

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA
FACULTAD DE AGRONOMIA

EFFECTOS DE LA FERTILIZACION NITROGENADA Y LA
INTENSIDAD DE PASTOREO SOBRE LOS
COMPONENTES DE LA PRODUCCION DE FORRAJE DE
Bromus auleticus Trinus EN CAMPO NATURAL

por

Mauricio SEVRINI VILLAMOR
Matías ZANONIANI CORTI

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

MONTEVIDEO
URUGUAY
2010

Tesis aprobada por:

Director:

Ing. Agr. Pablo Boggiano

.....

Ing. Agr. Ramiro Zanoniani

.....

Ing. Agr. David Silveira

Fecha:

Autor:

Mauricio Sevrini Villamor

.....

Matías Zanoniani Corti

AGRADECIMIENTOS

Si bien ha requerido de esfuerzo y mucha dedicación por parte de sus autores y sus directores de tesis, no hubiese sido posible su finalización sin la cooperación desinteresada e insistencia permanente de nuestros familiares y amigos.

El agradecimiento va dedicado a:

Directores de tesis que nos guiaron en todo momento,

Familiares, todos aquellos que nos acompañaron, aguantaron y animaron hasta último momento.

A la Facultad de Agronomía-EEMAC, a su Dirección y Jefatura de Operaciones, por el apoyo a la ejecución de todos los trabajos desarrollados a lo largo del trabajo de campo.

Todos nuestros amigos y compañeros que estuvieron y compartieron tantas aventuras, experiencias y desveladas.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
PAGINA DE APROBACION.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	VIII
1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRAFICA</u>	3
2.1. <u>INTRODUCCIÓN</u>	3
2.2. <u>EFFECTO DEL NITRÓGENO</u>	4
2.2.1. <u>Producción de Materia Seca</u>	6
2.2.2. <u>Macollaje</u>	7
2.2.3. <u>Características morfogénicas de gramíneas</u>	8
2.2.4. <u>Tasa de expansión de hojas</u>	9
2.2.5. <u>Tasa de aparición de hojas</u>	10
2.2.6. <u>Tamaño de hojas (largo por ancho)</u>	12
2.3. <u>TEMPERATURA (OTOÑO – INVIERNO – PRIMAVERA)</u>	13
2.4. <u>EFFECTO DE LA DEFOLIACIÓN</u>	14
2.4.1. <u>Producción de Materia Seca</u>	15
2.4.2. <u>Macollaje</u>	16
2.4.3. <u>Características morfogénicas de gramíneas</u>	17
2.4.4. <u>Tasa de expansión de hojas</u>	18
2.4.5. <u>Tasa de aparición de hojas</u>	19
2.4.6. <u>Tamaño de hojas</u>	29
2.4.7. <u>Área Foliar Remanente</u>	20
2.4.8. <u>Efecto sobre el perfil de la pastura</u>	20
3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u>	23
3.1. <u>LOCALIZACION</u>	23

3.2. CLIMA Y SUELO	23
3.3. HISTORIA DEL ÁREA	24
3.4. TRATAMIENTO Y DELINEAMIENTO EXPERIMENTAL.....	24
3.5. PLANEAMIENTO DEL ÁREA EXPERIMENTAL	29
3.6. PERIODO EXPERIMENTAL	29
3.7. MANEJO DEL EXPERIMENTO.....	29
3.7.1. <u>Fertilización</u>	29
3.7.2. <u>Pastoreo</u>	29
3.8. MEDICIONES EN PASTURAS.....	30
3.8.1. <u>Mediciones en macollos marcados de <i>Bromus auleticus</i></u>	30
3.8.1.1. Numero de hojas expandidas	30
3.8.1.2. Extensión de láminas verdes por macollo.....	31
3.8.1.3. Extensión media de láminas	31
3.8.1.4. Extensión final de láminas	31
3.8.1.5. Duración del periodo de expansión de hojas	31
3.8.1.6. Tasa media de aparición de hojas (tah).....	31
3.8.1.7. Tasa de extensión foliar por macollo	32
3.8.1.8. Tasa de senescencia foliar por macollo.....	32
3.8.2. <u>Densidad y peso de macollos</u>	32
3.8.3. <u>Dinámica poblacional</u>	33
3.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	33
4. <u>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	38
4.1. DATOS CLIMATICOS	38
4.2. VARIABLES ESTRUCTURALES	39
4.2.1. <u>Muestreo demografico</u>	39
4.2.1.1. Densidad de plantas	39
4.2.1.2. Densidad de macollos.....	46
4.2.1.3. Macollos por planta.....	51
4.2.1.4. Peso de los macollos	53

4.2.2. <u>Muestreo de dinamica poblacional</u>	57
4.3. VARIABLES MORFOGÉNICAS	60
4.3.1. <u>Ancho de hoja completamente expandida</u>	60
4.3.2. <u>Numero de hojas</u>	61
4.3.3. <u>Largo de lámina de hoja completamente expandida</u>	62
4.3.3.1. Otoño	63
4.3.3.2. Primavera	64
4.3.3.3. Invierno	65
4.3.4. <u>Filocrón</u>	67
4.3.5. <u>Tasa de elongación foliar</u>	68
4.3.5.1. Otoño	68
4.3.6. <u>Tasa de expansión foliar por macolla en mm/°c</u>	69
4.3.6.1. Otoño	69
4.3.6.2. Invierno	72
4.3.7. <u>Tasa de senescencia foliar</u>	73
4.3.7.1. Primavera	74
4.3.8. <u>Area específica</u>	76
4.3.8.1. Otoño	76
4.3.8.2. Invierno	78
4.3.8.3. Primavera	78
4.3.9. <u>Producción neta de láminas en kg de ms/ha/gcd</u>	79
4.3.9.1. Otoño	79
4.3.9.2. Invierno	81
4.3.9.3. Primavera	82

4.4. CONSIDERACIONES GENERALES.....	83
5. <u>CONCLUSIONES</u>	87
6. <u>RESUMEN</u>	88
7. <u>SUMMARY</u>	90
8. <u>BIBLIOGRAFIA</u>	92
9. <u>ANEXOS</u>	99

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Bloques (B), oferta de forraje (OF % PV) en kg de MS/100 kg de PV/día, niveles de nitrógeno (N) en kg./ha de N, tratamiento factorial (F), axial (A), central (C), coeficientes de los niveles de factores y área de los potreros en m ²	27
2. Esquema del análisis de varianza.....	34
3. Número de macollos por planta para las tres estaciones estudiadas	50
4. Peso de macollos para las tres estaciones estudiadas.....	52
5. Densidad de plantas para las tres estaciones estudiadas.....	58
6. Densidad de macollos para las tres estaciones.....	59
7. Macollos por planta para las tres estaciones estudiadas.....	59
8. Ancho de lámina para las tres estaciones estudiadas.....	61
9. Cantidad de hojas vivas por macollo para las tres estaciones estudiadas	62
10. Largo de lámina de hoja completamente expandida.....	62
11. Filocron expresado en grados/ día para las tres estaciones estudiadas	67
12. Tasa de elongación expresado en cm/ ^o c para invierno y primavera	73
13. Parámetros estadísticos estimados por el modelo para la tasa de senescencia foliar para otoño, invierno y primavera.....	73
14. Parámetros de la regresión de la respuesta del peso específico en mg/mm	78
15. Parámetros de la regresión de la respuesta de la producción de láminas en kg MS/ha.....	82
Figura No.	
1. Configuración geométrica del delineamiento central compuesto, utilizado en el experimento	28
2. Temperatura y precipitaciones promedio (1990-2000) y para el año en estudio (2002) para Paysandú.	38
3. Respuesta de la población de plantas (plantas/m ²) de <i>Bromus auleticus</i> a la oferta de forraje (OF % PV) y fertilización nitrogenada (kg N /ha).	39
4. Respuesta invernal de la población de plantas (plantas/m ²) de <i>Bromus auleticus</i> a la fertilización nitrogenada (kg N /ha) para una oferta de forraje constante de 9 % PV.....	41

5.	Respuesta invernal de la población de plantas (plantas/m ²) de <i>Bromus auleticus</i> a la oferta de forraje (% PV) manteniendo una fertilización nitrogenada constante de 150 kg N/ha.....	42
6.	Respuesta de la población de plantas (plantas/m ²) de <i>Bromus auleticus</i> a la oferta de forraje (OF % PV) y fertilización nitrogenada (kg N/ha). Primavera.....	44
7.	Respuesta de la población de macollas (macollas/m ²) de <i>Bromus auleticus</i> a la oferta de forraje (OF % PV) y fertilización nitrogenada (Kg N/ha). Otoño.....	46
8.	Respuesta de la población de macollas (macollas/m ²) de <i>Bromus auleticus</i> a la oferta de forraje (OF % PV) y fertilización nitrogenada (Kg.N/ha). Invierno.....	48
9.	Respuesta de la población de macollas (macollas/m ²) de <i>Bromus auleticus</i> a la oferta de forraje (OF % PV) y fertilización nitrogenada (Kg.N/ha). Primavera.....	50
10.	Respuesta otoñal del número de macollas por plantas (mac/pl) de <i>Bromus auleticus</i> a la oferta de forraje (% PV) manteniendo una fertilización nitrogenada constante de 150 kg N/ha.....	52
11.	Respuesta otoñal del peso de macollas (mg/mac) de <i>Bromus auleticus</i> a la oferta de forraje (% PV) manteniendo una fertilización nitrogenada constante de 150 kg N/há.....	54
12.	Respuesta invernal del peso de macollas (mg/mac) de <i>Bromus auleticus</i> a la oferta de forraje (% PV) manteniendo una fertilización nitrogenada constante de 150 kg N/ha.	55
13.	Respuesta invernal del peso de macollas (mg/mac) de <i>Bromus auleticus</i> a la fertilización nitrogenada manteniendo una oferta de forraje (% PV) constante de 9%.....	56
14.	Respuesta primaveral del peso de macollas (mg/mac) de <i>Bromus auleticus</i> a la fertilización nitrogenada manteniendo una oferta de forraje (% PV) constante de 9%.....	57
15.	Efecto prom. del nivel de N en el ancho de lámina de <i>Bromus auleticus</i>	60
16.	Respuesta otoñal del largo de lamina (cm/lam) de <i>Bromus auleticus</i> a la oferta de forraje (% PV) manteniendo una fertilización nitrogenada constante de 150 kg N/ha.....	63
17.	Respuesta primaveral del largo de lamina (cm/lam) de <i>Bromus auleticus</i> a la fertilización nitrogenada manteniendo una oferta de forraje (% PV) constante.....	64
18.	Respuesta del largo de lámina completamente expandida de <i>Bromus auleticus</i> a la oferta de forraje (OF % PV) y fertilización nitrogenada (Kg.N /ha). Invierno.....	65

19.	Respuesta de la tasa de elongación foliar de <i>Bromus auleticus</i> a la oferta de forraje (OF % PV) y fertilización nitrogenada (Kg.N /ha)	68
20.	Respuesta de la tasa de expansión foliar por macolla de <i>Bromus auleticus</i> a la oferta de forraje (OF % PV) y fertilización nitrogenada (kg N/ha). Otoño.....	70
21.	Respuesta invernal de la tasa de elongación expresada en cm./0c de <i>Bromus auleticus</i> a la fertilización nitrogenada manteniendo una oferta de forraje (% PV) constante	72
22.	Respuesta de la tasa de senescencia total de <i>Bromus auleticus</i> a la oferta de forraje (OF % PV) y fertilización nitrogenada (Kg.N /ha). Primavera.....	75
23.	Respuesta del peso específico de <i>Bromus auleticus</i> a la fertilización nitrogenada manteniendo una oferta de forraje (% PV) constante.....	77
24.	Respuesta de la producción neta de láminas en kg. de ms/ha/gcd de <i>Bromus auleticus</i> a la oferta de forraje (OF % PV) y fertilización nitrogenada (Kg.N /ha). Otoño.....	79
25.	Respuesta de la producción neta de láminas en kg. De ms/ha/gcd de <i>Bromus auleticus</i> a la oferta de forraje (OF % PV) y fertilización nitrogenada (Kg.N /ha). Invierno.....	81
26.	Relación entre las variables morfogénicas y las características estructurales de la pastura (Lemaire y Cchapman, 1996).....	84

1. INTRODUCCIÓN

El Uruguay es un país cuya economía es fundamentalmente dependiente del sector agropecuario, dentro del cual la producción pecuaria juega un rol preponderante, siendo el Campo Natural la base forrajera que sustenta a ésta. Dada la importancia económica del recurso campo natural, es que resulta necesario conocer el rendimiento potencial de las pasturas naturales frente a mejoras en la nutrición mineral.

La productividad del CN presenta una marcada estacionalidad relacionada básicamente a condiciones climáticas, haciéndose limitante la producción de forraje invernal. Esto es provocado por una baja frecuencia de especies invernales productivas, reducida disponibilidad de formas asimilables de nitrógeno en el suelo de las pasturas naturales y manejos del pastoreo que no respetan sus requerimientos fisiológicos para el rebrote. Surge como alternativa el uso de la fertilización nitrogenada para promover el crecimiento de las especies invernales productivas, de forma de reducir el déficit productivo invernal. La puesta en práctica de esta opción estará sujeta a las fluctuaciones de precio del fertilizante y precio del producto animal. El uso rentable del nitrógeno dependerá tanto del precio como de la respuesta obtenida en la pastura y cambios en la eficiencia en el uso del nutriente (Ayala y Carámbula, 1994a).

Varios factores condicionan la respuesta al agregado de N, la dosis, el momento de aplicación, las especies componentes de la pastura y el manejo del pastoreo, que determina el área foliar remanente para el rebrote de la pastura. Es por tanto necesario entender cómo funcionan esas relaciones en las especies de campo natural para poder decidir donde y cuando fertilizar una pastura natural para obtener el mayor retorno económico. Los programas de

utilización de pasturas deben basarse en el conocimiento de la capacidad diferencial de las especies forrajeras para recomponer el área foliar removida por el pastoreo (Fulkerson y Slack, 1995) y en interacción con las variaciones de los factores ambientales que controlan el crecimiento (Lemaire y Chapman, 1996).

Según Mazzanti y Lemaire (1994b), para avanzar en este sentido se requiere conocimientos de base sobre la respuesta eco fisiológica de las variables morfogenéticas que determinan la acumulación y la muerte de los tejidos de las especies forrajeras más importantes de las pasturas naturales.

El objetivo del presente trabajo es estudiar la respuesta en las características morfogénicas de *Bromus auleticus* Trinus de una pastura natural, a la intensidad del pastoreo y al nivel de fertilización nitrogenada y sus efectos sobre la producción de forraje.

