extracción + fertilizante N) en cada tratamiento, durante períodos de tres semanas a una profundidad de 0 a 90cm.

Período de crecimiento		Disponibilidad de N total (kg N ha ⁻¹ período ⁻¹)		
		Fertilización N (kg N ha ⁻¹ corte ⁻¹)		
Inicio	Inicio	0	25	50
14 mayo	08-jun	98,0 a	123,0 b	148,0 c
24 mayo	16-jun	96,7 a	121,7 b	146,7 c
01 junio	23-jun	92,9 a	117,9 b	142,9 c
09-jun	30-jun	89,0 a	139,0 b	189,0 c
17-jun	07-jul	84,9 a	134,9 b	184,9 c
24-jun	14-jul	83,3 a	133,3 b	183,3 c
01-jul	21-jul	82,8 a	157,8 b	232,8 c
08-jul	28-jul	85,1 a	160,1 b	235,1 c
15-jul	04-ago	89,6 a	164,6 b	239,6 c
22-jul	11-ago	96,4 a	196,4 b	296,4 c
29-jul	19-ago	104,5 a	204,5 b	304,5 c
05-ago	26-ago	111,7 a	211,7 b	311,7 c
12-ago	02-sep	115,9 a	240,9 b	365,9 c
20-ago	12-sep	115,2 a	240,2 b	365,2 c
27-ago	16-sep	112,8 a	237,8 b	362,8 c
03-sep	24-sep	114,5 a	264,5 b	414,5 c
13-sep	01-oct	116,6 a	266,6 b	416,6 c
Promedio general por período de tres semanas		99,4 a	183,2b	267,1c

Valores seguidos de distinta letra en la fila indican que existe significancia ($p < 0,05$; Tukey).

Los resultados del Cuadro 12, muestran que la disponibilidad de N mineral total del suelo en cada tratamiento (0, 25 y 50 kg N ha⁻¹ adicionado después de cada corte),

fue estadísticamente diferente en cada uno de los períodos de crecimiento. Ello se refleja claramente en el promedio general. Donde el tratamiento control (sin aplicación de fertilizante N), presentó un promedio de disponibilidad de N total de 99 kg N ha^{-1} , siendo 1,8 y 2,7 veces menor que cuando se aplicaron dosis de $25 \text{ y } 50 \text{ kg N ha}^{-1}$ después de cada corte.

En la Figura 17, se muestra la disponibilidad de N mineral total en cada uno de los tratamientos de forma esquematizada. La extracción y el suministro de N de 0 a 90 cm representan la disponibilidad del tratamiento control, la cual va variando durante los distintos períodos de crecimiento de la pradera. En los tratamientos que recibieron dosis de fertilización N, se adicionó la dosis de N acumulada aportadas por el fertilizante N a través de los períodos según dosis correspondiente ($25 \text{ y } 50 \text{ kg N ha}^{-1}$, después de cada corte).

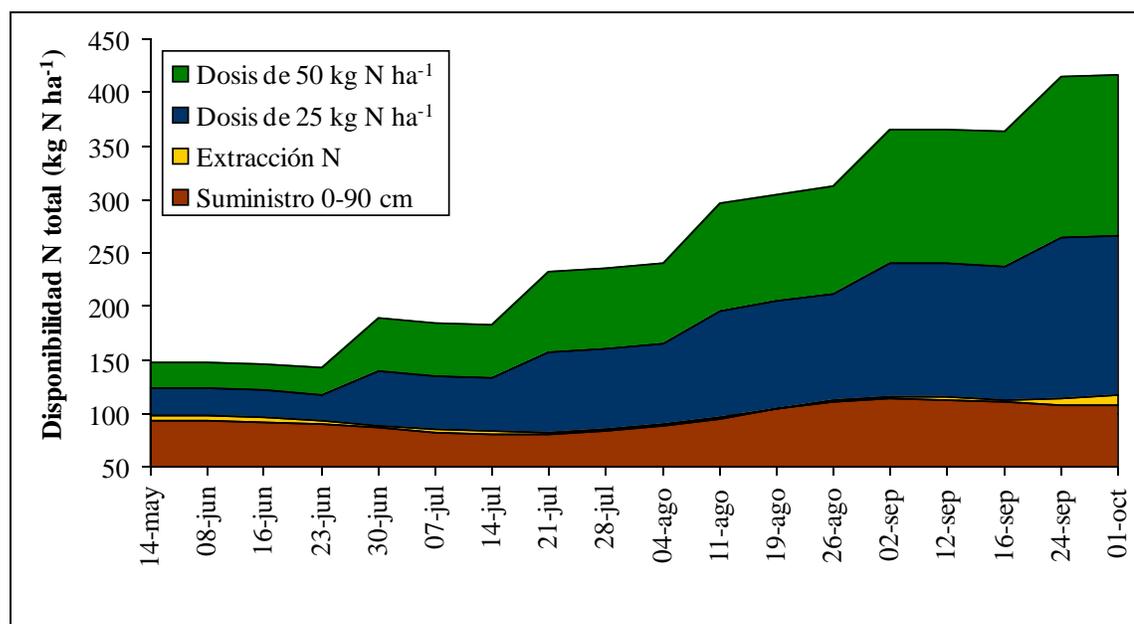


FIGURA 17 Disponibilidad de N total, (extracción de N, suministro de N nativo y fertilización N de $25 \text{ y } 50 \text{ kg de N}$ después de cada corte), en la fecha de término de los períodos de tres semanas durante la época invernal evaluada.

La disponibilidad de N del tratamiento control fue estimada como la más baja entre los períodos comprendidos entre 9 de junio al 4 de agosto, no alcanzando a superar los 90 kg de N ha⁻¹. Además, entre los períodos del 17 de junio al 4 de agosto, fue coincidente con concentraciones de N mínimas en el forraje cosechado correspondiente al tratamiento control (1,7% de N). Por su parte, los tratamientos con fertilización N superaron una concentración de 2,5 %N en el forraje cosechado, mostrando esta mayor disponibilidad de N.

4.8 Eficiencia de absorción de N durante el período invernal evaluado

La eficiencia de absorción de N mineral de la pradera permanente durante el período invernal evaluado, fue determinada como la proporción de la cantidad de N extractado en relación a la disponibilidad de N total del suelo a una profundidad de 0 a 90 cm (punto 3.4.6, material y métodos).

CUADRO 13 Eficiencia de absorción de N en cada tratamiento durante la época invernal evaluada a una profundidad de 0 a 90 cm.

Proveniente	Eficiencia de Absorción (%)		
	Fertilización N (kg N ha ⁻¹ período ⁻¹)		
	0	25	50
N total	15	18	17
N fertilizante	-	21	17

La eficiencia de absorción de N mineral desde el suelo en el tratamiento control fue de 15 %, siendo superado por 3 y 2 unidades porcentuales por los tratamientos de 25 y 50 kg N ha⁻¹, después de cada corte, respectivamente. Estas diferencias, pueden estar dadas, debido a la variación de especies pratenses que existieron entre el tratamiento control y los tratamientos de fertilidad N, ya que los tratamientos que recibieron dosis de N tuvieron un aumento de 8 a un 10 unidades porcentuales en gramíneas al término del ensayo (Cuadro 6, punto 4.3.1), mientras que el tratamiento control se redujeron en un 3 unidades porcentuales. Esto indica que estos tratamientos con fertilización N tuvieron

una mayor eficiencia interna y por lo tanto absorbieran mayor cantidad de N hacia el término de la evaluación (DE LA MAZA, 1989). Además, la baja eficiencia de absorción de N en todos los tratamientos, probablemente estuvo afectada por las condiciones climáticas invernales, ya que la pradera reduce su tasa de absorción de nitrato y de amonio, en temperaturas inferiores a los 10°C. Igualmente, al existir escasa radiación, la absorción de N es reducida, debido a que los nitratos poseen una tasa de conversión a formas orgánicas que es dependientes de la fotosíntesis y de la producción de carbohidratos (WHITEHEAD, 1995).

En los tratamientos que recibieron dosis de fertilización N, hay que considerar que la eficiencia de absorción de N probablemente debe haber sido mayor a los valores expuestos en el estudio, debido a que no se contemplaron las supuestas pérdidas de N provenientes del fertilizante nítrico (mayores tendencias por pérdidas por lixiviación) y por lo tanto la disponibilidad de N total, haya sido menor a la propuesta en el estudio.

La eficiencia de recuperación evidente del fertilizante N en los tratamientos que recibieron dosis de N, fue de 21% para el tratamiento de 25 kg N ha⁻¹, después de cada corte. Lo que indicó, que por cada kg de N proveniente del fertilizante solo 0,21 kg de N fueron recuperados por la pradera permanente. En el tratamiento de 50 kg N ha⁻¹, después de cada corte, la eficiencia de recuperación de N desde el fertilizante es menor, alcanzando un 17% (0,17 kg N kg de N fertilizante⁻¹). ZEMENCHIK y ALBRECHT (2002), nombran a George *et al.* (1973), quien en su experimento en Indiana (EE.UU.) obtuvo una recuperación evidente del fertilizante N que osciló entre 50 y 60% con especies de gramíneas en condiciones óptimas de crecimiento (primavera). Estas diferencias principalmente se deben a las condiciones climáticas invernales, que redujeron la eficiencia de recuperación del fertilizante N, debido a las bajas temperaturas y a la baja radiación (WHITEHEAD, 1995).

4.9 Efectos climáticos sobre la tasa de crecimiento de la pradera y el N nativo del suelo durante el período evaluado

Los efectos de la temperatura media, la radiación global y las precipitaciones, se expresaron en los mismos períodos de tres semanas correspondientes a los datos de tasa de crecimiento y disponibilidad de N nativo (Anexo 9).