2. REVISIÓN BIBLIOGRAFICA

2.1. INTRODUCCIÓN

Según Rosengurtt (1946) *Bromus auleticus* se caracteriza por ser un pasto tierno, perenne de ciclo invernal, común en campos vírgenes y de rastrojos muy antiguos, pasa inadvertido por el castigo que le infligen los animales y florece muy poco en los potreros. Desaparece en los piquetes y en los campos muy trabajados, prospera en lugares poco pastoreados, particularmente en los costados de las vías férreas; en este último lugar semilla con abundancia a pesar de las quemas frecuentes a las que se les somete. El crecimiento inicial es extremadamente débil; empieza a macollar, adquiriendo densidad la producción puede ser reducida en el primer año, en la primavera; alcanza la plenitud del vigor al final del segundo año, o el tercero. Produce abundante semilla fácil de recolectar, trillar y manipular; sazona en noviembre y diciembre. Reposa intensamente durante el verano de sequedad normal, y cuando es muy llovedor se mantiene verde; resistente a eventualidades desfavorables durante esta estación.

El estudio de diferentes accesiones en siembra de *Bromus auleticus* evidenció que la producción promedio de semilla estimada sobre plantas de más de un año fue de 872 kg /ha, observándose grandes variaciones (rango: 160-1990 kg /ha.). Las variedades de hoja ancha (5-9 mm, a los 120 días) y glabra mostraron mayor largo de hoja, mayor producción de forraje por metro lineal y por planta; panojamiento más tardío y como consecuencia menor porcentaje de plantas florecidas, mayor producción de semillas por plantas y mejor calidad forrajera determinada por una mayor proporción de tejido digestible y mayor apetecibilidad que los otros tipos de plantas.

Es una especie que muestra lento establecimiento y desarrollo inicial poco vigoroso pero que muestran mayor estabilidad de producción, manteniendo rendimientos de forraje más o menos constante, considerándose una especie de buena persistencia. Según Freyre y Methol (1982), demora en germinar entre 10 y 12 días, valores menores a los encontrados por Rosengurt (1946) donde se tienen datos de germinación luego de las dos a tres semanas. Es una especie a tener en cuenta al momento de realizar mejoramientos de larga vida, basándonos en los niveles productivos logrados, estabilidad de producción y facilidad de manipulación de la semilla.

Las actividades que preserven estas especies y/o estimulen el reapareamiento de las mismas son importantes y deben ser seguidas. El conocimiento de las características morfogénicas de las especies puede ser de gran importancia para que se entienda y maximice la producción primaria de las pasturas (Soares et al., 1998).

Según Oliveira y Moraes (1998) trabajando con distintas dosis de nitrógeno (0, 50, 100 y 200 kg⁻¹ ha⁻¹) encontraron que *Bromus auleticus* responde a aplicaciones de dosis crecientes de nitrógeno hasta aproximadamente 150 kg de N ha⁻¹.

2.2. EFECTO DEL NITRÓGENO

Por lo general este nutriente se encuentra en bajos niveles en la mayoría de los suelos del país.

En la práctica la producción de forraje es limitada universalmente por los niveles de nutrientes en especial el nitrógeno. Así, con especies templadas para producir 10 toneladas de materia seca por ha, con contenidos de 1 % de N, 0,5 % de P y 3 % de K / 10 t/ha MS, se requerirá la disponibilidad de 200 kg de N, 50 kg de P y 300 kg de K (Carámbula, 1996).

Russelle (1992), enfatiza la importancia de conocer las respuestas obtenidas con la fertilización nitrogenada pues es en general el nutriente que más limita la producción vegetal, además de representar un importante costo variable de producción.

La producción de especies nativas es reflejo del equilibrio establecido entre tipo de suelo, su fertilidad natural, las especies presentes y las condiciones ambientales particulares para cada lugar. Dentro de este concepto, el uso de fertilizantes puede ser una alternativa para promover y mejorar la producción de las pasturas nativas (Boggiano, 2000).

La fertilización va a provocar variaciones en el equilibrio dinámico existente en las comunidades. Esas variaciones se pueden manifestar como aumentos en la producción de forraje, variaciones en la distribución estacional de producción de forraje, en la composición botánica, en mejoras de la calidad de forraje, en aumentos de los periodos de crecimiento de la pastura, además de los aumentos de la producción animal (Bottaro y Zabala, 1973).

Trabajando sobre suelos de Basalto y con fertilizaciones de otoño y primavera, Berretta et al. (1998) verificaron aumentos en la contribución de especies de invierno (*Stipa setigera*, *Piptochaetium stipoides* y *Ciperáceas*) para los tratamientos fertilizados. También encontraron aumentos en la participación de especies clasificadas como tipo productivos finos y tiernos.

Las interacciones existentes entre los nutrientes aplicados con la estación del año y el manejo de la defoliación deben ser explotadas con el fin de alterar las relaciones de competencia entre grupos botánicos y dirigir la sucesión hacia el tipo de pastura deseada (Boggiano, 2000).

2.2.1. Producción de materia seca

La capacidad que posee una pastura para producir materia seca depende de la disponibilidad de nutrientes y agua, pero fundamentalmente del grado de explotación que haga de la radiación solar a través de sus hojas (Carámbula, 1971).

Dado que las especies subtropicales y tropicales poseen un potencial de producción de materia seca mayor, requieren de mayor cantidad de nutrientes que las especies templadas, para alcanzarlos. Esto se constata en la respuesta casi lineal en producción de materia seca para especies templadas con dosis de hasta 350 kg /ha de N; mientras en las subtropicales y tropicales estas cifras alcanzan los 1800 kg /ha de N (Carámbula, 1996).

Termezana y Carámbula (1971) encontraron respuestas distintas para suelos superficiales de Basalto. En Litosoles negros presentaron respuesta significativa a dosis altas de N, en tanto los Litosoles rojos respondieron a todos los niveles de N, y no respondieron a la adición de P y K Bemhaja (1994) cita aumentos en la producción de MS hasta aplicaciones de 120 kg N/ha en pasturas nativas sobre suelos de Basalto y Areniscas de Tacuarembó.

Ayala y Carámbula (1994a), estudiaron la respuesta a N (0; 160; 320; kg de N/ha) con una fertilización base de 200 kg P₂O₅/ha y 80 kg /ha de KCl, en una pastura nativa con dos frecuencias de cortes. La presencia de los 3 nutrientes constataron aumentos de 250 – 300 % con relación al testigo. Los cortes más frecuentes determinaron una reducción del rendimiento del orden de 24,3 %.

Ayala y Carámbula (1994a) encontraron que la eficiencia de utilización del N en campo natural vario según la estación del año entre 14 kg MS/ kg de N en primavera - verano y 1,5 kg MS/ kg de N para invierno. En vegetación de

campo natural con introducción de gramíneas de invierno los valores de eficiencia de utilización del N fueron próximos a 19 kg MS/ kg de N (Ayala y Carámbula, 1994b).

Berretta (1994) trabajando con pasturas naturales sobre basalto fertilizadas con 100 kg ha/año de N, detecto efectos acumulativos para la producción anual de forraje (kg/ha de MS) del primer al segundo año.

La reducción de la aplicación de nitrógeno en pastoreo continuo provocó un decremento en la tasa de crecimiento y al mismo tiempo un aumento en la senescencia en igual magnitud, por lo que el crecimiento neto de la pastura se ve disminuido en un porcentaje igual a la suma del decremento más la senescencia (Mazzanti y Lemaire, 1994a).

2.2.2. Macollaje

Con el aumento de la fertilidad se espera obtener un incremento en la frecuencia de especies más productivas y de mayor calidad. Si bien la mayor producción de forraje continuará siendo en primavera, la mayor fertilidad permitirá que las especies estivales entraran en reposo mas tarde en el otoño y rebroten más temprano en primavera. A su vez incrementara el macollaje de las especies activas en invierno, reduciéndose de esta manera el periodo de bajo crecimiento invernal (Berretta, 1996).

En una pastura la densidad de macollos presente en determinado momento, es resultado del balance entre tasa de aparición y tasa de muerte de macollos (Boggiano, 2000). Según Chapman y Lemaire (1993) la tasa de aparición de macollos es dependiente de la tasa de expansión de hojas, ya que la yema que va a dar lugar a una nueva macolla está en la base de las hojas expandidas.

En condiciones no limitantes de disponibilidad de agua y otros nutrientes el aumento en los niveles de nitrógeno evidencia respuestas positivas en el número de macollos por planta, lo cual en el ámbito de la cubierta vegetal se traduce en aumento del número de macollos por unidad de superficie (Wilman y Wright, 1983).

Wilman y Wright (1983) trabajando con *Lolium perenne*, reportan una relación positiva entre nivel de nitrógeno aplicado y el aumento en la población de macollas cuando la pastura fue defoliada a intervalos de 4-5 semanas. En esas condiciones el número de macollas aumento 6,6 veces, al comparar las dosis de 0 y 200 kg de N/ha/año. Ellos determinaron que para los mismos niveles de N, el aumento de los intervalos entre cortes redujo en número de macollas.

Una condición para que las yemas produzcan una nueva macolla es que exista una alta relación de radiación R/RL y esta señal se reduce a medida que se acumula área foliar en el perfil de la pastura (Deregibus et al. 1985, Carámbula 1996, Matthew et al. 1999).

Altas aplicaciones de nitrógeno en pasturas de *Festuca arundinacea* incrementaron el crecimiento de la pastura en un 39 % como consecuencia de incrementarse en un 13 % la tasa de crecimiento por macolla y un 21 % en el incremento de la densidad de macollos (Mazzanti y Lemaire, 1994b).

2.2.3. Características morfogénicas de gramíneas

Para promover una utilización eficiente de N, es necesario una adecuada comprensión de sus efectos sobre el desarrollo y composición de las plantas forrajeras con diferentes niveles de nutriente (Wilman y Wright, 1983).

De acuerdo con Chapman y Lemaire (1993), para las pasturas en estado vegetativo la producción de forraje depende fundamentalmente de tres variables morfogénicas: tasa de aparición de hojas (TAH), tasa de expansión de hojas (TEH) y duración de vida de las hojas (DV). Estas variables son definidas genéticamente, pero pueden ser modificadas por acción de los factores ambientales como temperatura, N y agua.

Según Wilman y Wright (1983) con la aplicación de N y manejo de la defoliación, se puede modificar las características de las pasturas (tamaño y número de macollas, tasa de expansión de hojas, tamaño final de hojas) obteniéndose una recuperación más rápida del área foliar pos defoliación, lo que permite defoliaciones más frecuentes. Hojas de mayor tamaño y perfiles de pasturas más altos desenvuelven una mayor superficie fotosintetizante y son más accesibles para los animales en pastoreo.

2.2.4. Tasa de expansión de hojas

Soares et al. (1998), estudiando las características morfogénicas de *Bromus auleticus*, en macetas con humedad y temperatura controlada encontraron valores para tasa de extensión foliar promedio de 1,077 mm/macolla/GD, para tasa de senescencia foliar de 0,34 mm/macolla/GD.

Rodríguez (1998) encontró que la fertilización nitrogenada incremento la tasa de elongación foliar de *Lolium multiflorum*, *Stipa setigera* y *Hordeum stenostachys*, en los periodos de invierno y primavera con aumentos de 17 % entre N0 y N100 y de 25 % entre N50 y N100. En general, las gramíneas mostraron similares tasas de aumento de elongación foliar por unidad de incremento térmico ($\text{mm } ^\circ\text{C}^{-1}$) en todos los tratamientos de fertilización.

La magnitud de la respuesta a la temperatura en la tasa de elongación foliar de las gramíneas otoño – invierno - primaveral fue similar para los tres

niveles de fertilización. Esto contrasta con los resultados encontrados para diferentes gramíneas forrajeras templadas bajo condiciones de corte, lo que se explicaría por la homogeneidad lograda a nivel del área foliar entre los diferentes tratamientos de fertilización (Rodríguez, 1998).

Los valores de tasa de elongación foliar encontrados en el tratamiento sin N, por Rodríguez (1998) para *Lolium multiflorum*, *Stipa setigera* y *Hordeum stenostachys* fueron 2,7 y 3,9 mm.macolla⁻¹.día⁻¹ para invierno y primavera respectivamente, los cuales son similares a los encontrados por otros autores en pastizales sin fertilizar a mediados de primavera.

El efecto de la fertilización nitrogenada sobre las tasas de elongación podría tener consecuencias en la eficiencia de utilización de los recursos del ambiente, la capacidad diferencial de crecimiento de las especies durante el invierno podría determinar variaciones en la captura de nitrógeno aplicado y afectar la eficiencia de utilización del nutriente (Whitehead, 1995).

Belanger et al. (1992) concluyen que el mayor efecto de la deficiencia de nitrógeno puede ser explicado por la reducción de la tasa de expansión foliar y como consecuencia la reducción de radiación fotosintéticamente activa absorbida por la pastura, y por una reducción en la proporción de asimilados destinados para el rebrote de la pastura.

2.2.5. Tasa de aparición de hojas

Luego de una aplicación de nitrógeno, se dan incrementos en la formación de macollos por planta pero con menor cantidad de hojas por macollo llegando en algunos casos a producir una hoja por macollo (Anslow, 1996).

La tasa de aparición de hojas (TAH) es la variable morfogénica que comanda el desarrollo de las características estructurales de la pastura,

determinando la densidad de macollas, e influyendo sobre el tamaño y el número de hojas por macollo (Chapman y Lemaire, 1993).

Esta variable morfogénica (TAH) está determinando el filocrón de las gramíneas, que es el tiempo medido en grados día que demora en desarrollarse completamente una hoja. El filocrón es poco variable para una misma especie, cuando es medido en GD (tiempo térmico) (Chapman y Lemaire, 1993).

En condiciones naturales se ha observado que la aplicación de nitrógeno tiene pequeño o nulo efecto sobre la tasa de aparición de hojas (Whitehead, 1995).

La fertilización nitrogenada en general incrementa el número de primordios foliares formados por macollo (Whilman y Wright, 1983), sin embargo el efecto de la fertilización nitrogenada sobre la cantidad de hojas emergidas por macollo es variable. En la mayoría de los casos se coincide que la estimula (Whilman y Wright 1983, Whitehead 1995).

Según Soares et al. (1998) el filocrón promedio para *B. auleticus* fue de 383,6 GD/hoja, el cual es un valor relativamente alto al compararlo con *Festuca arundinacea* (200 GD) y *Lolium perenne* (110 GD). El número de hojas vivas por macollo fue de 3,3 en promedio, valores también superiores a los encontrados para *F. arundinacea* (2,5 hojas/macollo) y para *L. perenne* (3 hojas/macollo).

El mayor número de hojas vivas/macollo de *B. auleticus* puede estar relacionado con un mayor filocrón de esta especie, o sea, se necesita una mayor suma térmica para la emisión de una hoja, lo que puede ser compensado por un mayor número de hojas o una mayor duración de vida de hojas (Soares et al., 1998).

La tasa de aparición de hojas está determinada por la temperatura, siendo poco afectada por otras variables ambientales. La fertilización nitrogenada presenta poco efecto sobre la TAH, ya sea en plantas individuales como en pasturas densas (Whitehead, 1995)

La producción de hojas por macollo fue reducida en baja magnitud por la falta de nitrógeno, y fue muy deprimida por medio de la reducción en la densidad de macollos resultante del déficit de nitrógeno, lo que llevó a una disminución de forraje por hectárea (Mazzanti y Lemaire, 1994b)

2.2.6. Tamaño de hojas (largo por ancho)

La fertilización nitrogenada incrementa el ancho y el espesor de las hojas, con un aumento del volumen por lámina foliar y de la longitud de pseudos tallos (Wilman y Wright 1983, Whitehead 1995)

Trabajando con *Lolium multiflorum* para tres dosis de fertilización nitrogenada y dos periodos (invierno – primavera) Rodríguez (1998) no observó diferencias en la longitud foliar total de los individuos con el nivel de nutrición nitrogenada; tampoco encontró diferencias en el peso de los individuos en respuesta a la fertilización nitrogenada.

La respuesta global del crecimiento de forraje a la fertilización nitrogenada se explica en alta proporción (60 a 70 %) por el incremento del área foliar (longitud de hojas y pseudo tallos) y la consiguiente mayor cantidad de energía fotosintéticamente activa que acumulan los cultivos no carenciados en comparación con los carenciados. La restante proporción (30 a 40 %) se debería a los efectos sobre la capacidad fotosintética por unidad de área foliar y la acción que ejerce sobre la mayor proporción de asimilados que se destinan al crecimiento de órganos aéreos en comparación con los subterráneos (Gastal y Lemaire 1988, Belanger et al. 1992).

2.3. TEMPERATURA (OTOÑO – INVIERNO – PRIMAVERA)

En cuanto a la estacionalidad de las pasturas naturales, a pesar de que los momentos críticos de carencia de forraje varían con cada tipo de suelo y el ciclo de las especies que en ellos habitan, los 100 días del invierno es la época más crítica para las producciones animales en todo el país, debido a las bajas temperaturas que limitan la producción de forraje y a las altas presiones de pastoreo que en consecuencia deben soportar en dicha época.

En la mayoría de los campos naturales se observa un neto predominio de las especies estivales, debido fundamentalmente al sobre pastoreo ejercido por los animales sobre las especies invernales más productivas, quienes sufren irremediablemente una defoliación extenuante en las etapas más importantes de su desarrollo en plena crisis invernal. Este comportamiento ha conducido por efectos sucesivos y acumulativos a pasturas predominantemente primavero – estivo - otoñal con una menor producción en invierno debido a la disminución y aun desaparición de especies de ciclo invernal productivas, muy apetecidas y perseguidas por el ganado, tales como: *Bromus auleticus*, *Bromus catharticus*, *Poa lanigera* y *Stipa setigera* (Carámbula, 1996).

Los suelos de F. Bentos poseen una marcada producción estacional (kg MS/ha/día) de forraje de campo natural, en el Verano de 14,6 +/- 9,4 kg MS/ha/día, en OTOÑO de 21,7 +/- 10,6 MS/ha/día, en INVIERNO 6,9 +/- 5,2 MS/ha/día y en PRIMAVERA 15,1 +/- 11,9 MS/ha/día

En el caso específico de esta región, las condiciones climáticas permiten el crecimiento de una gama importante de plantas forrajeras, tanto especies de tipo templado como de tipo subtropical.

Si embargo, las bajas temperaturas invernales detienen el crecimiento de las especies subtropicales y enlentecen el de las templadas, debiéndose cubrir

las deficiencias de forraje en dicha época mediante la utilización de especies y cultivares con buena resistencia a los fríos (Carámbula, 1996).

Las gramíneas templadas muestran saturación lumínica a 20000-30000 lux y pueden crecer a temperaturas tan bajas como 5-10 °C con óptimos de 20 °C; las tropicales y subtropicales continúan creciendo aun a intensidades de luz tan altos como 60.000 lux o más y temperaturas óptimas de 30-35 °C, deteniendo su crecimiento a 15 °C (Carámbula, 1996).

En gramíneas las hojas aparecen con mayor rapidez cuando las plantas están creciendo en ambientes bien iluminados y con temperaturas optimas. Hay una influencia directa de la temperatura que limita marcadamente cuando es baja y promueve un incremento en el grado de aparición de hojas por encima de 25 °C (Anslow, 1996)

Existe respuesta estacional en macollaje debido a los cambios en luz y temperatura, incrementándose el macollaje de *Lolium perenne* hacia fines de agosto (Chapman et al., 1983).

2.4. EFECTO DE LA DEFOLIACIÓN

El régimen o patrón de defoliación es la variable de mayor influencia sobre la respuesta de la planta al pastoreo. El patrón de defoliación es principalmente caracterizado por la intensidad (cantidad de material removido) y frecuencia (número de veces que una planta es defoliada en un determinado periodo de tiempo).

Rosengurtt (1946) señalaba ya la necesidad de determinar la capacidad de carga óptima de cada pastura, ya sea para obtener mejoras en el ingreso así como también para hacer un uso eficiente de las bondades de las pasturas y aún para mejorarlas.

Las prácticas de pastoreo influyen en la pastura de cuatro formas: a) rendimiento total y estacional, b) longevidad de las especies, c) composición botánica, d) estado fisiológico de crecimiento (Blaser et al., 1959).

Así como el pastoreo estimula la producción de forraje el sobre pastoreo la reduce. Es necesario cuantificar los manejos del pastoreo que estimulan la producción de forraje y aquellos umbrales a partir de donde se reduce la capacidad de producción causando el deterioro de las pasturas.

Es imprescindible la presencia de N donde la frecuencia de defoliación es muy intensa y así mismo su presencia no es garantía de amenizar la gran debilitación de las plantas desfoliadas, pues es preciso un tiempo mínimo de rebrote para que la planta se recomponga (Alexandrino et al., 1999)

2.4.1. Producción de materia seca

Hunt (1965) trabajando sobre una pastura de *Lolium multiflorum*, enfatizó la importancia de maximizar las ganancias de materia seca a través de la fotosíntesis y al mismo tiempo reducir las pérdidas de materia seca por caída de restos secos. Estos dos criterios pueden ser manejados a través del entendimiento de los patrones de crecimiento de las hojas, de la senescencia y de las posibilidades de descomposición de ese material. Ese entendimiento es una base necesaria para proceder en el manejo de un sistema rotativo.

La tasa de aparición de hojas (TAH) es un aspecto determinante en la producción de forraje (Anslow, 1996), siendo una característica morfogenica central en el esquema propuesto por Chapman y Lemaire (1993). Esta determina la densidad de macollos e influye en el largo de las hojas y no en el número de hojas por macolla. La TAH tiene relación directa con la densidad de macollos a través del concepto de ocupación de sitios (Davies, 1974), que determina la brotación potencial por la presencia de meristemas axilares. De

forma general, las especies con TAH menor producen pasturas con menor número de macollos grandes (por ejemplo, *F. arundinacea*), mientras que especies con TAH mayores producen pasturas con mayor número de macollos pequeñas (*L. perenne*) (Lemaire y Gastal 1997, Eggers 1999).

2.4.2. Macollaje

Las unidades de crecimiento en las gramíneas son las macollas, cuando la cantidad de estas es insuficiente la producción de materia seca de la pastura se reciente en forma considerable (Carámbula, 1996).

El macollaje sigue un ritmo estacional en las especies invernales, donde la densidad de macollos aumenta desde el otoño hasta principios de primavera y decrece desde mediados de primavera hasta principios de otoño. Las especies estivales no muestran un ritmo estacional tan marcado y el macollaje se produce en forma continuada en el periodo primavero – estivo - otoñal.

El manejo del pastoreo es otro factor que afecta notablemente la población de macollos. Así, mientras bajo un manejo frecuente y con buenas condiciones de humedad se estimula el proceso de macollaje, bajo un manejo demasiado aliviado no solo se inhibe la formación de nuevas macollos sino que en muchos casos se provoca su muerte (Carámbula, 1996).

En un experimento con *F. arundinacea* sin pastoreo, Robson et al. (1969) observó que la mayoría de las muertes de los macollos eran relacionado directa o indirectamente con la disponibilidad de recursos como luz y nutrientes. Bajo pastoreo el equilibrio entre aparición y muerte de macollos es fuertemente dependiente del régimen de defoliación. La defoliación determina el índice de área foliar (IAF), que influencia las interacciones competitivas por luz y por nutrientes (Lemaire y Chapman 1996, Eggers 1999).

Defoliaciones frecuentes disminuyen los niveles de carbohidratos solubles, el peso de los macollos y el crecimiento radicular; en comparación a las plantas de foliadas con menor frecuencia (Fulkerson y Slack, 1995).

Los valores mínimos de aparición de macollos coinciden con una alta densidad de macollos, indicando que el sombreado entre ellos restringe severamente el desarrollo de los sitios potenciales de macollaje (Mitchell y Coles, citados por Chapman et al., 1983).

Con alta intensidad de pastoreo se observaron las mayores densidades de macollos y las más bajas densidades en las pasturas más aliviadas (Tallowin et al., 1989). Iguales patrones en los cambios de densidad de macollaje fueron reportados por Grant et al. (1981), Parsons et al. (1983) bajo pastoreo continuo con ovejas. Esto es explicado por una disminución en el número de los macollos hijos en el pastoreo más aliviado, dado por la inhibición del desarrollo de las yemas axilares y no por falta de las mismas. La creación de yemas potenciales es la misma en el tratamiento de alta y baja intensidad de pastoreo (Tallowin et al., 1989).

2.4.3. Características morfogénicas de gramíneas

La importancia de las características morfogénicas (como tasa de extensión, tasa de aparición y la duración de vida de las hojas) radica en que determinan las características estructurales de la pastura (tamaño de hoja, densidad de macollos y número de hojas por macollo). La defoliación a su vez, actúa sobre las características estructurales de la pastura, determinando el índice de área foliar. A partir de esto, la observación más detallada de los procesos de crecimiento, senescencia y defoliación de la pastura permite la evaluación del flujo de tejido en diferentes situaciones (por macollo o área), colaborando para un manejo eficiente y sustentable (Eggers, 1999).

El rebrote durante y después del pastoreo es función de a) índice de área foliar, b) reservas orgánicas, c) localización de tejidos meristemáticos de los macollos, d) características morfológicas de las especies. A causa de estos factores las especies responden en forma diferente a la defoliación y a los métodos de pastoreo (Blaser et al., 1959).

2.4.4. Tasa de expansión de hojas

Bajo pastoreo rotacional *Lolium perenne* tuvo una extensión foliar más rápida que bajo pastoreo continuo pero la densidad de macollos presenta un comportamiento inverso al anterior. Para ambos manejos la extensión foliar por unidad de área fue similar (Chapman et al., 1983).

La tasa de extensión de hojas sigue el mismo patrón que la tasa de aparición de hojas. El grado de extensión de hojas fue 45 % superior en pastoreo rotacional que en pastoreo continuo para *Lolium perenne* (Chapman et al., 1983).

Mazzanti y Lemaire (1994a) trabajando con *Festuca arundinacea* bajo pastoreo continuo, e intermitente, concluyen que la elongación foliar no es el componente más importante del crecimiento y la promoción de macollaje es un camino adicional a la respuesta de nitrógeno.

La defoliación es más frecuente en las macollas más grandes, y ésta es la razón por la que la correlación entre rango de elongación foliar y hoja verde total en macollos individuales fue disminuida en situaciones de pastoreo (Grant et al., 1981).

Según Mazzanti y Lemaire (1994a) la tasa de extensión foliar de *F. arundinacea* fertilizada con nitrógeno fue menor en el pastoreo continuo que en pastoreo rotativo, pero fue compensado por una mayor densidad de macollos

en el continuo. Por lo tanto la tasa de extensión foliar como la promoción de la tasa de macollaje proveen un camino alternativo adicional en respuesta al nitrógeno.

2.4.5. Tasa de aparición de hojas

La defoliación de plantas de *Lolium perenne* durante 3 meses al estado de una hoja reduce dramáticamente la tasa de rebrote en comparación a la defoliación de plantas con 3 hojas (Fulkerson y Slack, 1995).

La aparición de hojas aumenta desde 10 días en marzo a 19 y 26 días en invierno para *Trifolium repens* bajo dos condiciones de pastoreo debido a la temperatura. La intensidad de luz y fotoperíodo afecta el grado de aparición de hojas pero es la temperatura la que ejerce el mayor efecto. En primavera disminuye la aparición de hojas debido a que la planta esta reproductiva (Chapman et al., 1983).

2.4.6. Tamaño de hojas

Para *Lolium perenne* el crecimiento de las hojas disminuye desde marzo a septiembre y luego comienza a crecer hasta el próximo marzo pero en menor cantidad de lo que creció en el año anterior. El tamaño de las hojas así como el de los macollos y la extensión de hojas, están inversamente relacionados con la densidad de macollos; por los mecanismos compensatorios que se dan en pasturas bajo pastoreo (Chapman et al., 1983).

Macollos con defoliación continua y con escasez de nitrógeno demostraron un pequeño efecto sobre el rango de elongación de hojas, comparado con los macollos protegidos en jaulas (Mazzanti y Lemaire, 1994b).

2.4.7. Área foliar remanente

La defoliación a 5 cm es probablemente la altura optima para el rebrote, a 2 cm es aparentemente muy severo para el rebrote particularmente en plantas con bajos niveles iniciales de carbohidratos solubles. A los 12 cm es esperable que ocurra un rápido rebrote pero no es así, debido a que hay macollos hijos y las hojas viejas son ineficientes (Fulkerson y Slack, 1995).

El área foliar y las sustancias de reserva afectan el comportamiento de las diferentes especies en forma terminante. Ambas están íntimamente relacionadas entre si, ya que la acumulación de sustancias de reserva depende del proceso de fotosíntesis y este a su vez de la superficie foliar de las plantas (Carámbula, 1971).