4.9.1 Efectos climáticos sobre la tasa de crecimiento en períodos de tres semanas.

La tasa de crecimiento de todos los tratamientos disminuyó progresivamente desde el inicio de la evaluación hasta el 19 agosto (Figura 18). Al evaluar las condiciones climáticas para este período, se determinó que la radiación global osciló entre 45 a 85 $\text{cal cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$, las temperaturas medias oscilaron entre 8,5 a 11,5°C y las precipitaciones entre 290 a 530 mm. En el período comprendido entre el 5 de agosto hasta el 1 de octubre, se determinó un progresivo aumento en la tasa de crecimiento, con condiciones ambientales que poseen valores que superan los 10°C de temperatura, sobrepasan las 100 $\text{cal cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ de radiación global y las precipitaciones en general fueron inferiores a 200 mm.

Un análisis más detallado, muestra que desde el 14 de mayo al 23 de junio, tanto las temperaturas y la radiación global no superan los 10°C y las 57 $\text{cal cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ (0,24 $\text{kJ cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$), respectivamente. Estos valores están asociados con bajas tasas de crecimiento de la pradera, lo que ha sido atribuido a que el balance entre energía y temperatura no son adecuados para el crecimiento de la pradera. Se ha establecido que el crecimiento de las praderas mixtas se ven afectadas bajo los 10°C de temperatura media diaria (LOPETEGUI, 2001) y con valores de energía de 0,20 $\text{kJ cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ el crecimiento de gramíneas es muy reducido (WHITEHEAD, 1995).

En el período comprendido entre el 9 junio al 21 de julio, se determinó que las temperaturas superaron el umbral crítico de 10°C, por lo que la pradera no debería mostrar bajas tasas de crecimiento (WHITEHEAD, 1995). Sin embargo, en ese período

se determinó que la radiación no superó $47 \text{ cal cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$, equivalentes a $0,20 \text{ kJ cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$, umbral crítico para que la radiación sea limitante de la tasa de crecimiento (WHITEHEAD, 1995). Estos valores umbrales explicarían, la mantención de una baja tasa de crecimiento durante estos períodos y la falta de respuesta a la fertilización N. En el período entre el 8 julio hasta el 19 de agosto, la tasa de crecimiento de la pradera en su mayoría se redujo a los mínimos valores de toda la época invernal evaluada. Esto se explicaría en que las temperaturas medias presentaron valores mínimos menores a $8,8^{\circ}\text{C}$, a pesar de que la radiación iba en aumento de 52 a $85 \text{ cal cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ($0,22$ a $0,36 \text{ kJ cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$) y estuvo por sobre el valor crítico establecido anteriormente.

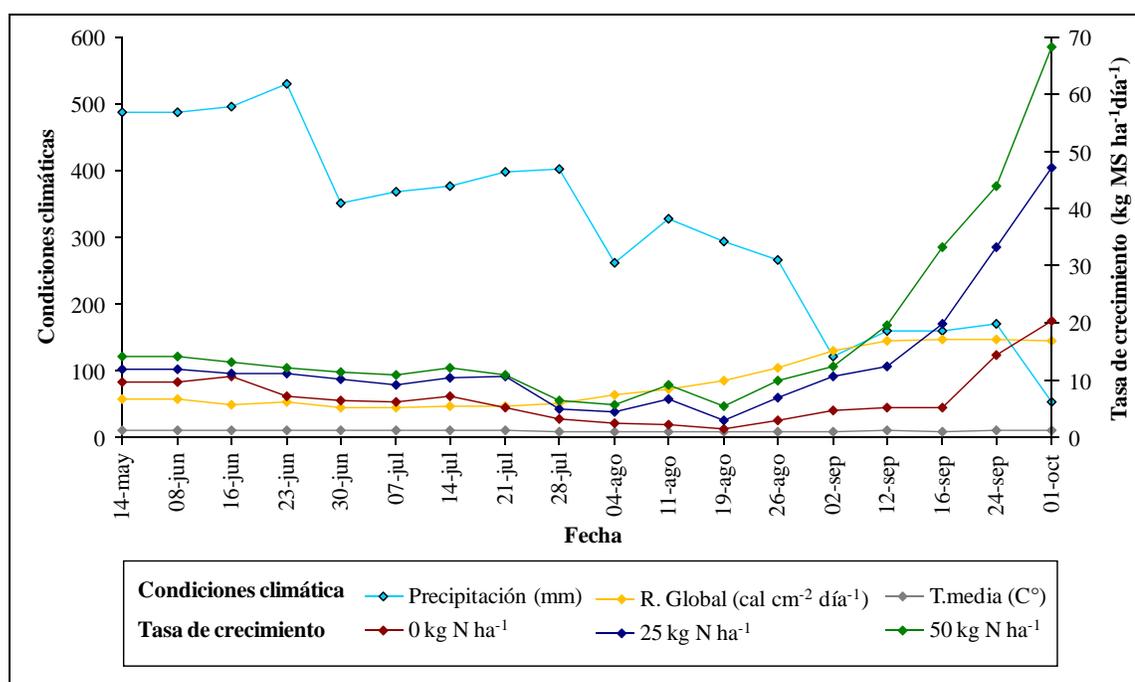


FIGURA 18 Condiciones climáticas (precipitaciones, radiación global y temperatura) con respecto a la tasa de crecimiento de cada tratamiento en la fecha de término de los períodos de tres semanas durante la época invernal evaluada.

Desde el 5 de agosto hasta el 1 de octubre, la tasa de crecimiento aumentó notoriamente en todos los tratamientos N. En este período las temperaturas y la radiación global aumentaron conjuntamente, superando los valores críticos, logrando un

buen balance para el crecimiento de la pradera, ya que los valores superaron los $10,5^{\circ}\text{C}$ y las $145 \text{ cal cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$ ($0,61 \text{ kJ cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$), respectivamente.

4.9.2 Efectos climáticos sobre la disponibilidad de N nativo del suelo en períodos de 3 semanas. Durante la época invernal, los factores que más influyen en la disponibilidad de N nativo generalmente son la temperatura y las precipitaciones. Debido a que la tasa de mineralización se ve reducida a temperaturas inferiores a los 28°C y las pérdidas de N por lixiviación y de desnitrificación aumentan al existir altas precipitaciones (PINOCHET, 1990).

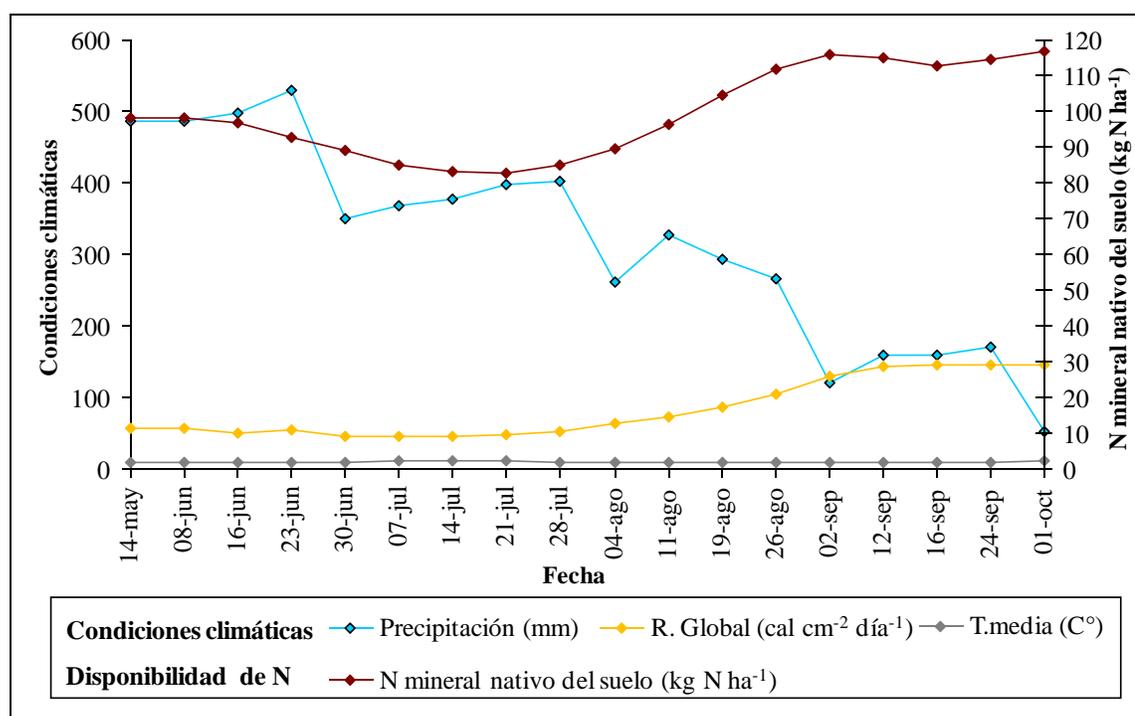


FIGURA 19 Condiciones climáticas (precipitaciones, radiación global y temperatura) con respecto a la disponibilidad de N nativo del suelo (suministro + extracción de N) en la fecha de término de los períodos de tres semanas durante la época invernal evaluada.

Al analizar la Figura 19. se ve que las mayores precipitaciones se concentran desde el inicio del estudio (14 de mayo) hasta aproximadamente el 28 de julio

fluctuando entre 350 y 530 mm. Además simultáneamente se generan los menores valores de disponibilidad de N nativo del suelo. Esto indica que las pérdidas de N durante esos períodos, se debieron a lixiviación y desnitrificación, ya que existieron altas precipitaciones. En los siguientes períodos desde el 15 de julio al 1 de octubre, las precipitaciones se van reduciendo lentamente y la disponibilidad de N nativo del suelo comienza a aumentar continuamente llegando a sus valores máximos de la época invernal evaluada.

Respecto a supuesta mineralización, generalmente se aprecia que las temperaturas redujeron el proceso, ya que éstas solo llegaron a los 11,5°C. Según PINOCHET (1990), la óptima tasa de mineralización se sitúa a una temperatura de 28°C.

4.10 Estimación de la tasa de crecimiento diaria de acuerdo a la metodología de Anslow

De acuerdo a la metodología de Anslow, el correcto cálculo de la tasa de crecimiento diario corresponde al promedio de la tasa de crecimiento diaria semanal durante un período de crecimiento de tres semanas (Cuadro 5), tal como se explicó el punto 3.4.2 en el capítulo de materiales y métodos. Los resultados de la tasa de crecimiento diaria según metodología Anslow se muestran en el Anexo 10.

CUADRO 14 Promedio general de la tasa de crecimiento diaria según metodología de Anslow con distintos niveles de fertilización N en el período invernal evaluado.

Promedio general de la tasa de crecimiento diario (kg MS ha⁻¹ día⁻¹)		
Fertilización N (kg N ha⁻¹ corte⁻¹)		
0	25	50
7,59 ± 4,8 a	14,52 ± 11,6 b	19,43 ± 17,2 c

Diferentes letras en la fila indican diferencias significativas ($p < 0,05$; Tukey).

Los datos mostrados en el Cuadro 14, y obtenidos de acuerdo a la metodología de Anslow, permiten diferenciar en forma estadística los tres tratamientos utilizados en este estudio, para todo el período de crecimiento invernal evaluado. Se determinó que el control sin aplicación de N presentó un valor de tasa de crecimiento promedio diario del período de 7,6 kg MS ha⁻¹día⁻¹. Este valor fue prácticamente duplicado con la adición de N en dosis de 25 kg N ha⁻¹ después de cada corte (1,9 veces) y se obtuvo una tasa de crecimiento de 2,5 veces superior con la dosis de 50 kg N ha⁻¹ después de cada corte, indicando que el tratamiento control posiblemente presentó deficiencias de N.

La tasa de crecimiento promedio del tratamiento control coincide con los valores propuestos por MORALES (2000), quien realizó un ensayo en una pradera perenne naturalizada sin fertilización durante la época de junio a septiembre en la zona de Valdivia y obtuvo una tasa de crecimiento de 5,62 kg MS ha⁻¹ día⁻¹. Además en ensayos realizados por MORALES (2000) y CARDENAS (2002) en una pradera perenne naturalizada con fertilización durante la época de junio a septiembre en la zona de Valdivia presentaron una tasa de crecimiento de 12,9 y 11,5 kg MS ha⁻¹ día⁻¹ respectivamente. Estos valores se asemejan bastante al tratamiento que se le aplicó dosis de 25 kg N ha⁻¹ después de cada corte, donde la tasa de crecimiento promedio fue 14,5 kg MS ha⁻¹ día⁻¹. Además PINOCHET (1999) en el modelo PRADSIM postula una tasa de crecimiento media de aproximadamente de 16 kg MS ha⁻¹ día⁻¹ durante la época de invierno, el cual tiene una similitud mayoritariamente al tratamiento que recibió dosis de 50 kg N ha⁻¹ después de cada corte.

Los datos mostrados en el Cuadro 14, implican que existió una tendencia lineal en la respuesta al N aplicado ($R^2 = 0,99$, $n=6$, $p < 0,01$; Anexo 11), indicando que hubo una limitación en el crecimiento invernal de la pradera perenne naturalizada debido a deficiencia de N. Es importante destacar aquí que la correcta dosificación del N de la pradera, requerirá de estudiar a posteriori las dosis adecuadas de acuerdo al crecimiento esperado (demanda) y del suministro que el suelo sea capaz de aportar en el período

invernal (suministro) y de la eficiencia con que las plantas puedan recuperar durante el período invernal el N suministrado como fertilizante.

En la Figura 20, se muestra la evolución de la tasa de crecimiento diaria de acuerdo a la metodología de Anslow. La tasa de crecimiento diario, a través del tiempo, presentó la misma tendencia en cada uno de los tres tratamientos evaluados. Además, muestra que en cada una de las evaluaciones, los tratamientos que recibieron adición de fertilizante N, se mantienen sobre el control que no recibió ninguna aplicación de N.

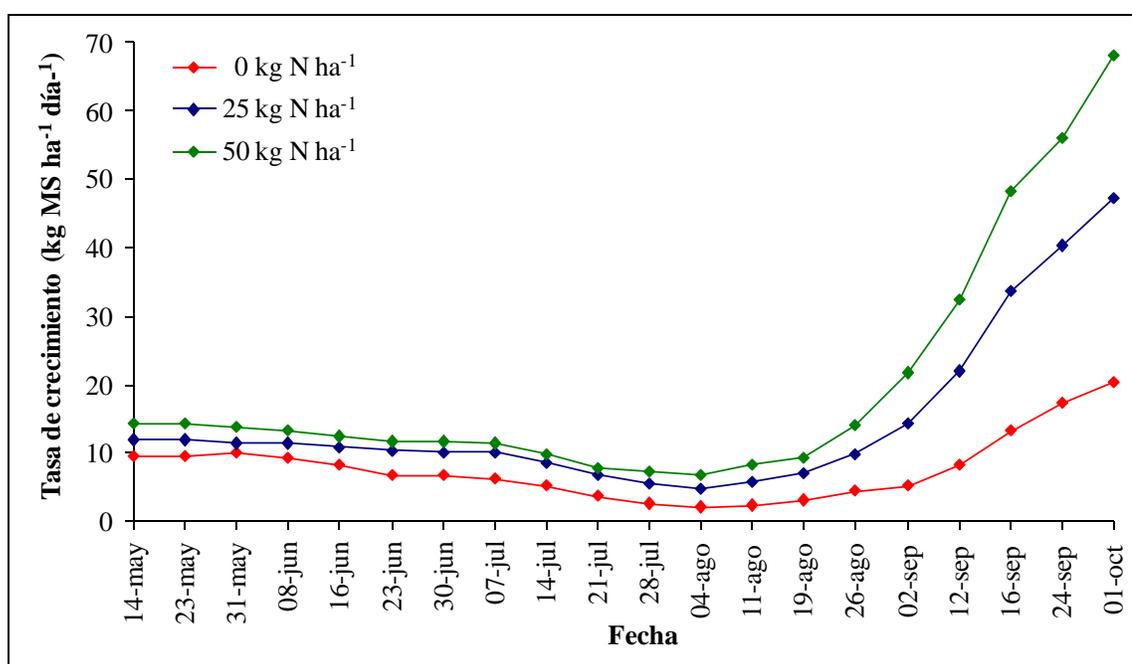


FIGURA 20 Efecto de distintos niveles de fertilización N sobre la tasa de crecimiento diaria según metodología de Anslow durante la época invernal evaluada.

Un análisis de la evolución de la curva a través del tiempo da cuenta que a partir de la fecha de inicial de evaluación (14 de mayo) existe un descenso en la tasa de crecimiento diaria, llegando a una mínima tasa de crecimiento hacia fines de julio o inicios de agosto. A partir de esta fecha, comienza a existir un incremento de la tasa de crecimiento, efecto que es más notorio en los tratamientos que recibieron aplicaciones de N fertilizante, llegando a sus máximos valores hacia el final de la evaluación de este

estudio (Figura 20). Esta evolución de la curva concuerda mayoritariamente con lo expuesto por PINOCHET (1999), en el modelo PRADSIM.

Al inicio del período invernal evaluado, los resultados muestran que la tasa de crecimiento diaria en el tratamiento sin aplicación de N presentó un valor de 9,6 kg MS ha⁻¹ día⁻¹, siendo ligeramente inferior a la obtenida con los tratamientos con adición de N fertilizante (11,9 y 14,2 kg MS ha⁻¹ día⁻¹, respectivamente). La tasa de crecimiento diaria comenzó a disminuir hacia el mes de julio, llegando a un valor mínimo de 2,1 kg MS ha⁻¹ día⁻¹ en el tratamiento sin aplicación de N, a la vez este valor aumentó en 4,7 kg MS ha⁻¹ día⁻¹ cuando se aplicó 25 kg N ha⁻¹ día⁻¹ después de cada corte y 6,8 kg MS ha⁻¹ día⁻¹ cuando se adicionó 50 kg N ha⁻¹ día⁻¹ después de cada corte, perdurando hasta el 4 de agosto. Después, de dicha fecha se inició un aumento progresivo en la tasa de crecimiento hasta fines de septiembre (período final de esta evaluación), donde el tratamiento sin aplicación de N obtuvo un valor máximo de 20,3 kg MS ha⁻¹ día⁻¹ al finalizar el ensayo. Sin embargo, en los tratamientos que recibieron dosis de 25 y 50 kg N ha⁻¹ después de cada corte, presentaron una tasa de crecimiento diaria máxima de 47,2 y 68,2 kg MS ha⁻¹ día⁻¹ respectivamente.

4.11 Fitomasa acumulada. Con el cálculo del crecimiento diario en base a la metodología de Anslow se generó la productividad de materia seca durante el período invernal evaluado.

La fitomasa acumulada presentó significancia estadística en todos sus tratamientos. El valor del tratamiento que no recibió dosis de N (control) fue de alrededor de 1070 kg MS ha⁻¹, siendo incrementado en un 91% cuando se adicionó 25 kg N ha⁻¹ después de cada corte y un 155% cuando se aplicó dosis de 50 kg N ha⁻¹ después de cada corte (Cuadro 14).

TEUBER *et al.* (2003), obtuvieron un rendimiento de 310 kg MS ha⁻¹ una pradera de ballica perenne y trébol blanco sin fertilización N, creciendo en un período desde el 21 de junio al 21 de septiembre en la zona de Osorno. En el caso del tratamiento que no recibió dosis de N, tuvo un rendimiento de 530 kg MS ha⁻¹, siendo ligeramente superior al valor propuesto por los autores. Sin embargo, estas diferencias se pueden deber a que los experimentos poseían distintas especies pratenses, distintos manejos de cosecha y distintas disponibilidades de los nutrientes. Además JARAMILLO (2003), obtuvo en una pradera perenne naturalizada con fertilización en la zona de Valdivia una producción acumulada de 1070 kg MS ha⁻¹ durante un período desde 1 junio al 5 de septiembre, lo que se aproximó bastante a la producción acumulada de los tratamientos que recibieron dosis de 25 y 50 kg N ha⁻¹ después de cada corte, teniendo un valor de 1165 y 1140 kg MS ha⁻¹ respectivamente, en el mismo período del experimento del autor.