2.4.8. Efecto sobre el perfil de la pastura

En evaluación de la vegetación de campo natural sobre cuatro tratamientos de oferta de forraje (4,0; 8,0; 12,0 y 16,0 % de PV) durante cinco años en la Depresión Central, RS, Barreto y Boldrini (1990) verificaron que *P. notatum* presento las menores tasas de cobertura sobre pastoreo mas leve, lo que sugiere la ventaja competitiva de las especies de porte alto, cespitosas. Otras especies como *Andropogon lateralis*, *Aristida filifolia*, *Paspalum plicatulum* y *Desmodium incanum* fueron beneficiadas por ofertas de forraje intermedias a altas, en tanto que *Axonopus affinis* fue perjudicada. La estructura espacial de esta área sufrió profundas modificaciones a lo largo del periodo. La carga alta 4,0 % Peso Vivo formo una vegetación que lleva a un tapiz bajo. Con 8,0 % PV, ocurrió la formación de dos estratos, siendo el inferior bastante denso y el superior ralo, con especies cespitosas como *Baccharis trímera*, *Vernonia nudiflora*, *Eryngium horridum*, *Aristida laevis* y *Andropogon lateralis*. En los tratamientos de 12,0 y 16,0 % PV, el segundo estrato se torno más definido y

frecuente, presentando un aspecto de mosaico con lugares pastoreados y otros rechazados. Las áreas rechazadas se encontraron las especies ya citadas encima de otras como *Aristida jubata* y *Erianthus angustifolius* (Eggers, 1999).

La calidad de la luz juega un rol fundamental en el ajuste de la población de plantas con el ambiente. La relación R/RL sirve como señal para indicar el grado de cobertura del suelo por las plantas y la densidad de hojas. Esta señal interactúa con otras relacionadas a la disponibilidad de varios recursos (agua, asimilados, nutrientes, etc.) para determinar el grado en que se forman o mueren los macollos. La modificación en la calidad de la luz percibida en la base de las plantas causado por una absorción diferencial de R o RL por parte de las hojas aparece como un mecanismo importante para regular la propagación de una pastura vegetativa por medio del macollaje (Deregibus et al., 1985).

Cambios en la relación R/RL debido al incremento en la intensidad de la luz rojo lejano asociada a una mayor densidad de hojas da como resultado una reducción en el grado de macollaje (Deregibus et al., 1985). Una señal para que las yemas produzcan una nueva macolla es una alta relación R/RL y esta señal se reduce a medida que se acumula área foliar en el canopeo (Matthew et al., 1999).

El número de macollos por planta en *P. dilatatum* suplementada con RL tiene al menos 3 veces mas macollos que las no suplementadas (Deregibus et al., 1985).

Mantener una pastura realizando una intercepción completa de luz reduce el macollaje y lleva a un decremento en la densidad de macollos, por otro lado la defoliación más severa promueve el macollaje y mantiene la calidad y el vigor de las plantas (Deregibus et al., 1985).

La fertilización nitrogenada aumenta la densidad de macollos (Mazzanti, 1990) y modifica la estructura de la cubierta vegetal cambiando la distribución vertical de la biomasa aérea (Whitehead, 1995), parámetros que pueden afectar el consumo de forraje por los animales (Hodgson, 1985).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LOCALIZACION

El experimento fue realizado en la Estación Experimental Mario A. Cassinoni de la Facultad de Agronomía de la UDELAR, en el Km. 363 de la ruta General Artigas No. 3, en el departamento de Paysandú, Uruguay. Se ubicada a 32° 20'9" de Latitud Sur y 58°2'2" de Longitud Oeste, con una altitud sobre el nivel del mar de 61 metros.

3.2. CLIMA Y SUELO

Uruguay presenta un clima templado a subtropical, con una precipitación media anual de 1170 mm, siendo su distribución 30% en verano, 20% en otoño, 18% en invierno y 24% en primavera.

Las temperaturas medias anuales varían entre 16 ° C en el Sureste a 19 ° C en el Norte. En el mes más cálido, (enero) las temperaturas varían entre 22° C y 27° C mientras que en el mes más frío, (julio), la variación es de 11° C a 14° C respectivamente en cada región (Berretta et al., 1998).

Los datos meteorológicos del período experimental Anexo 1 fueron obtenidos de la estación meteorológica automática de la EEMAC para el periodo enero – diciembre 2002.

El suelo del área experimental pertenece a la Unidad San Manuel , formación Fray Bentos con textura limo arcillosa ,conforme a la clasificación de suelos del Uruguay este puede ser caracterizado como Brunosoles Eutricos típicos y se pueden encontrar Brunosoles Eutricos Lúvicos y Solonetz Solodizados como suelos asociados. El relieve es de pendientes moderadas y

lomadas suaves. Las características de los mismos se pueden observar en el Anexo 3 y 4.

3.3. HISTORIA DEL ÁREA

El área sobre la cual se realizó el experimento es un área de Campo Virgen destinada a la cría de ganado. La vegetación dominante está formada por un estrato alto dominado por renuevos pos-tala de especies de árboles como *Acacia caven* (espinillo) y *Prosopis algarrobilla* (algarrobo) y especies arbustivas y subarbustivas como *Achyrocline satureoides*, *Baccharis articulata*, *Baccharis coridifolia*, *Baccharis punctulata*, *Baccharis trimera*, *Eupatorium bunifolium* y *Eryngium horridum* entre otras. El estrato bajo está conformado por una vegetación de gramíneas estivales e invernales donde se destacan por su frecuencia y participación *Paspalum notatum*, *Paspalum dilatatum*, *Botriochloa laguroides*, *Setaria vaginata* como estivales y *Bromus auleticus*, *Stipa setigera*, *Stipa megapotamica*, *Piptochaetium stipoides* y *Briza subaristata* como invernales.

3.4. TRATAMIENTO Y DELINEAMIENTO EXPERIMENTAL

Este experimento, caracterizado como evaluación agronómica de pasturas, fue planeado para estudiar los efectos de la oferta de forraje (OF) y fertilización nitrogenada (N), cada uno con 5 niveles, sobre la respuesta morfogénica de plantas de *Bromus auleticus* Trinus, residentes de la pastura natural.

Los niveles de cada factor estudiado fueron:

Oferta de forraje: 4,0; 5,5; 9,0; 12,5; 14,0 kg de Materia Seca (MS) cada 100 kg de peso vivo (PV) por día.

Nitrógeno: 0; 44; 150; 256 y 300 kg de nitrógeno por ha. El nivel 0 de N se refiere al tratamiento que no tiene aplicación adicional de N. Las dosis de 44; 150; 256 y 300 kg /ha de N fueron realizadas en cuatro aplicaciones iguales, dos en otoño y dos a fines de invierno.

El delineamiento utilizado es un Central Compuesto (Box y Wilson, 1951) Rotacional de Precisión Uniforme, con 2 bloques ortogonales.

El número de tratamientos esta dado por la ecuación: $2^k + 2k + 1$, donde k es el número de los factores en estudio. En este experimento donde $k= 2$ tenemos $2^2 + 2 + 2 + 1 = 9$ tratamientos. En este delineamiento experimental tenemos 3 grupos de tratamientos:

2^k = tratamientos factoriales

$2k$ = tratamientos axiales

1= tratamiento central

El tratamiento central (OF = 9 % PV y N=150 kg /ha) fue repetido 6 veces, para permitir estimar el error experimental y satisfacer la condición de precisión uniforme (5 puntos centrales) y ortogonalidad de los bloques. La precisión uniforme significa que la variación de la respuesta estimada \hat{Y} en el origen es igual a la varianza de \hat{Y} a una distancia unitaria del origen (Riboldi y Do Nascimento, 1994).

Por otro lado, para que el delineamiento central compuesto sea rotacional depende del α escogido, lo cual depende del número de puntos en la parte factorial del delineamiento, esto es, $\alpha = (F)^{1/4}$, siendo F el número de puntos en la parte factorial (2^k). Como en este experimento $F = 4$ entonces $\alpha = \pm 1,414$. Esta condición permite que la respuesta sea estimada con la misma

precisión para puntos que están a una misma distancia del centro del delineamiento.

Una vez definido el valor de $\alpha = +1,414$ y con los niveles extremos de factores, se definen los niveles correspondientes para α con la ecuación: $\varepsilon = (\chi - c) / \Delta i$, siendo ε el valor codificado del nivel χ del factor, χ el nivel del factor, c el nivel del factor en el punto central y Δi el intervalo de valores entre c y χ . Para nuestro trabajo tomamos $\varepsilon = \alpha = +1,414$ y determinamos el intervalo Δi . Con Δi se calcula el nivel del factor que corresponde a α .

Para el factor Oferta de Forraje:

$-1,414 = 4 - 9 / \Delta i \Rightarrow \Delta i = 3,5$ así los niveles de oferta de los puntos axiales son $9 - 3,5 = 5,5$ y $9 + 3,5 = 12,5$.

Las combinaciones de tratamientos son dadas conforme Cochran y Cox (1957), para el delineamiento central compuesto rotacional con 2 factores y 5 niveles de cada factor.

Los tratamientos fueron distribuidos en 2 bloques en función de la composición florística del área, en forma ortogonal de manera que las estimativas de los parámetros del modelo de superficie de respuesta no fueran afectadas por el efecto de los bloques.

En un bloque fueron localizados los tratamientos correspondientes a los puntos factoriales con 3 repeticiones del tratamiento central y en otro bloque fueron localizados los tratamientos correspondientes a los puntos axiales y las otras 3 repeticiones restantes del tratamiento central. Los tratamientos resultantes de la combinación de los niveles de factores y su distribución en los bloques son representados en el cuadro 1.

Cuadro 1. Bloques (B), oferta de forraje (OF % PV) en kg de MS/100 kg de PV/día, niveles de nitrógeno (N) en kg/ha de N, tratamiento factorial (F), axial (A), central (C), coeficientes de los niveles de factores y área de los potreros en m².

Bloque	OF %PV	N kg./ha	Tratamiento	Coeficientes		Área (m ²)
				OF	N	
1	5.5	256	F	-1	1	1607
1	9	150	C	0	0	1125
1	9	300	A	0	1.414	1125
1	9	150	C	0	0	1129
1	12.5	44	F	1	-1	1120
1	4	150	A	-1.414	0	1038
2	9	150	C	0	0	1151
2	14	150	A	1.414	0	1212
2	9	150	C	0	0	1284
2	9	150	C	0	0	1427
2	9	150	C	0	0	1639
2	9	0	A	0	-1.414	1497
2	12.5	256	F	1	1	1477
2	5.5	44	F	-1	-1	2219

La figura 1 representa la configuración geométrica del delineamiento, y la localización de los diferentes tratamientos.

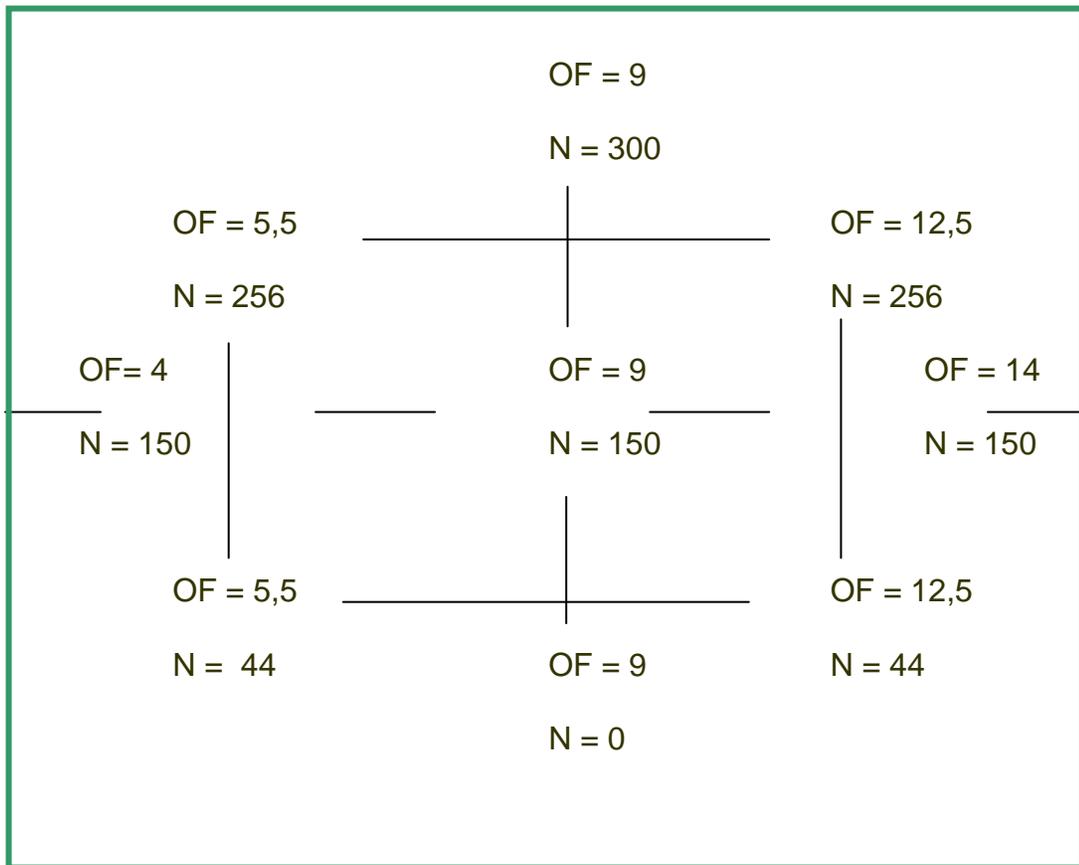


Figura 1. Configuración geométrica del delineamiento central compuesto, utilizado en el experimento.

3.5. PLANEAMIENTO DEL ÁREA EXPERIMENTAL

Después de definir los tratamientos, fue estimada el área de los potreros tal que mantuvieran por lo menos 200 kg de PV/día, durante al menos 3 días de pastoreo. Fueron obtenidos tamaños de potreros que variaban desde 1038 hasta 2219 m² que en conjunto ocupaban un área de 2,13 ha.

3.6. PERIODO EXPERIMENTAL

El experimento fue evaluado desde 3/06/02 hasta 7/11/02 en forma alternada, dividiéndose las mediciones en tres periodos tratando de realizar una medición por estación (otoño, invierno y primavera). Los periodos evaluados fueron desde el 3/06 al 24/06 para otoño, del 12/7 al 1/08 para invierno y desde el 17/10 al 7/11 para primavera. Dentro de cada estación se realizaban mediciones semanales totalizando cuatro mediciones por estación.