CUADRO 15 Estimación de la fitomasa acumulada para el período invernal evaluado, en sus respectivas dosis de fertilización N.

Fitomasa acumulada (kg MS ha ⁻¹)		
Fertilización N (kg N ha ⁻¹ corte ⁻¹)		
0	25	50
1070,86a	2047,85b	2739,63c

Diferentes letras en la fila indican diferencias significativas ($p < 0,05$; Tukey).

Según la Figura 21, la evolución de la curva en todos los tratamientos presentaron una producción de materia seca acumulada de forma relativamente lineal hasta inicios de agosto, siendo el tratamiento control el de pendiente menor. Desde mediados de agosto los tratamientos que recibieron dosis de N comienzan a aumentar en forma exponencial hasta finalizar el ensayo, mientras que el tratamiento control, el cual no recibió dosis de N se ve reprimido, iniciando una producción exponencial a mediados de septiembre. Esto indica que los tratamientos que recibieron dosis de N lograron una buena respuesta en la producción acumulada en el período invernal, debido a la alta

disponibilidad de N, superando persistentemente al tratamiento control, sobretudo a comienzo de agosto (inicio primaveral). En esta fecha, las condiciones climáticas empiezan a ser favorables para óptimos crecimiento de la pradera.

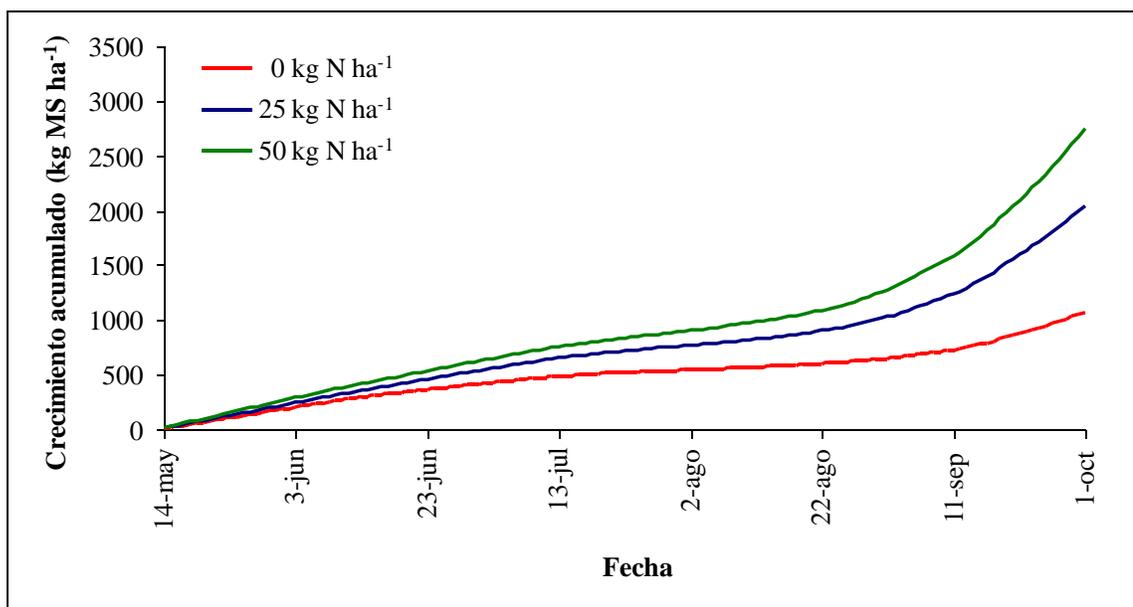


FIGURA 21 Efecto de distintos niveles de fertilización N sobre la producción total de materia seca acumulada durante el período del invernadero evaluado.

4.12 Efectos climáticos en la tasa de crecimiento diario según metodología Anslow

Para poder establecer una relación entre ambas, se procedió a realizar la misma metodología con que se obtuvieron los datos de la derivación de la tasa de crecimiento diario según Anslow. Es por eso que para la temperatura media y la radiación global, se calcularon los valores mediante promedios, de acuerdo a períodos de crecimiento de tres semanas (punto 3.3.7, material y métodos). Finalmente, para obtener el valor diario de cada factor climático, se promediaron dichas medias entre los períodos de crecimiento que incluían a los días correspondientes.

En el Anexo 12, se muestra como se distribuye la tasa de crecimiento de cada tratamiento con respecto a la radiación global y a la temperatura según la metodología Anslow durante el período invernal evaluado.

4.12.1 Balance de la temperatura media y radiación global. En Figura 22, a) b) y c). se muestra que en todos los tratamientos no existió un coeficiente de determinación óptimo entre la temperatura y la tasa de crecimiento, ya que los valores fueron de 58%, 41% y 29% para los tratamientos de 0, 25 y 50 kg N ha⁻¹, después de cada corte, respectivamente. Sin embargo, la tasa de crecimiento de la pradera perenne, se vio afectada por la radiación global solar, ya que al existir valores inferiores a 55 cal cm⁻² día⁻¹, la pradera no tuvo una respuesta en crecimiento. Es por esta razón, que al realizar una correlación exponencial excluyendo las coordenadas afectadas por el factor de radiación global inferior a los 55 cal cm⁻² día⁻¹, presentó un coeficiente de determinación de 93%, 93% y 90% para los tratamientos de 0, 25 y 50 kg N ha⁻¹, después de cada corte, respectivamente. Esto indica que la temperatura y la radiación solar estarían influyendo directamente sobre la respuesta potencial de crecimiento de la pradera perenne estando en condiciones de suficiencia de suministro de N.

La correlación entre la temperatura media y la tasa de crecimiento de la pradera, indica que aproximadamente sobre los 9°C va existir respuesta de crecimiento. Es así, como los tratamientos que recibieron dosis de N presentaron una mayor respuesta de crecimiento de la pradera aumentando sus tasas de crecimiento sobre los 10 kg MS ha⁻¹ día⁻¹. Sin embargo, el tratamiento que no recibió aplicación de fertilizante N no presentó una respuesta notoria en crecimiento. Además cabe mencionar que las pendientes de los tratamientos con aplicación de N son mayores, por lo tanto aumentaron la respuesta de crecimiento de la pradera e indicando que el tratamiento control no presentó una tasa de crecimiento potencial.

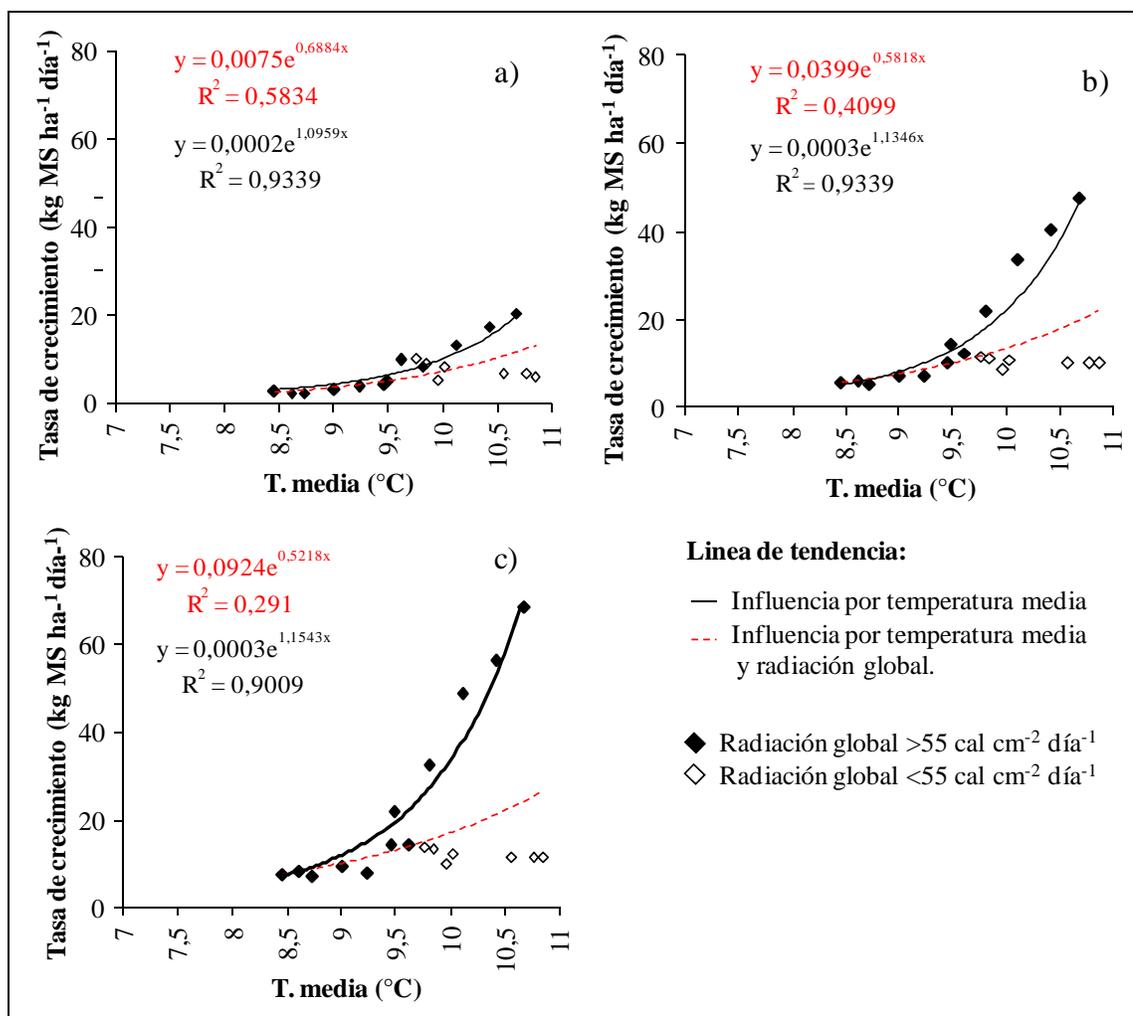


FIGURA 22 Relación exponencial entre la temperatura y la tasa de crecimiento diaria según metodología Anslow. Tratamientos a) 0 kg N ha⁻¹ b) 25 kg N ha⁻¹, después de cada corte c) 50 kg N ha⁻¹, después de cada corte.