3.7. MANEJO DEL EXPERIMENTO

3.7.1. Fertilización

Las dosis de nitrógeno fueron aplicadas en forma de urea las dos veces, corrigiendo en los casos que fuera necesario con aplicaciones de fósforo (P) para que este no fuera limitante. Las aplicaciones fueron realizadas por la mañana o a última hora de la tarde procurando evitar las horas de mayor temperatura, con el fin de reducir las pérdidas de nitrógeno por volatilización.

3.7.2. Pastoreo

Los pastoreos se realizaban cada 45 días por una duración de 7 días aproximadamente dependiendo de la oferta de forraje disponible en el momento de ingresar los animales. Se realizaron ajustes del pastoreo variando de

frecuencia, siendo esta de 45 días entre pastoreos en el invierno y 30 días entre pastoreos en primavera

3.8. MEDICIONES EN PASTURAS

3.8.1. Mediciones en macollos marcados de *Bromus auleticus*

El acompañamiento de la dinámica de crecimiento de los macollos de *Bromus auleticus* fue realizado siguiendo la técnica de macollos marcados (Hodgson 1966, Mazzanti y Lemaire 1994a), durante los meses de junio, julio – agosto y octubre – noviembre del 2002.

Los macollos fueron marcados con anillos de metal cubiertos con plástico de color, distribuidos en transectas para facilitar su ubicación en el campo. En cada macollo se midió el número de hojas en expansión, número de hojas expandidas (aquellas que presentaban lígula visible), crecimiento de láminas verdes y presencia de senescencia.

En cada tratamiento fueron marcados 20 macollos localizados en dos transectas. Las lecturas fueron realizadas con una frecuencia semanal por un periodo de 4 semanas, durante el rebrote post- pastoreo.

A partir de estas mediciones se calcularon las siguientes variables.

3.8.1.1. Número de hojas expandidas

Es considerada una hoja como expandida cuando presenta la lígula visible. El número de hojas expandidas fue obtenido por la sumatoria de todas las hojas expandidas por macollo, con indicios de senescencia o no, desfoliadas o enteras.

3.8.1.2. Extensión de láminas verdes por macollo

La extensión de las láminas verdes por macollo (cm) fue obtenido por la sumatoria de las extensiones de todas las porciones verdes de las láminas presentes en cada macollo.

3.8.1.3. Extensión media de láminas

Esta variable representa la extensión media de las láminas verdes (cm) de todas las hojas presentes en los macollos. La extensión media de las láminas fue obtenida por el cociente entre la extensión de láminas verdes por macollo (cm) y el número de hojas vivas por macollo.

3.8.1.4. Extensión final de láminas

La extensión final de láminas (cm) es el valor medio por macollo de la extensión final de las láminas de las hojas sin senescencia y sin desfoliar. Representa el tamaño medio final de la lámina entera bajo el efecto de los tratamientos.

3.8.1.5. Duración del periodo de expansión de hojas

La duración del periodo de expansión de hojas representa el tiempo medio en días, que las hojas demoran en completar la expansión, y es independiente del tamaño final de la hoja y de la tasa diaria de expansión foliar. Los días necesarios para la expansión de las hojas fueron calculados dividiendo la extensión final de las láminas sobre la tasa diaria de extensión foliar.

3.8.1.6. Tasa media de aparición de hojas (tah)

La TAH representa el intervalo de días entre la aparición de dos hojas sucesivas.

3.8.1.7. Tasa de extensión foliar por macollo

En base a la diferencia de la extensión de láminas verdes de hojas en elongación entre dos mediciones sucesivas, se obtuvo la tasa de extensión foliar en cm. día^{-1} , para cada intervalo de días de observación. La tasa de extensión por macollo fue obtenida a través de la sumatoria de las tasas de extensión de todas las hojas en extensión.

3.8.1.8. Tasa de senescencia foliar por macollo

La tasa de senescencia foliar, en cm por día , fue obtenida por la diferencia entre las mediciones de las porciones verdes de las hojas en senescencia. La tasa de senescencia foliar por macollo fue calculada a través de la sumatoria de las tasas de senescencia de todas las hojas senescentes.

3.8.2. Densidad y peso de macollos

Fue realizado un conteo a campo del número de macollos para cada estación en que se realizaron las mediciones anteriormente mencionadas. Para esto se utilizaron cuadros de $0,3 \times 0,3 \text{ m}$, realizándose 5 muestreos por tratamiento. Se contaron los macollos que al menos presentaban una hoja expandida.

Para calcular el peso de los macollos se realizó un corte de 20 macollos por tratamiento y por estación, los cuales fueron elegidos al azar tratando de que sean representativos de la parcela.

El peso de los macollos (mg/macollo) fue estimado dividiendo el peso seco total de los macollos recolectados por muestra sobre el número de macollos presentes en la muestra.

3.8.3. Dinámica poblacional

La dinámica de la población de los macollos de *Bromus auleticus* se estudio colocando 4 cuadros de 0,5 x 0,5 m, en posición fija, dentro de cada parcela, Sobre estos cuadros se realizaron conteos estacionales para Otoño, Invierno y Primavera con el fin de visualizar los efectos de los distintos tratamientos sobre los macollos.

3.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El proceso de análisis de los datos se inicio con el estudio de la distribución normal de los residuos según el test Shapiro-Wilks (SAS, 1996). Todas las variables estudiadas satisfacen la condición de normalidad.

Para estimar las respuestas, cada variable fue analizada aplicando la técnica de superficie de respuesta, ajustándose la ecuación de regresión polinomial cuadrática de tipo:

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 OF + b_2 N + b_{11} OF^2 + b_{22} N^2 + b_{12} OF * N + b_3 B$$

donde:

\hat{Y} = estimador de respuesta de cada variable

OF= Oferta de forraje

N= Nitrógeno

b_0 = constante

b_{1i} = coeficiente de regresión linear (i =1,2)

b_{11} =coeficiente de regresión cuadrática (i =1,2)

b_{12} =coeficiente de regresión de interacción lineal de los dos factores

b_3 = coeficiente de los bloques

Para el análisis de varianza fue evaluada la significancia de las regresiones, correspondientes a las variables del modelo y a los desvíos de la regresión.

Cuadro 2: Esquema del análisis de varianza

Causa de variación	GL	CM	F
Covariable (bloque)	1		
Efecto lineal	2		
Efecto cuadrático	2		
Interacción	1		
Regresión total	6		
Desvíos regresión	3		
Total	7		
Parámetros de ecuación de regresión			
Intercepto	1		
N	1		
OF	1		
N*N	1		
OF*OF	1		
N*OF	1		
Bloque	1		
Efecto medio de los factores			
N	3		
OF	3		

Las ecuaciones de regresión servirán como base para la elaboración de las gráficas de superficie de respuesta, que ayudan a la visualización de los efectos de los tratamientos sobre las variables de respuesta.

A partir de la ecuación de regresión ajustada, se procedió a analizar según Davies (1974), que consiste en:

1) Localización del punto estacionario de respuesta (PE), que es el centro de respuesta del sistema. El PE es un punto donde la respuesta es estacionaria, lo que quiere decir que, es el punto donde las derivadas parciales

$\frac{\delta \hat{Y}}{\delta N}$ y $\frac{\delta \hat{Y}}{\delta OF}$ son ambas iguales a cero.

Con la ecuación de regresión cuadrática ajustada

$$\hat{Y} = b_0 + b_1 OF + b_2 N + b_{11} OF^2 + b_{22} N^2 + b_{12} OF * N + b_3 B,$$

se resolvieron las derivadas parciales igualándose a cero:

$$\frac{\delta \hat{Y}}{\delta OF} = b_1 + 2b_{11} OF + b_{12} N = 0$$

$$\frac{\delta \hat{Y}}{\delta N} = b_2 + 2b_{22} N + b_{12} OF = 0$$

Por lo tanto se obtuvo, el sistema de ecuaciones que se presenta a continuación, el cual resuelto, nos brinda las coordenadas OF y N del PE.

$$\begin{cases} 2b_{11} OF + b_{12} N = -b_1 \\ b_{12} OF + 2b_{22} N = -b_2 \end{cases}$$

2) La estimativa de respuesta de \hat{Y}_S del PE es dada por:

$$\hat{Y}_S = b_0 + 0,5 b_1 OF_S + 0,5 b_2 N_S$$

3) Determinación de la naturaleza del PE.

Para verificar la naturaleza del PE, se determinan las raíces características de λ_1 y λ_2 , obtenidas a través de la resolución de la ecuación determinante.

$$\begin{vmatrix} b_{11} - \lambda & 1/2 b_{12} \\ 1/2 b_{12} & b_{22} - \lambda \end{vmatrix} = 0$$

O sea por la resolución de la ecuación de 2º grado

$$\lambda^2 - (b_{11} + b_{22})\lambda + (b_{11} b_{22} - 1/4 b_{12}^2) = 0$$
 Se obtuvieron las raíces λ_1 y λ_2 ,

Si λ_1 y λ_2 son negativos, PE es el punto de máxima respuesta.

Si λ_1 y λ_2 son positivos, PE es el punto de mínima respuesta.

Si un λ es positivo y otro λ es negativo, PE es un punto de silla de minimax, la silla es un punto de respuesta máxima para el factor con λ de signo negativo, y el punto de mínima respuesta para el factor con λ de signo positivo

Se considera λ_1 como la raíz característica asociada a la OF y λ_2 asociada al N.

En los casos en que los puntos estacionarios estaban fuera de la amplitud estudiada de los factores, la respuesta fue un sistema de silla o cumbre y el estudio fue complementado por el método ERMR (Estimated Ridge of Máximum Response) (Myers 1971, Riboldi y Do Nascimento 1994) con base en los puntos centrales del delineamiento.

Para aquellos casos en que no ajusto el modelo de superficie de respuesta se exploró la relación final en los puntos OF y N por medio de regresión lineal.

Los análisis estadísticos fueron realizados utilizando los procedimientos pertinentes del SAS aplicado (1997).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DATOS CLIMATICOS

En la figura 2 se puede observar los datos climáticos promedio de 10 años, comparados con los del año en el cual se realizaron los ensayos. Se aprecia algunos meses con precipitaciones muy por encima del promedio, así como temperaturas por debajo del promedio en los meses de junio y julio.

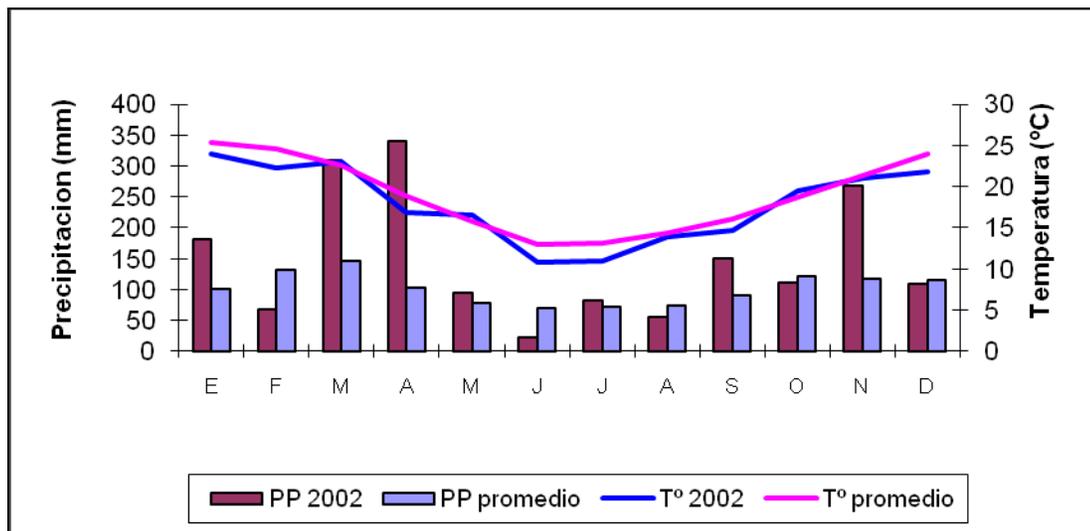


FIGURA 2. Temperatura y precipitaciones promedio (1990-2000) y para el año en estudio (2002) para Paysandú. Fuente: estación meteorológica EEMAC

4.2. VARIABLES ESTRUCTURALES

4.2.1. Muestreo demográfico

4.2.1.1. Densidad de plantas

La densidad de plantas (pl / m²) diferente para oferta y nitrógeno y ajusto al modelo de superficie de respuesta en otoño y primavera, mientras que para invierno el modelo de respuesta no ajusta para esta variable.

Otoño

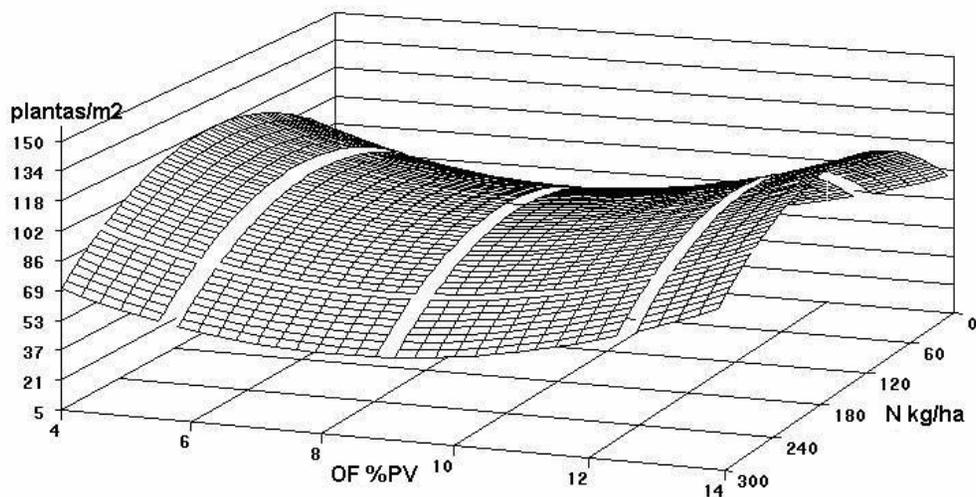


Figura 3. Respuesta de la población de plantas (plantas/m²) de *Bromus auleticus* a la oferta de forraje (OF % PV) y fertilización nitrogenada (kg N/ha).

La población otoñal de plantas/ m² ajusto al modelo de superficie de repuesta $y = 99,5 + 0,6 N - 20,1 OF - 1,8 \times 10^{-3} N^2 + 6,0 \times 10^{-3} OFN + 1,3 OF^2$; (Pr = 0,009; R² = 0,86), con respuesta cuadrática significativa para OF y N.