4.12.2 Doscientas unidades de calor acumulada (T-suma). Este es un método que utiliza las unidades de calor acumulada (CHU), siendo la suma de los promedios de la temperatura diaria del aire. Esta se inicia el 1 de julio y cuando el total de las unidades de calor acumulada alcanza las 200, las gramíneas generalmente, son capaces de responder a la fertilización N en forma óptima (ECKARD y FRACKS, 1998).

En el estudio, los resultados obtenidos según la metodología de Anslow, demuestran que la respuesta del crecimiento de la pradera a la aplicación de N se inicia el 4 de agosto (Figura 23). Si bien las unidades de calor acumulada se completan el día 20 de julio según la metodología del T-suma, los resultados muestran que la pradera permanente no tiene una respuesta óptima en esa fecha, ya que la tasa de crecimiento todavía se encuentra decreciente en los tratamientos e inclusive en los tratamientos que recibieron dosis de N.

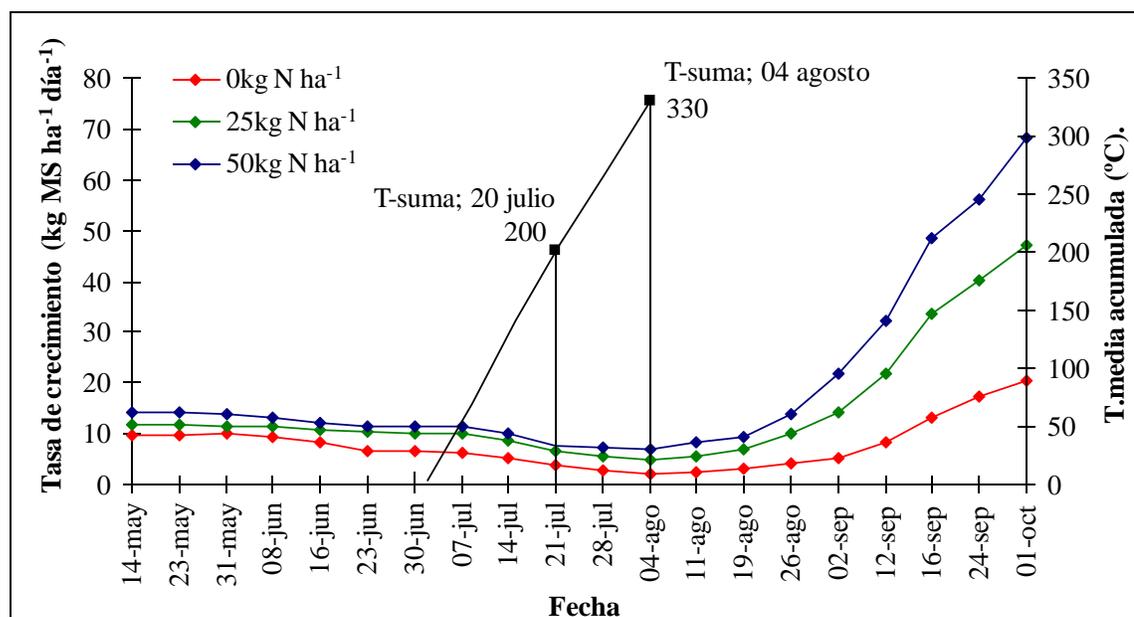


FIGURA 23 Tasa de crecimiento diaria según metodología Anslow en cada tratamiento y unidades de calor acumulada para 200 y 330 en su fecha correspondiente.

Reajustando la fecha inicial de la técnica T-suma para asegurar una respuesta de la pradera a la fertilización de N según los resultados obtenidos, el inicio de esta técnica tendría que ser el día 15 de julio aproximadamente, donde las 200 CHU se completan el día 4 de agosto. No obstante, también se puede reajustar las unidades de calor acumulada sumando un total de 330 CHU en vez de 200, de esa manera la fecha del 1 de julio no se modificaría. Sin embargo, se tiene que tener presente que las condiciones climáticas y la composición botánica de las praderas perennes naturalizadas son factores

muy variables a través de los años y que tienen una influencia directa sobre la respuesta a la fertilización N, es por eso que el T-suma estimado en el estudio es sólo una aproximación a las fechas óptimas de fertilización N, la cual da una idea cuando poder realizar las fertilizaciones de N.

5 CONCLUSIONES

La producción potencial de materia seca durante la época invernal evaluada estuvo restringida por la disponibilidad de N en el suelo, mostrando un incremento significativo en productividad con la adición de fertilización N por sobre el control, sin adición de N fertilizante. La productividad varió hasta llegar a ser entre dos a tres veces superior en los tratamientos de alta disponibilidad de N.

La tasa de crecimiento de la pradera en el período invernal evaluado declina desde el otoño hasta alcanzar un mínimo en el invierno para luego incrementar con el inicio de la primavera. Este efecto es climático, obedeciendo a la combinación adecuada de temperatura y radiación. Solo la magnitud de la tasa de crecimiento varió con los tratamientos de fertilización N, pero no el patrón general de crecimiento.

Se determinó que cuando la radiación fue inferior a $55 \text{ cal cm}^{-2} \text{ día}^{-1}$, la pradera evaluada no mostró incremento en la tasa de crecimiento con el incremento de temperatura.

La fertilización N afectó la habilidad competitiva de las especies naturales de la pradera influyendo en la composición botánica, lo que explica parcialmente la mayor tasa de crecimiento de las praderas más fertilizadas con N.

No se determinaron efectos de exceso de N en la pradera aunque las dosis de N aplicadas estuvieron muy por sobre las necesidades de extracción de N (demanda de N).

La absorción de N invernal, en todos los tratamientos fue baja, implicando que existen problemas en la eficiencia de absorción del N en el período invernal evaluado.

Los datos muestran que a mayor precipitación menor suministro de N mineral del suelo, lo cual predice de mayores pérdidas de N probablemente relacionado con el aumento de la precipitación invernal.

6 BIBLIOGRAFIA

- ACUÑA, H. 1984. Método para estimar el crecimiento de praderas de secano, por medio de cortes en ausencia de pastoreo. *Agricultura Técnica (Chile)* 44(4): 325-333
- ALFARO, M.; SALAZAR, F.; ENDRESS, D.; DUMONT, J.C. y VALDEBENITO, A. 2006. Nitrogen leaching losses on a volcanic ash soil as affected by the source of fertiliser. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 6: 54-63.
- ALAMOS, A. 2004. Evaluación de la producción estacional de leche en la Décima Región Sur. Pontificia Universidad Católica de Chile. 36 p.
- ANSLOW, R. y GREEN, O. 1967. The seasonal growth of pasture grasses. *The Journal of Agricultural Science Cambridge*. 68: 109-122.
- BALOCCHI, O. y LOPEZ, I. 1996. Especies pratenses nativas y naturalizadas del sur de Chile. **In:** Latrille, L.(ed). *Producción Animal*. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Instituto de Producción Animal. pp. 65-81
- BALOCCHI, O.; TEUBER, N.; PARGA, J.; LOPETEGUI, J.; DEMANET, R.; CANSECO, C.; ANWANDTER, V. y ABARZUA, A. 2007. Manejo de pastoreo. **In:** Balocchi, O; Teuber, N; Parga, J. (ed). *Proyecto FIA*. Chile. 129 p.
- CARDENAS, G. 2002. Rendimiento y calidad nutritiva de una pradera establecida con especies nativas y naturalizadas bajo dos niveles de fertilización, en su tercer año de producción. Tesis Lic. Agr. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 104 p.

- DE LA MAZA, P. 1989. Competencia entre ballica perenne (*Lolium perenne* L.) y trébol blanco (*Trifolium repens* L.) con fijación simbiótica y bajo suministro de nitrógeno del suelo. Tesis Lic. Agr. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 108 p.
- DUMONT, J.; DARLARZE, R. y CARVAJAL, M. 1994. Efecto de la fertilización nitrogenada en ballicas. INIA boletín técnico (Chile) 201:1- 6
- ECKARD, R. y FRACKS, D. 1998. Strategic nitrogen fertiliser use on perennial ryegrass and white clover pasture in north-western Tasmania. Australian Journal of Experimental Agricultura 38 (2): 155-160.
- GASTO, J.; SILVA, F. y COSIO, F. 1990. Sistema de clasificación de los pastizales de Sudamérica. Pontificia Universidad Católica de Chile. Sistemas en Agricultura. Teoría - Avances, Vol. 9. 92 p.
- HAVLIN, J.; BEATON, J.; TISDALE, S. y NELSON, W. 1993. Soil fertility and fertilizers. 6^a ed. MacMillan Publishing Company. New York, USA. 499 p.
- HOPKINS, A.; GILBEY, J.; DIBB, C.; BOWLING, P. y MURRAY P. 1990. Response of permanent and reseeded grassland to fertilizar nitrogen. Herbage production and herbage quality. Grass and Forage Science. 45: 43-55.
- HOPKINS, A. 2000. Grass its production and utilization. British Grassland Society. Blackwell Scientific Publications. 3^a ed. 440 p.
- HUBER, A. 1970. Diez años de observaciones climatológicas en la Estación Teja, Valdivia (Chile). 1960 - 1969. Universidad Austral de Chile. Valdivia. 46 p.

- JARAMILLO, C. 2003. Dinámica vegetacional y rendimiento de una pradera establecida en base a especies nativas y naturalizadas en su tercer año de producción. Tesis Lic. Agr. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 116 p.
- JARVIS, S. 1998. Nitrogen management and sustentability. In: Grass for dairy cattle. CABI Publishing. UK. pp. 161-192.
- LOPETEGUI, J. 2001, ago. 28. Factores fisiológicos que afectan el crecimiento de las praderas. Diario Austral (On line). <http://74.125.45.104/search?q=cache:lpPS-UM6I_gJ:www.australosorno.cl/site/apg/lecheria/pags/20010828140427.html+carbohidratos+de+reserva+de+una+pradera&hl=es&ct=clnk&cd=4&gl=cl&client=firefox-a> (25 ene. 2008)
- MARINO, M.; MAZZANTI, A.; ASSUERO, S.; GASTAL, F.; ECHEVERRRIA, H. y ANDRADE, F. 2004. Nitrogen curves and nitrogen use efficiency during winter-spring growth of annual ryegrass. Agronomy Journal. 96 p.
- MONTALDO, P. y FUENTES, R. 1980. Caracterización térmica y fotoperiódica para el área de Valdivia, Chile. Agro Sur 8 (Chile) (2) : 94 – 100.
- MORALES, D. 2000. Rendimiento y calidad nutritiva de una pradera establecida con especies nativas y naturalizadas en su segundo año de producción. Tesis Lic. Agr. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 105 p.
- MORRISON, J. 1980 The influence of climate and soil on the yield of grass and its response to fertilizer nitrogen. **In:** Prins, W.H. and G.H. Arnold (ed) The Role of Nitrogen in Intensive Grassland Production. PUDOC, Wageningen, Netherlands.

- NISSEN, J. y BARRIA, J. 1976. Estudio agrológico del predio Vista Alegre. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Instituto de Suelos y Abonos. 38 p.
- ORTEGA, L. 1992. Seminario: Manejo de praderas permanentes. Osorno, Chile. Julio de 1992. Serie de actas INIA – N° 31.
- PALADINES, O. y MUÑOZ, G. 1982. Investigación sobre praderas de Chile. Pontificia Universidad Católica de Chile, Facultad de Agronomía, Departamento de Zootecnia. Santiago, Chile. 166 p.
- PINOCHET, D.; BALOCCHI, L. y DE LA MAZA, P. 2000. Competencia entre ballica perenne y trébol blanco en condiciones de bajo suministro de N del suelo. *Agro Sur (Chile)* 28 (2): 24-31.
- PINOCHET, D. 1999. Recursos forrajeros utilizados en producción de leche. **In:** Latrille, L. (ed). *Producción Animal*. Valdivia. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias, Instituto de Producción Animal. pp. 75-114.
- PINOCHET, D. 1990. Fertilización de praderas permanentes en la zona centro sur. **In:** Latrille, L. (ed). *Producción Animal*. Valdivia. Universidad Austral de Chile. Facultad de Ciencias Agrarias, Instituto de Producción Animal. pp. 181-209.
- QUIÑONES, F. 2007. Variación de la producción de materia seca y eficiente de absorción de nitrógeno en cultivares antiguos y modernos de trigo (*Triticum aestivum*) a dos niveles de disponibilidad de nitrógeno en suelos volcánicos. Tesis Lic. Agr. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias. 75 p.

- RODRÍGUEZ, J.; PINOCHET, D. y MATUS, F. 2001. Fertilización de los cultivos. Santiago, Chile. Editorial LOM, 117 p.
- RODRIGUEZ, J. 1993. La fertilización de los cultivos, un método racional. Colección en agricultura. Facultad de Agronomía. Pontificia Universidad Católica de Chile. 291 p.
- RUZ, E. 1994. Dinámica del nitrógeno en sistemas ganaderos. **In:** Latrille, L. (ed.). Producción Animal. Valdivia. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Instituto de Producción Animal. pp. 98-115
- SADZAWKA, A.; CARRASCO, M.; DEMANET, R.; FLORES, H.; GREZ, R.; MORA, M. y NEAMAN, A. (eds). 2007. Métodos de análisis de tejidos vegetales, Santiago, Chile. Septiembre. Serie de actas INIA – N° 40.
- SIEBALD, E.; MATZNER, M. y BECKER, F. 1983. Mejoramiento de praderas naturales del llano Central de la X región. Agricultura Técnica (Chile) 43(4): 313 – 321.
- SMITH, R. y STEPHENS, M. 1976. Importance of soil moisture and temperature on the growth of improved pasture on the Northern Tablelands of New South Wales. Australian Journal Agricultural Research 27: 63-70.
- STEVENSON, F. y COLE, M. 1999. Cycles of soil: Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulphur, Micronutrients. John Wiley and Sons, Inc, New York, USA. 2 ed. 427 p.
- SILVA, B.; MAC DONALD, R. y NISSEN, J. 1987. Lixiviación del nitrógeno proveniente de fertilizantes. Estudios lisimétricos. Boletín Técnico N° 1. SOQUIMICH-UACH. 21 p.

- TEUBER, N. 1996. La pradera en el llano longitudinal de la X Región (Valdivia - Chiloé). **In:** Praderas para Chile. Ignacio Ruíz.(ed). Instituto de Investigaciones Agropecuarias. INIA. Ministerio de Agricultura. Santiago, Chile. pp. 536 - 544.
- TEUBER, N; URIBE, H. y OPAZO, L (eds). 2003. Hagamos de la lechería un mejor negocio, Valdivia, Chile. 4 de septiembre 2003. Serie de actas INIA – N° 24.
- TEUBER, N. y BERNIER, R. 1977. Producción estacional de gramíneas forrajeras en el Llano Central de Osorno. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Estación Experimental Remehue. Osorno, Chile. Unidad Informativa. N° 13. 6 p.
- WATSON, C. 1986. Preferencial uptake of ammonium nitrogen from soil by ryegrass under simulated spring conditions. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*. 107:171-177.
- WHITEHEAD, D. 1995. *Grassland nitrogen*. CABI Publishing. Wallingford, Inglaterra. 397 p.
- ZEMENCHIK, R. y ALBRECHT, K. 2002. Nitrogen use efficiency and apparent nitrogen recovery of kentucky bluegrass, smooth bromegrass, and orchardgrass. *Agronomy Journal*. 94 p.

ANEXOS

ANEXO 1 Fecha en que se realizaron los muestreos del material vegetal, para cada parcela de cada tratamiento, en la época invernal 2006.

Corte	Primera fecha (parcela 1)	Segunda fecha (parcela 2)	Tercera fecha (parcela 3)
Homogenización	13 mayo	23 mayo	31 mayo
Muestreo	08 junio	16 junio	23 junio
Muestreo	30 junio	07 julio	14 julio
Muestreo	21 julio	28 julio	04 agosto
Muestreo	11 agosto	19 agosto	26 agosto
Muestreo	02 septiembre	12 septiembre	16 septiembre
Muestreo	24 septiembre	01 octubre	

ANEXO 2 Fecha en que se realizaron los análisis de nitrógeno del suelo, a profundidades de 20 cm y 90 cm durante el año 2006

Fecha de muestreo
08 junio
23 junio
08 julio
23 julio
07 agosto
22 agosto
06 septiembre
21 septiembre
01 octubre

ANEXO 3 Análisis de varianza (ANDEVA) del rendimiento de materia seca de los tratamientos que no recibieron niveles de fertilización N.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	2128,6	1	2128,6	0,213	0,648
Intra-grupos	320476,1	32	10014,9		
Total	322604,7	33			

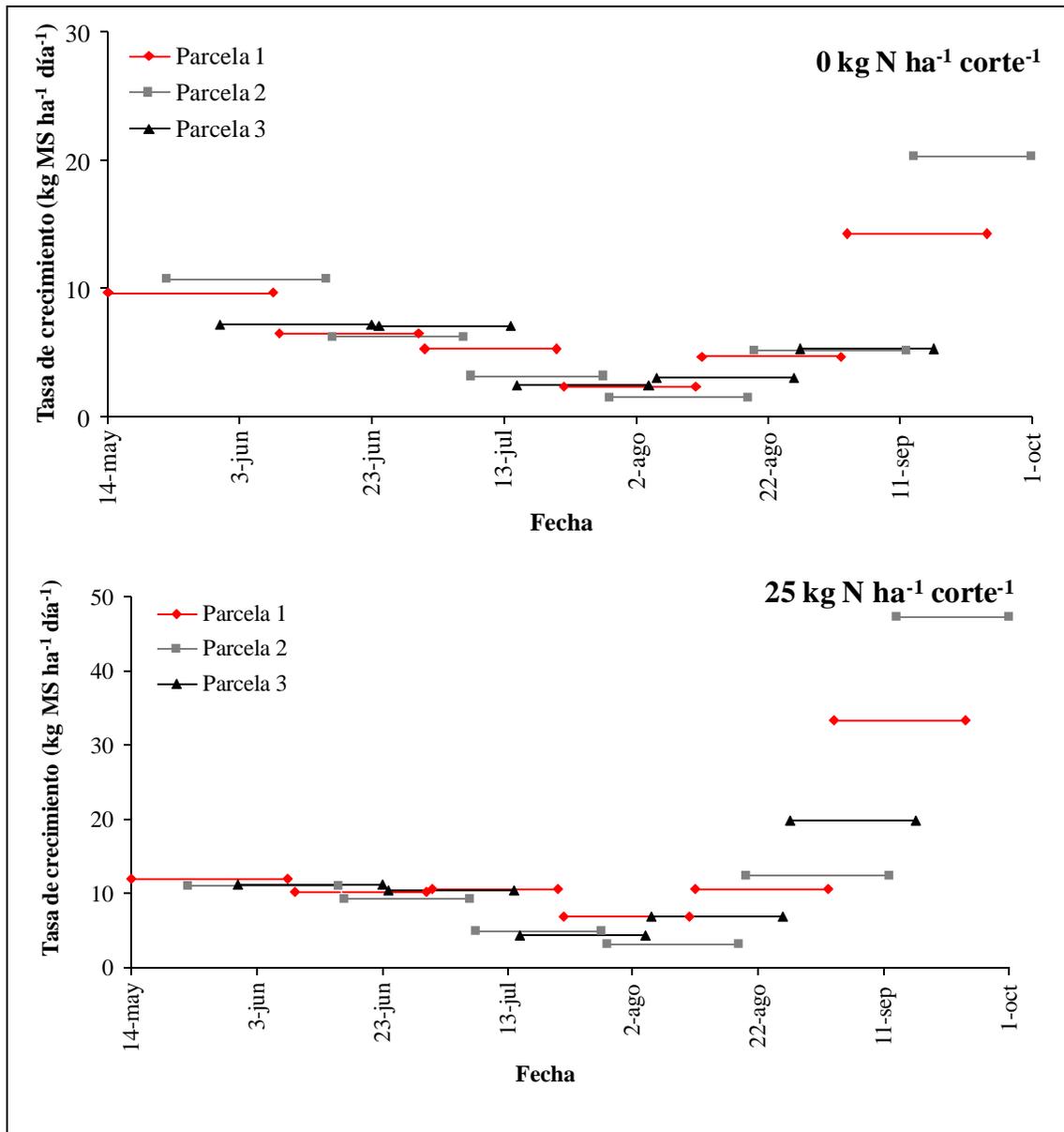
ANEXO 4 Análisis de varianza (ANDEVA) del rendimiento de materia seca de los tratamientos con niveles de fertilización de 25 kg N ha⁻¹ después de cada corte.