El punto estacionario (PE) se encuentra dentro de la región experimental con respuesta estimada $\hat{Y} = 72,34$ pl/m² y coordenadas OF = 7,5 % PV y N = 167,8 kg /ha valores que están dentro de la región de estudio. Las raíces características de la ecuación de regresión de forma canónica son $\lambda_1 = 31,88$ y $\lambda_2 = -41,59$ indican que el PE sería un punto de silla, con respuesta mínima para N y máxima para OF.

La población otoñal de plantas aumenta desde OF medias hacia valores extremos, mientras N presenta valores máximos en las dosis medias, independiente del nivel de OF (Figura 3). El modelo de superficie de respuesta predice un incremento mayor de la población de plantas debido a la reducción en la intensidad de pastoreo que por efecto del nivel de N, llegándose a 125 plantas /m² con 164 kg / ha de N y OF = 14 %PV. La baja respuesta detectada para otoño esta influenciada por que en esta estación comienza a aplicarse las dosis de N, pesando los efectos residuales del verano, donde con altas dosis de N las estivales son más competitivas. Las OF menores durante el verano reducen más la competencia de las estivales que están en período de crecimiento, mientras que *Bromus auleticus* es menos perjudicado por presentar semi-latencia estival. Así en otoño las parcelas de menor OF presentan un tapiz estival menos competitivo para el crecimiento inicial de las invernales (Rosengurtt, 1979). En contraposición con altas OF se promueven las cespitosa de porte alto como *Bromus auleticus* que mantienen sombreadas a las estivales desde la primavera anterior reduciendo su cobertura, que se mantiene baja durante el verano por efecto del sombreado de los restos secos que se acumulan y son poco removidos por el pastoreo en las OF altas que favorecen la selectividad animal y rechazan el material muerto, que permanece hasta el otoño. La especie estival de mayor cobertura en esta área es *Paspalum notatum* Flüge, que no es buena competidora en condiciones de sombreado.

Esto determina que se llegue en otoño con mayor población de plantas en las OF mayores. En OF medias se tendría una condición más favorable para la competencia de las estivales, determinado poblaciones de *Bromus auleticus* menores.

Invierno

Para invierno, la variable plantas/m² no se ajusto al modelo, oscilando entre 117 y 26 con un promedio de 65 pl/m² siendo su coeficiente de variación 38 %. Al realizar las regresiones para oferta y nitrógeno por separado se observo que para una oferta constante (OF = 9 % PV) la variable en estudio descendía al incrementarse las dosis de N como se aprecia en la figura 4.

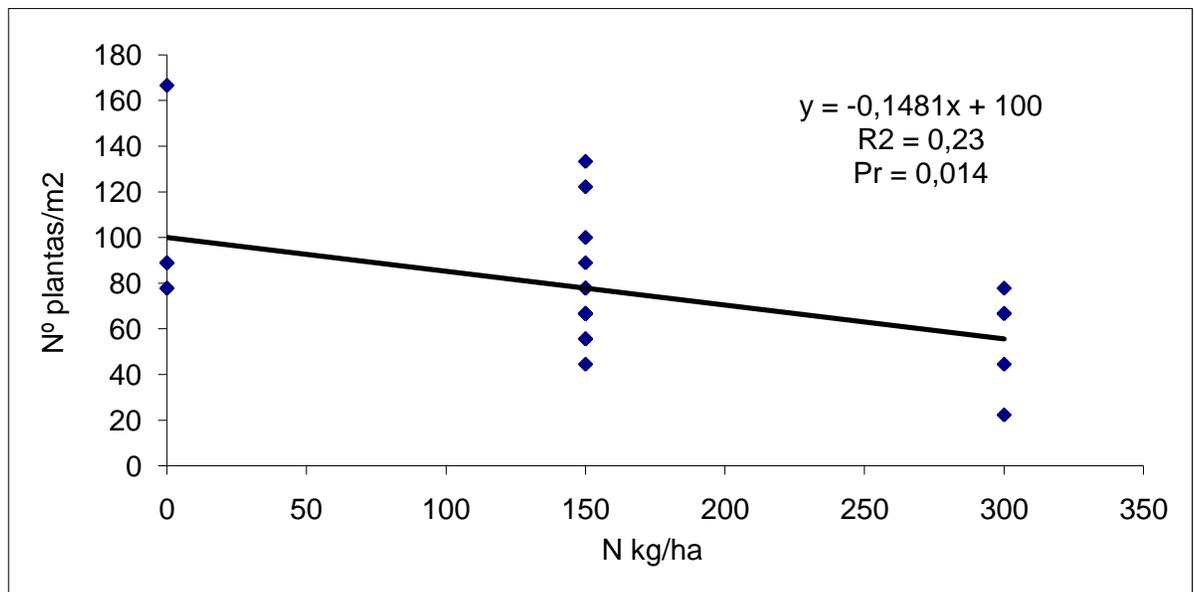


Figura 4. Respuesta invernal de la población de plantas (plantas/m²) de *Bromus auleticus* a la fertilización nitrogenada (kg N/ha) para una oferta de forraje constante de 9 % PV.

Se observó que al aumentar las dosis de nitrógeno disminuyó la población de *Bromus auleticus*, explicado por un aumento en las condiciones de competencia con las especies existentes en la pastura (González et al., 2004)

Al realizar el mismo análisis para N constante (N = 150 Kg/ha) se observa que la cantidad de plantas por metro aumenta al disminuir la presión de pastoreo como se aprecia en la figura 5.

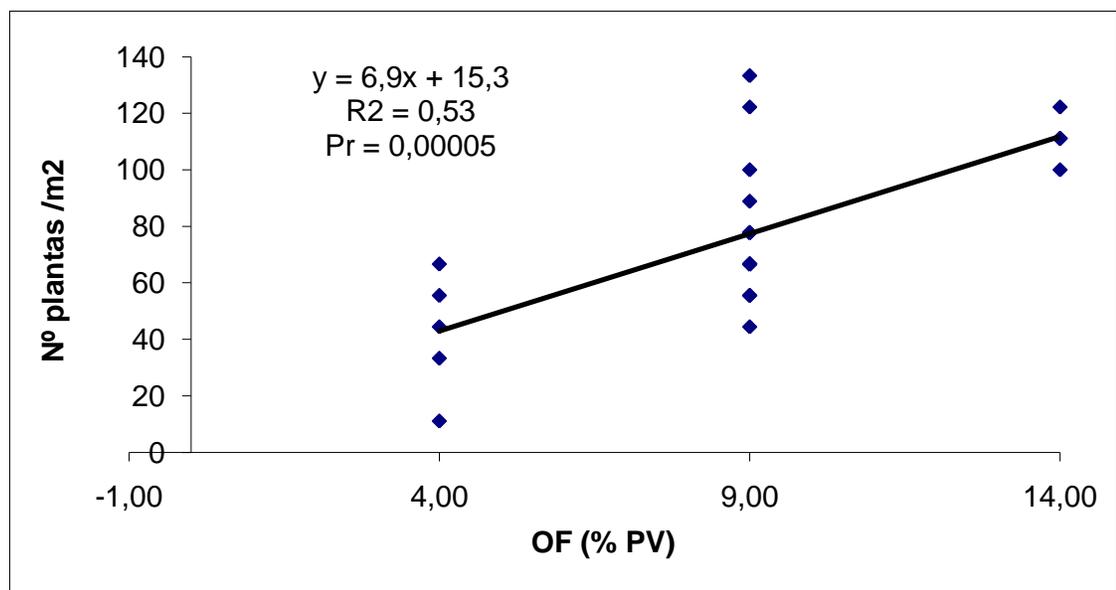


Figura 5. Respuesta invernal de la población de plantas (plantas/m²) de *Bromus auleticus* a la oferta de forraje (% PV) manteniendo una fertilización nitrogenada constante de 150 kg /ha.

Esta disminución en el número de plantas por metro cuadrado deja en evidencia la baja capacidad de competencia en situaciones de pastoreo intenso; condiciones donde se ven favorecidas plantas de dispersión clonal como *Paspalum notatum*, que domina en estas regiones (González et al., 2004)

Donaghy y Fulkerson (2002) tampoco encontraron interacción entre el nivel de fertilización nitrogenada y la frecuencia de pastoreo. Pero justifican también la baja persistencia de plantas de *L. perenne* por pérdida en competencia ante especies tropicales, las cuales germinarían al empezar los calores, y se verían beneficiadas por la muerte de plantas de *L. perenne*, que dejarían nichos de crecimiento para aquellas; las fertilizaciones de primavera favorecerían ese crecimiento de las tropicales.

Estas tendencias también fueron reportadas trabajando sobre *Stipa setigera* por González et al. (2004), donde se apreciaba que a bajas dosis de nitrógeno aumentaban las poblaciones y al aumentar la oferta de forraje también aumentaban las plantas por metro cuadrado.

Primavera

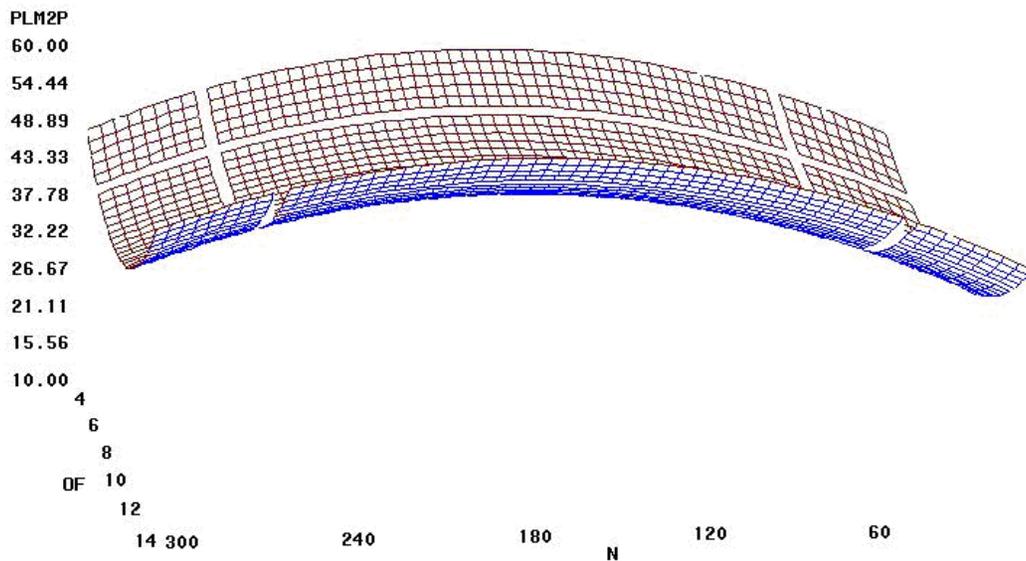


Figura 6. Respuesta de la población de plantas (plantas/m²) de *Bromus auleticus* a la oferta de forraje (OF % PV) y fertilización nitrogenada (kg N/ha).

La población en primavera de plantas/m² ajusto al modelo de superficie de respuesta $y = + 41,8 + 0,1 N - 5,3 OF - 0,0006 N^2 + 0,001 OFN - 0,4 OF^2$; (Pr = 0,07; R² = 0,73), con respuesta cuadráticas significativas para N. El punto estacionario (PE) se encuentra dentro de la región experimental con respuesta estimada $\hat{Y} = 38,7$ pl/m² y coordenadas OF = 6,2 % PV y N = 149,7 kg. /ha valores que están dentro de la región de estudio. Las raíces características de la ecuación de regresión de forma canónica son $\lambda_1 = 10,02$ y $\lambda_2 = -14,45$ indican que el PE sería un punto de silla, con respuesta mínima para N y máxima para OF.

La población primaveral de plantas aumenta desde ofertas medias hacia valores extremos, mientras nitrógeno presenta valores máximos en las dosis medias, independientes del nivel de oferta (Figura 6). El modelo de superficie de respuesta predice un incremento mayor de la población de plantas debido a la reducción de la intensidad de pastoreo que por efecto del nivel de nitrógeno, llegándose a 63 plantas / m² con 155 kg /ha de N y OF = 14 % PF.

La baja respuesta observada en primavera se debe a que la especie en estudio es de ciclo invernal y en esta estación se da la etapa reproductiva, en caso que nazcan plantas nuevas serian menos competitivas que las estivales.

Las ofertas menores durante el invierno promueven un tapiz menos competitivo facilitando el crecimiento de las especies invernales frente a las estivales, promoviendo de esta forma el crecimiento de nuevas plantas de *Bromus*.

Con altas ofertas se promueve el crecimiento de las especies cespitosas de porte alto como *Bromus auleticus* que mantienen sombreadas a las estivales o a las invernales de menor porte; esto determina que se llegue en primavera con una mayor población de plantas en estas condiciones. En ofertas medias se tendría una condición mas favorable para la competencia de especies invernales de menor porte (*Stipa sp.*), determinado bajas poblaciones de *Bromus auleticus*.

4.2.1.2. Densidad de macollos

Otoño

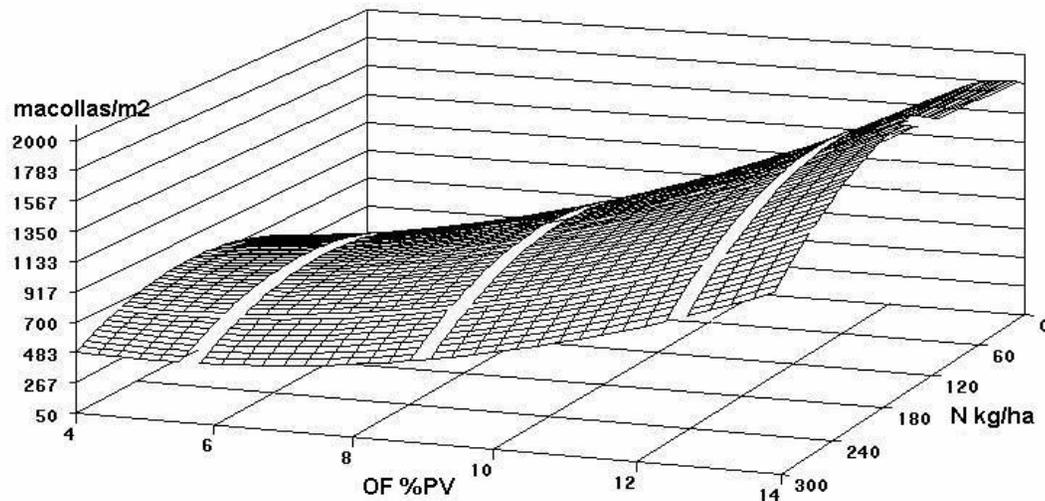


Figura 7. Respuesta de la población de macollos (macollas/m²) de *Bromus auleticus* a la oferta de forraje (OF % PV) y fertilización nitrogenada (kg N /ha).

La población de macollos /m² ajusto al modelo de superficie de respuesta $y = -123,0 + 8,3 N - 30,7 OF - 0,02 N^2 - 0,3 OFN + 10,7OF^2$; (Pr = 0,0002; R² = 0,96), con respuesta cuadráticas significativas para OF y N. El punto estacionario (PE) se encuentra dentro de la región experimental con respuesta estimada $\hat{Y} = 576,75$ mac/m², y coordenadas OF = 3,9 % PV y N = 184,0 kg /ha valores que están dentro de la región de estudio. Las raíces características de la ecuación de regresión de forma canónica son $\lambda_1 = 285,3$ y $\lambda_2 = -450,1$ indican que el PE sería un punto de silla, con respuesta mínima para N y máxima para OF.

La respuesta al agregado de N fue de baja magnitud indicando que las máximas poblaciones de macollas podrían lograrse con aplicaciones medias. Debido a que el macollaje es proceso dinámico y dependiente de la disponibilidad actual de nutrientes, debe relativizarse la baja respuesta al N ya que al momento de las mediciones solo estaba aplicado el 25 % de las dosis objetivo; y efectos residuales acarreados del año anterior estarían afectando la respuesta. Por otro lado se aprecia una marcada respuesta a la reducción en la intensidad del pastoreo, obteniendo poblaciones de 1750 macollas /m² con OF de 14 %PV y 132 kg /ha de N. La respuesta a la OF reflejan la tendencia observada para la población de plantas, delineada con mayor intensidad en la población de macollas. Al reducir la intensidad del pastoreo se permiten la expresión del potencial ambiental para el macollaje otoñal, estación en que las condiciones a de temperatura, humedad y radiación son óptimas.

Invierno

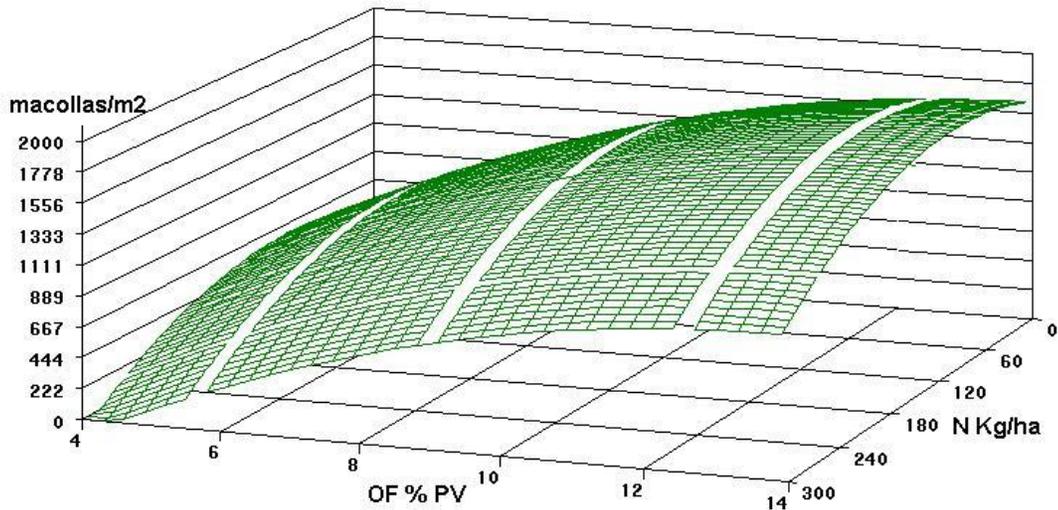


Figura 8. Respuesta de la población de macollas (macollas/m²) de *Bromus auleticus* a la oferta de forraje (OF % PV) y fertilización nitrogenada (kg N /ha).

La población de macollas/m² ajusto al modelo de superficie de respuesta $Y = -676,9 + 4,1 N + 287,3 OF - 0,016 N^2 - 0,012 OFN - 11,9 OF^2$; ($Pr = 0,06$; $R^2 = 0,74$), con respuesta cuadráticas significativas para N y lineal para OF. El punto estacionario (PE) se encuentra dentro de la región experimental con respuesta estimada $\hat{Y} = 1220,9$ mac/m², y coordenadas OF = 11,9 % PV y N = 127,4 kg /ha valores que están dentro de la región de estudio. Las raíces características de la ecuación de regresión de forma canónica son $\lambda_1 = -297,6$ y $\lambda_2 = -356,4$ indican que el PE sería un máximo.

Se podría concluir que a OF (%PV) próximas a 12 y dosis de N (kg /ha) cercanas a 130, comienzan a verse como limitantes para el macollaje otros

factores como ser temperatura, humedad y radiación, y no estas variables ya que se observa un máximo en la densidad de macollas. Whitehead (1995) también propone que el efecto del nitrógeno sobre el macollaje, varía según la disponibilidad de agua. Bajo condiciones de estrés hídrico, hubo respuesta a menores cantidades de N (la mayor respuesta se logró con 125 kg /ha de N en comparación con 250 y 500 kg /ha de N). Cuando el agua no fue limitante la mayor respuesta se logró con 500 kg /ha de N, siendo la misma menor con las dosis de 125 y 250 kg /ha de N.

Wilman y Wright (1983), Whitehead (1995), también reportaron comportamientos similares trabajando con *L. perenne*, con distintas dosis de nitrógeno y realizando cortes a distintos intervalos de tiempo.

En trabajos realizados con *Festuca arundinacea*, defoliados continuamente, deficiencias de nitrógeno, provocaron una leve tendencia a reducir la producción por hectárea de MS debido a la reducción causada en la densidad de macollos (Mazzanti y Lemaire, 1994b)

El efecto de sombreado (Deregibus y Sánchez, 1981) se visualiza en la reducción de la densidad de macollas al incrementar la OF. Con altas dosis de N; la rápida reposición del área foliar determina períodos más prolongados de sombreado de los estratos inferiores. Esto determina una reducción en la calidad de la luz que induce a menor macollaje y alargamiento del pseudotallo, que compite por fotosintatos, resultando en un decremento del número de macollos.

Primavera

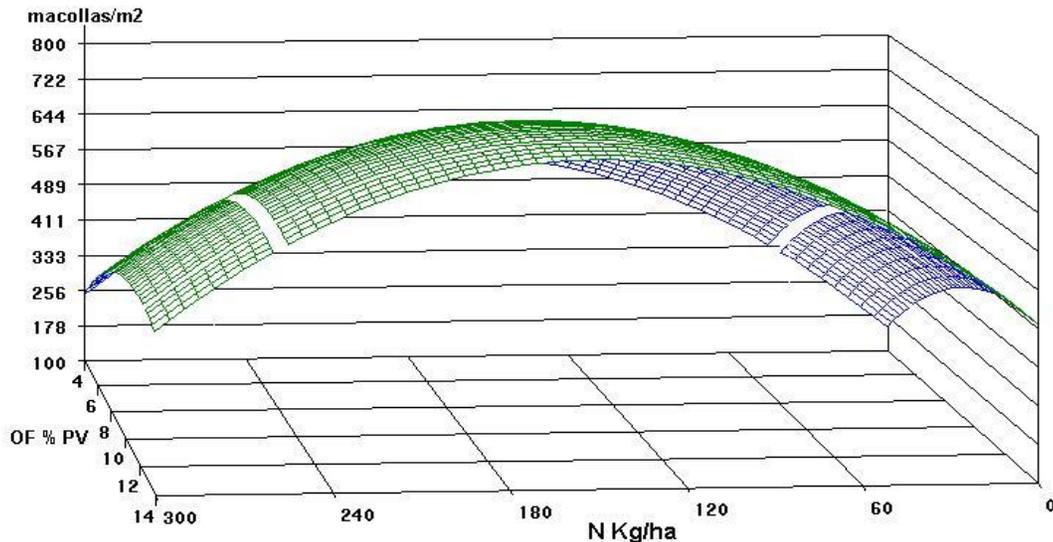


Figura 9. Respuesta de la población de macollas (macollas/m²) de *Bromus auleticus* a la oferta de forraje (OF % PV) y fertilización nitrogenada (kg N/ha).

La población de macollas/m² para primavera ajusto al modelo de superficie de respuesta $Y = - 303,4 + 4,6 N + 101,6 OF - 0,014 N^2 - 0,029 OFN - 3,2 OF^2$; ($Pr = 0,0064$; $R^2 = 0,87$), con respuesta cuadráticas significativas para N y lineal para OF. El punto estacionario (PE) no se encuentra dentro de la región experimental con respuesta estimada $\hat{Y} = 777,3$ mac/m², y coordenadas OF = 14,8 % PV y N = 140,7 kg./ha valores que no están dentro de la región de estudio. Las raíces características de la ecuación de regresión de forma canónica son $\lambda_1 = -81,7$ y $\lambda_2 = -337,2$ indican que el PE sería un máximo.

En primavera también se observa un máximo para dosis de nitrógeno y valores de asignación de forraje similares a los de invierno, reafirmando la hipótesis de que pasó a ser otro factor el que comienza a limitar, si se observa

en otoño, también se observó un máximo número de macollas para dosis de nitrógeno de 184 kg/ha.

El número de macollas por metro cuadrado en primavera es notablemente inferior que al de invierno y otoño, explicado por el pasaje de macollas vegetativas a reproductivas. El macollaje sigue un ritmo estacional en las especies invernales, donde la densidad de macollos aumenta desde el otoño hasta principios de primavera y decrece desde mediados de primavera hasta principios de verano (Carámbula, 1996)

4.2.1.3. Macollos por planta

No se detectaron efectos significativos de los tratamientos al evaluar esta variable mediante el modelo de superficie de respuesta. Se presentan entonces a continuación en el cuadro 3 los valores medios detectados por el modelo y sus desvíos correspondientes

Cuadro 3. Número de macollos por planta para las tres estaciones estudiadas.

	OTOÑO	INVIERNO	PRIMAVERA
MEDIA	12,4	14,4	13,4
DESVIO	4,5	4,5	4,4
C.V.(%)	36,1	31,4	33,2
Max.	42,0	34,0	29,0
Min.	3,0	4,3	2,5

Otoño

Se realizó a continuación el estudio de regresión lineal para la estación de otoño y se evaluó la respuesta de la variable a la dosis de OF a N constante (150 kg /ha).

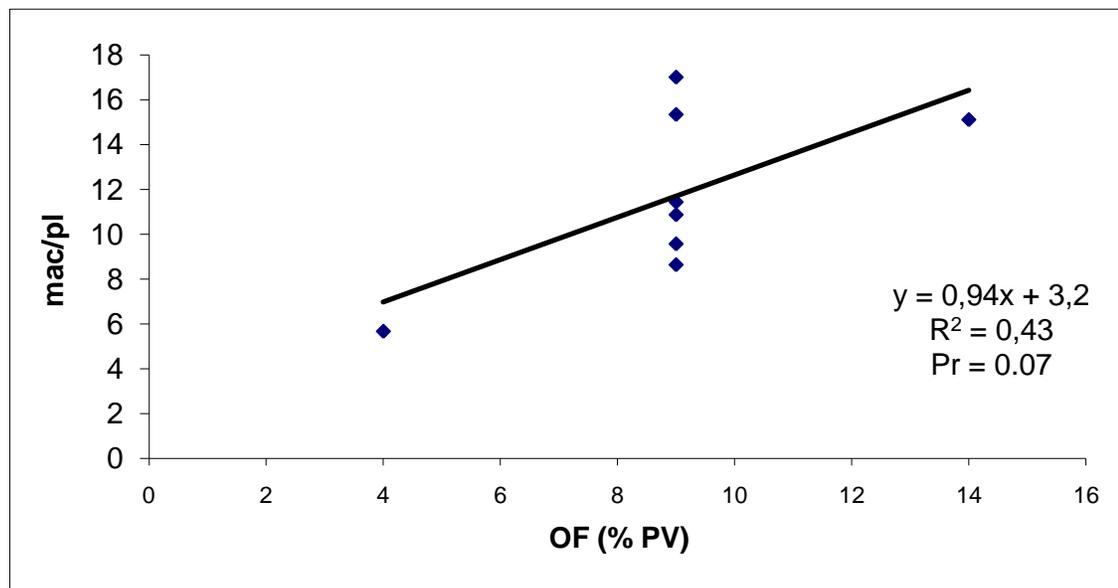


Figura 10. Respuesta otoñal del número de macollas por plantas (mac/pl) de *Bromus auleticus* a la oferta de forraje (% PV) manteniendo una fertilización nitrogenada constante de 150 kg /ha.

La misma tendencia fue encontrada por González et al. (2004), donde muestra como aumentan los macollos por planta, debido a la mayor área foliar y disponibilidad de N en planta, la que se destinaría a la producción de macollos, posterior al pastoreo. Sin embargo el 57% de la correlación no es explicado por las variables

4.2.1.4. Peso de los macollos

Para esta variable al igual que la anterior tampoco se detectaron efectos significativos de los tratamientos al evaluarla mediante el modelo de superficie de respuesta. A continuación se presentan en el cuadro 4 los valores medios detectados por el modelo y sus desvíos correspondientes.

Cuadro 4. Peso de macollos para las tres estaciones estudiadas

	OTONO	INVIERNO	PRIMAVERA
MEDIA	41,2	22,8	53,2
DESVIO	30,2	6,0	37,5
C.V.(%)	73,3	26,3	70,4
Max.	115,8	34,5	173,1
Min.	21,1	10,3	26,8

Debido a la falta de ajuste de los modelos de superficie de respuesta se realizó el estudio de la variable por regresión lineal estudiando la respuesta de la variable, a distintas dosis de N (kg /ha) con oferta constante (9% PV) y diferente oferta de forraje (%PV) con N constante (150 kg /ha).