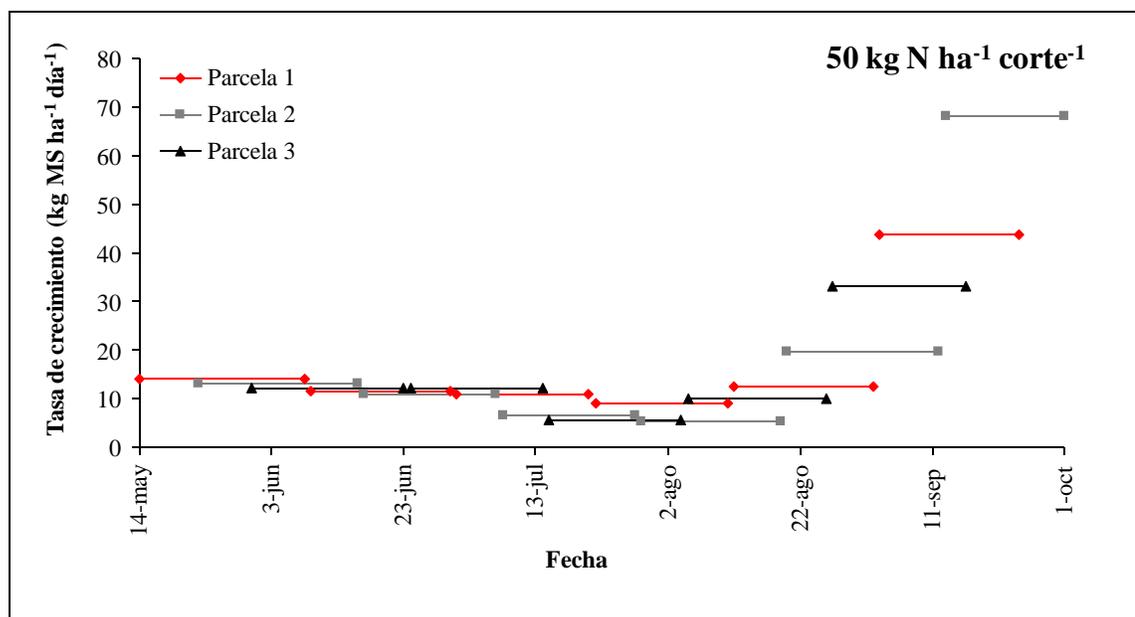
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	350,9	1	350,9	0,007	0,933
Intra-grupos	1580542,8	32	49392,0		
Total	1580893,7	33			

ANEXO 5 Análisis de varianza (ANDEVA) del rendimiento de materia seca de los tratamientos con niveles de fertilización de 50 kg N ha⁻¹ después de cada corte.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	1,2	1	1,2	1,18x10 ⁻⁰⁵	0,997
Intra-grupos	3382220,3	32	105694,4		
Total	3382221,5	33			

ANEXO 6 Distribución de de los valores promedio de la tasa de crecimiento en sus respectivos períodos de crecimiento en cada parcela de cada tratamiento.





ANEXO 7 Efectos de los distintos niveles de fertilización N sobre la contribución relativa (%) de las especies al final del período del ensayo.

Especies	Fertilización N (kg N ha ⁻¹ corte ⁻¹)		
	0	25	50
Gramíneas	64,32	75,31	77,34
<i>Lolium perenne</i>	12,68	21,69	20,49
<i>Lolium multiflorum</i>	2,16	4,48	4,83
<i>Bromus valdivianus</i>	13,48	16,31	18,95
<i>Holcus lanatus</i>	13,15	14,30	13,97
<i>Dactylis glomerata</i>	2,01	4,02	3,63
<i>Anthoxanthum odoratum</i>	7,35	3,83	3,84
<i>Agrostis capillaris</i>	5,51	2,65	3,52
Otras gramíneas	7,99	8,02	8,11
Leguminosas	5,84	2,18	1,94
<i>Trifolium repens</i>	4,34	1,84	1,52
Otras leguminosas	1,49	0,34	0,43
Hoja ancha	29,84	22,50	20,71

ANEXO 8 Dosis de fertilización de N acumulada en cada tratamiento durante la época invernal evaluada.

Período de crecimiento		Fertilizante acumulado (kg N ha ⁻¹)		
Inicio	Inicio	Fertilización N (kg N ha ⁻¹ corte ⁻¹)		
		0	25	50
14 mayo	08-jun	0	25	50
24 mayo	16-jun	0	25	50
01 junio	23-jun	0	25	50
09-jun	30-jun	0	50	100
17-jun	07-jul	0	50	100
24-jun	14-jul	0	50	100
01-jul	21-jul	0	75	150
08-jul	28-jul	0	75	150
15-jul	04-ago	0	75	150
22-jul	11-ago	0	100	200
29-jul	19-ago	0	100	200
05-ago	26-ago	0	100	200
12-ago	02-sep	0	125	250
20-ago	12-sep	0	125	250
27-ago	16-sep	0	125	250
03-sep	24-sep	0	150	300
13-sep	01-oct	0	150	300

ANEXO 9 Variables climáticas expresadas en períodos de tres semanas.

Período de crecimiento		Precipitaciones	R. Global	T. Media.
Inicio	Inicio	(mm)	(cal cm ⁻² día ⁻¹)	(°C)
14 mayo	08-jun	486,8	57,3	9,6
24 mayo	16-jun	496,8	49,1	9,9
01 junio	23-jun	529,4	53,8	10,0
09-jun	30-jun	350,9	45,1	10,2
17-jun	07-jul	368,3	45,1	11,5
24-jun	14-jul	377,3	46,3	10,6
01-jul	21-jul	398,2	46,7	10,4
08-jul	28-jul	402,5	51,9	8,8
15-jul	04-ago	261,6	64,1	8,5
22-jul	11-ago	326,6	73,4	8,1
29-jul	19-ago	293,2	85,3	8,4
05-ago	26-ago	266,7	104,4	9,4
12-ago	02-sep	120,4	130,2	9,2
20-ago	12-sep	159,4	144,3	9,8
27-ago	16-sep	159,4	145,9	9,5
03-sep	24-sep	170,5	145,8	10,2
13-sep	01-oct	53,2	144,6	10,7

ANEXO 10 Estimación de la tasa de crecimiento según metodología de Anslow, para cada día del ensayo en su respectivos niveles de fertilización N.

Fecha	Fertilización N (kg N ha⁻¹ corte⁻¹)		
	0	25	50
14 mayo	9,6 a	11,9 a	14,2 a
15 mayo	9,6 a	11,9 a	14,2 a
16 mayo	9,6 a	11,9 a	14,2 a
17 mayo	9,6 a	11,9 a	14,2 a
18 mayo	9,6 a	11,9 a	14,2 a
19 mayo	9,6 a	11,9 a	14,2 a
20 mayo	9,6 a	11,9 a	14,2 a
21 mayo	9,6 a	11,9 a	14,2 a
22 mayo	9,6 a	11,9 a	14,2 a
23 mayo	9,6 a	11,9 a	14,2 a
24 mayo	10,2 a	11,5 a	13,7 a
25 mayo	10,2 a	11,5 a	13,7 a
26 mayo	10,2 a	11,5 a	13,7 a
27 mayo	10,2 a	11,5 a	13,7 a

Fecha	Fertilización N (kg N ha ⁻¹ corte ⁻¹)		
	0	25	50
28 mayo	10,2 a	11,5 a	13,7 a
29 mayo	10,2 a	11,5 a	13,7 a
30 mayo	10,2 a	11,5 a	13,7 a
31 mayo	10,2 a	11,5 a	13,7 a
01 junio	9,2 a	11,4 a	13,2 a
02 junio	9,2 a	11,4 a	13,2 a
03 junio	9,2 a	11,4 a	13,2 a
04 junio	9,2 a	11,4 a	13,2 a
05 junio	9,2 a	11,4 a	13,2 a
06 junio	9,2 a	11,4 a	13,2 a
07 junio	9,2 a	11,4 a	13,2 a
08 junio	9,2 a	11,4 a	13,2 a
09 junio	8,2 a	10,9 ab	12,3 b
10 junio	8,2 a	10,9 ab	12,3 b
11 junio	8,2 a	10,9 ab	12,3 b
12 junio	8,2 a	10,9 ab	12,3 b
13 junio	8,2 a	10,9 ab	12,3 b
14 junio	8,2 a	10,9 ab	12,3 b
15 junio	8,2 a	10,9 ab	12,3 b
16 junio	8,2 a	10,9 ab	12,3 b
17 junio	6,7 a	10,3 b	11,5 b
18 junio	6,7 a	10,3 b	11,5 b
19 junio	6,7 a	10,3 b	11,5 b
20 junio	6,7 a	10,3 b	11,5 b
21 junio	6,7 a	10,3 b	11,5 b
22 junio	6,7 a	10,3 b	11,5 b
23 junio	6,7 a	10,3 b	11,5 b
24 junio	6,6 a	10,0 b	11,5 c
25 junio	6,6 a	10,0 b	11,5 c
26 junio	6,6 a	10,0 b	11,5 c
27 junio	6,6 a	10,0 b	11,5 c
28 junio	6,6 a	10,0 b	11,5 c
29 junio	6,6 a	10,0 b	11,5 c
30 junio	6,6 a	10,0 b	11,5 c
01 julio	6,2 a	10,1 b	11,4 b
02 julio	6,2 a	10,1 b	11,4 b
03 julio	6,2 a	10,1 b	11,4 b
04 julio	6,2 a	10,1 b	11,4 b
05 julio	6,2 a	10,1 b	11,4 b
06 julio	6,2 a	10,1 b	11,4 b
07 julio	6,2 a	10,1 b	11,4 b
08 julio	5,2 a	8,7 b	9,9 b

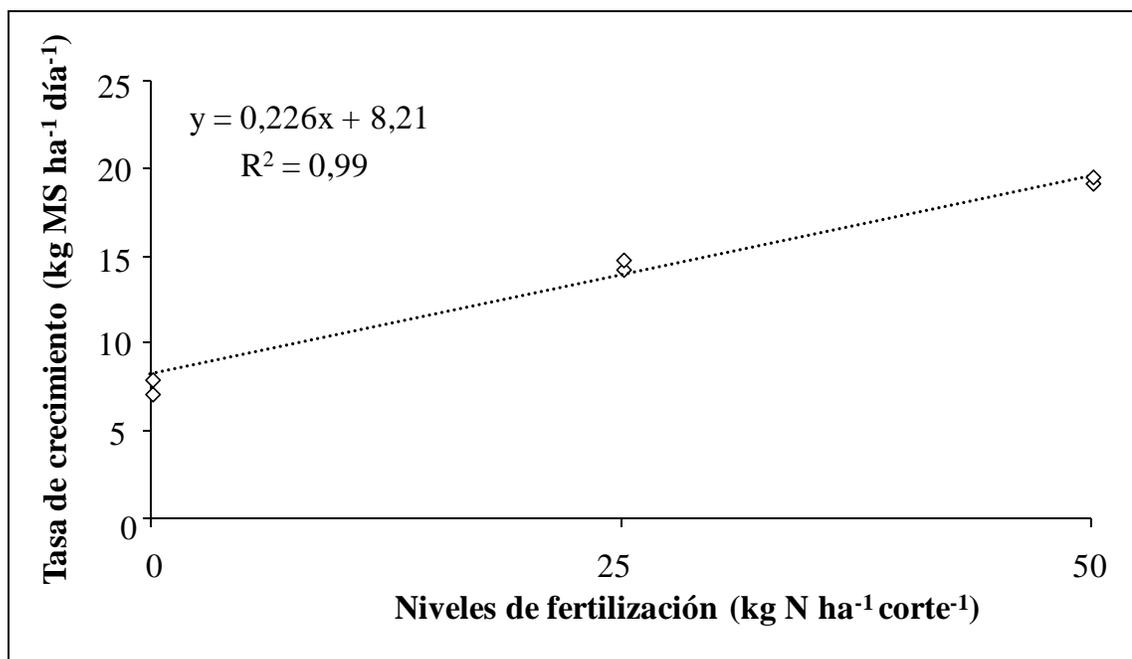
Fecha	Fertilización N (kg N ha ⁻¹ corte ⁻¹)		
	0	25	50
09 julio	5,2 a	8,7 b	9,9 b
10 julio	5,2 a	8,7 b	9,9 b
11 julio	5,2 a	8,7 b	9,9 b
12 julio	5,2 a	8,7 b	9,9 b
13 julio	5,2 a	8,7 b	9,9 b
14 julio	5,2 a	8,7 b	9,9 b
15 julio	3,7 a	6,6 ab	7,8 b
16 julio	3,7 a	6,6 ab	7,8 b
17 julio	3,7 a	6,6 ab	7,8 b
18 julio	3,7 a	6,6 ab	7,8 b
19 julio	3,7 a	6,6 ab	7,8 b
20 julio	3,7 a	6,6 ab	7,8 b
21 julio	3,7 a	6,6 ab	7,8 b
22 julio	2,7 a	5,4 b	7,1 c
23 julio	2,7 a	5,4 b	7,1 c
24 julio	2,7 a	5,4 b	7,1 c
25 julio	2,7 a	5,4 b	7,1 c
26 julio	2,7 a	5,4 b	7,1 c
27 julio	2,7 a	5,4 b	7,1 c
28 julio	2,7 a	5,4 b	7,1 b
29 julio	2,1 a	4,8 b	6,8 c
30 julio	2,1 a	4,8 b	6,8 c
31 julio	2,1 a	4,8 b	6,8 c
01 agosto	2,1 a	4,8 b	6,8 c
02 agosto	2,1 a	4,8 b	6,8 c
03 agosto	2,1 a	4,8 b	6,8 c
04 agosto	2,1 a	4,8 b	6,8 c
05 agosto	2,3 a	5,6 b	8,2 c
06 agosto	2,3 a	5,6 b	8,2 c
07 agosto	2,3 a	5,6 b	8,2 c
08 agosto	2,3 a	5,6 b	8,2 c
09 agosto	2,3 a	5,6 b	8,2 c
10 agosto	2,3 a	5,6 b	8,2 c
11 agosto	2,3 a	5,6 b	8,2 c
12 agosto	3,1 a	6,9 b	9,3 c
13 agosto	3,1 a	6,9 b	9,3 c
14 agosto	3,1 a	6,9 b	9,3 c
15 agosto	3,1 a	6,9 b	9,3 c
16 agosto	3,1 a	6,9 b	9,3 c
17 agosto	3,1 a	6,9 b	9,3 c
18 agosto	3,1 a	6,9 b	9,3 c
19 agosto	3,1 a	6,9 b	9,3 c

Fecha	Fertilización N (kg N ha ⁻¹ corte ⁻¹)		
	0	25	50
20 agosto	4,3 a	9,9 b	14,0 c
21 agosto	4,3 a	9,9 b	14,0 c
22 agosto	4,3 a	9,9 b	14,0 c
23 agosto	4,3 a	9,9 b	14,0 c
24 agosto	4,3 a	9,9 b	14,0 c
25 agosto	4,3 a	9,9 b	14,0 c
26 agosto	4,3 a	9,9 b	14,0 c
27 agosto	5,1 a	14,3 b	21,7 c
28 agosto	5,1 a	14,3 b	21,7 c
29 agosto	5,1 a	14,3 b	21,7 c
30 agosto	5,1 a	14,3 b	21,7 c
31 agosto	5,1 a	14,3 b	21,7 c
01 septiembre	5,1 a	14,3 b	21,7 c
02 septiembre	5,1 a	14,3 b	21,7 c
03 septiembre	8,3 a	21,9 b	32,2 c
04 septiembre	8,3 a	21,9 b	32,2 c
05 septiembre	8,3 a	21,9 b	32,2 c
06 septiembre	8,3 a	21,9 b	32,2 c
07 septiembre	8,3 a	21,9 b	32,2 c
08 septiembre	8,3 a	21,9 b	32,2 c
09 septiembre	8,3 a	21,9 b	32,2 c
10 septiembre	8,3 a	21,9 b	32,2 c
11 septiembre	8,3 a	21,9 b	32,2 c
12 septiembre	8,3 a	21,9 b	32,2 c
13 septiembre	13,3 a	33,5 b	48,4 b
14 septiembre	13,3 a	33,5 b	48,4 b
15 septiembre	13,3 a	33,5 b	48,4 b
16 septiembre	13,3 a	33,5 b	48,4 b
17 septiembre	17,3 a	40,3 b	56,0 b
18 septiembre	17,3 a	40,3 b	56,0 b
19 septiembre	17,3 a	40,3 b	56,0 b
20 septiembre	17,3 a	40,3 b	56,0 b
21 septiembre	17,3 a	40,3 b	56,0 b
22 septiembre	17,3 a	40,3 b	56,0 b
23 septiembre	17,3 a	40,3 b	56,0 b
24 septiembre	17,3 a	40,3 b	56,0 b
25 septiembre	20,3 a	47,2 ab	68,2 b
26 septiembre	20,3 a	47,2 ab	68,2 b
27 septiembre	20,3 a	47,2 ab	68,2 b
28 septiembre	20,3 a	47,2 ab	68,2 b
29 septiembre	20,3 a	47,2 ab	68,2 b
30 septiembre	20,3 a	47,2 ab	68,2 b

Fecha	Fertilización N (kg N ha ⁻¹ corte ⁻¹)		
	0	25	50
1 octubre	20,3 a	47,2 ab	68,2 b
Promedio	7,6 a	14,5 b	19,4 c

Diferentes letras en la fila indican diferencias significativas ($p < 0,05$; Tukey).

ANEXO 11 Tendencia lineal de la tasa de crecimiento promedio en los distintos niveles de fertilización N, durante la época invernal evaluada según metodología Anslow.



ANEXO 12 Distribución de la tasa de crecimiento en cada tratamiento con respecto a la radiación global y a la temperatura media según la metodología Anslow.