Otoño

Para esta estación se aprecia una tendencia al analizar N constante como se aprecia en el grafico, la que no se vio al realizar el mismo análisis para OF constante

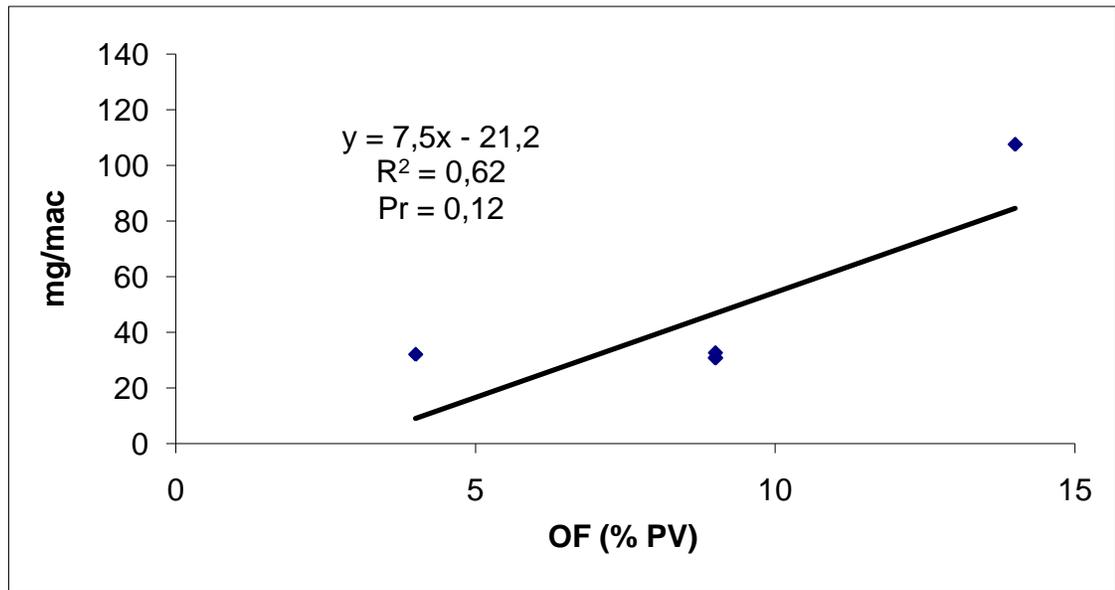


Figura 11. Respuesta otoñal del peso de macollas (mg/mac) de *Bromus auleticus* a la oferta de forraje (% PV) manteniendo una fertilización nitrogenada constante de 150 kg /ha.

Según Fulkerson y Slack (1995), las plantas defoliadas con menor intensidad tienen un mayor nivel de carbohidratos solubles, mayor peso de los macollos y crecimiento radicular; en comparación a las plantas defoliadas con mayor intensidad. Como se aprecia en la grafica donde existe una tendencia en que a mayores asignaciones de forraje aumenta el peso de macollos.

Según Hodgson (1966) al incrementarse la oferta de forraje se produce un aumento en peso de los macollos debido a una disminución en la cantidad

de los mismos. Por lo que sería esperable encontrar menores densidades de macollos pero con individuos más grandes al aumentar la oferta de forraje

Invierno

En invierno se confirma la misma tendencia que en otoño ya que aumenta el tamaño al aumentar la oferta para N constante.

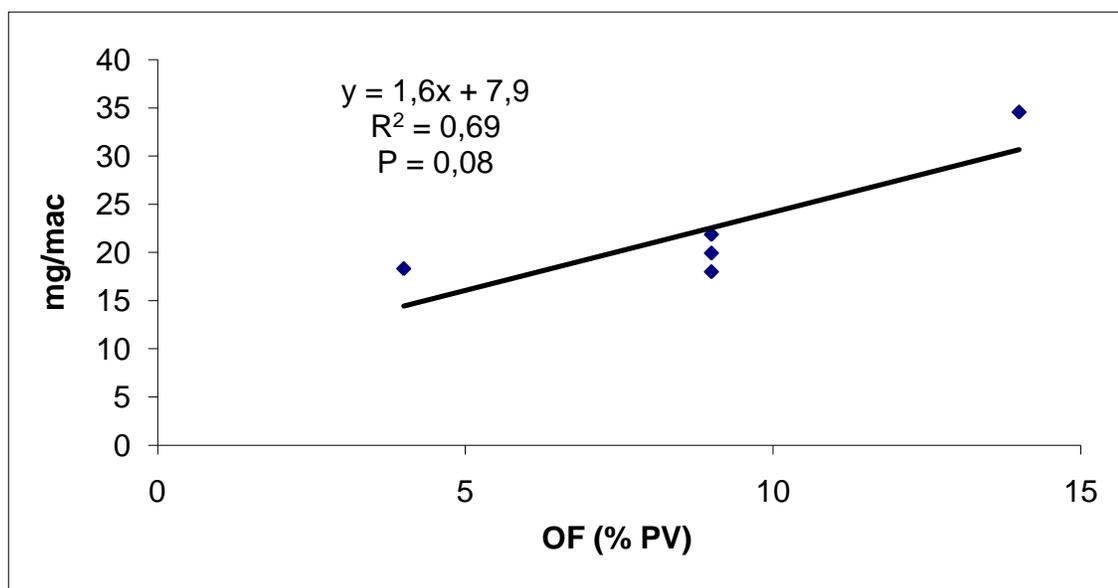


Figura 12. Respuesta invernal del peso de macollas (mg/mac) de *Bromus auleticus* a la oferta de forraje (% PV) manteniendo una fertilización nitrogenada constante de 150 kg /ha.

Con OF(%PV) constante se aprecia un incremento en el peso de las macollas al aumentar la oferta de N debido a que se desarrollan macollas más suculentas con mayor desarrollo, ya que la oferta de N aumenta y la competencia entre plantas se mantiene constante

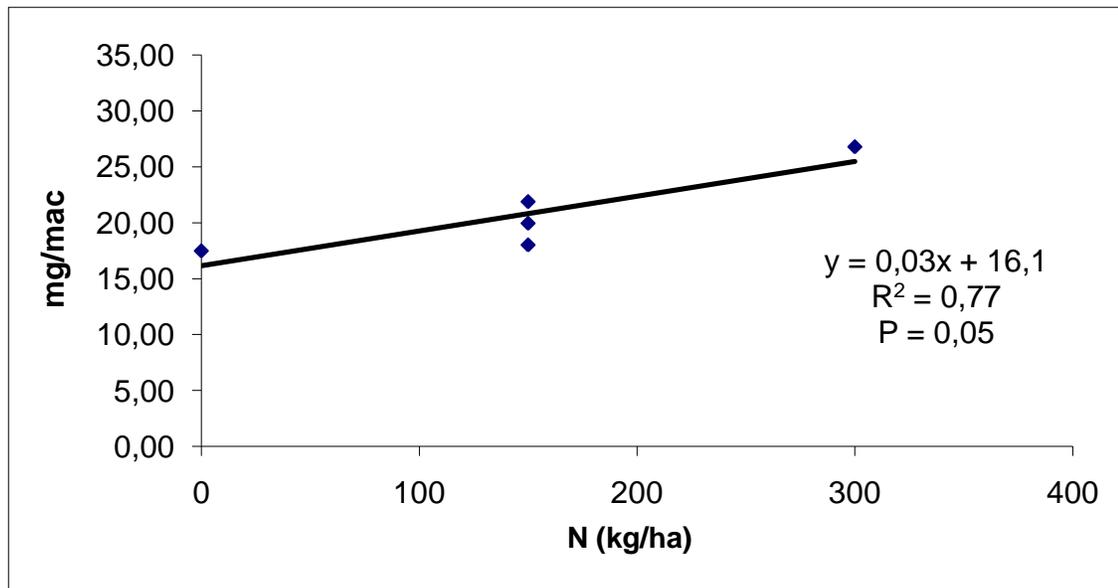


Figura 13. Respuesta invernal del peso de macollas (mg/mac) de *Bromus auleticus* a la fertilización nitrogenada manteniendo una oferta de forraje (% PV) constante de 9%.

Primavera

Para primavera el estudio de la relación lineal para el efecto de oferta no fue significativo, sobre el peso de los macollos para una dosis de N constante de 150 kg /ha.

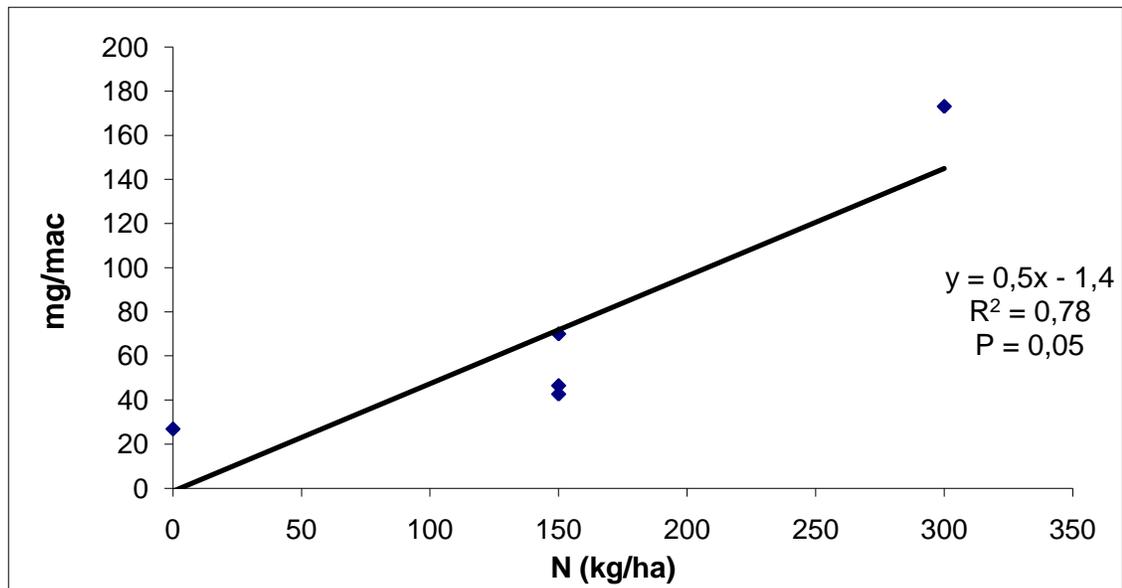


Figura 14. Respuesta primaveral del peso de macollas (mg/mac) de *Bromus auleticus* a la fertilización nitrogenada manteniendo una oferta de forraje (% PV) constante de 9%.

El efecto del N a oferta constante mostró un efecto similar al observado en invierno donde al aumentar la oferta de N aumenta el peso de los macollos.

4.2.2. Muestreo de dinámica poblacional

La dinámica poblacional se estudio a través del análisis de la densidad de plantas, la densidad de macollos y el número de macollas por planta.

Para estas variables en estudio ni el modelo de superficie de respuesta ni el de regresión lineal utilizado pudieron predecir valores significativos para las variables estudiadas en ninguna de las estaciones. Este análisis al no coincidir con el muestreo realizado con los cuadros chicos estaría diciendo que el área seleccionada para el muestreo no fue representativa de las parcelas analizadas.

Se presentan entonces a continuación los cuadros con los valores calculados en base a las mediciones obtenidas en el trabajo de campo. Para las diferentes estaciones para densidad de plantas, densidad de macollos y macollos por planta

Cuadro 5. Densidad de plantas para las tres estaciones estudiadas

	OTOÑO	INVIERNO	PRIMAVERA
MEDIA	49,1	50,7	28,2
DESVIO	13,5	14,1	12,4
C.V. (%)	27,6	27,9	44,0
Max.	73,0	74,0	49,0
Min.	22,0	23,0	7,0

Cuadro 6. Densidad de macollos para las tres estaciones estudiadas

	OTOÑO	INVIERNO	PRIMAVERA
MEDIA	597,5	763,6	271,4
DESVIO	194,0	217,9	140,0
C.V. (%)	32,4	28,5	51,5
Max.	965,0	1120,0	473,0
Min.	217,0	349,0	53,0

Cuadro 7. Macollos por planta para las tres estaciones estudiadas

	OTOÑO	INVIERNO	PRIMAVERA
MEDIA	12,0	15,4	9,2
DESVIO	1,6	2,8	1,7
C.V. (%)	13,4	18,4	18,3
Max.	16,3	22,7	16,6
Min.	8,5	9,8	5,1

4.3. VARIABLES MORFOGÉNICAS

4.3.1. Ancho de hoja completamente expandida

Para esta variable los modelos estudiados no ajustaron, pero se observa una tendencia que al aumentar la dosis de N se incrementa el ancho de lámina independientemente de la estación en estudio.

El aumento en la disponibilidad de nitrógeno afecta las variables morfológicas de las plantas de *Bromus auleticus*.

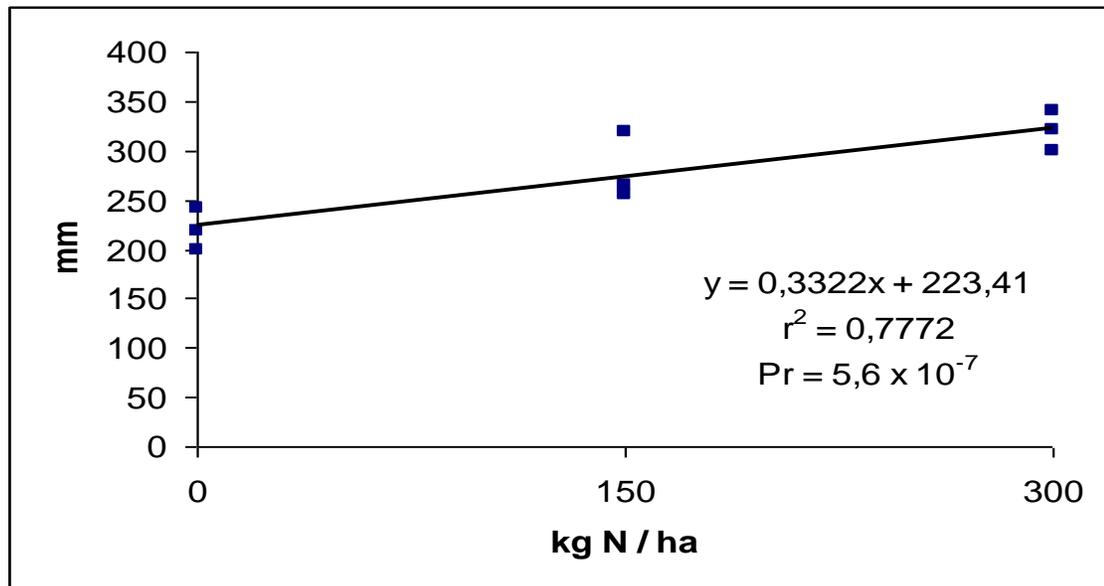


Figura 15. Efecto promedio del nivel de N en el ancho de lámina de *Bromus auleticus*

En el ancho de las láminas se constató un efecto significativo y positivo del nivel de N, determinando la producción de hojas más anchas con niveles mayores de fertilización nitrogenada.

Se presenta a continuación el cuadro con los valores calculados en base a las mediciones obtenidas en el trabajo de campo para las diferentes estaciones para ancho de lámina

Cuadro 8. Ancho de lámina para las tres estaciones estudiadas

	OTOÑO	INVIERNO	PRIMAVERA
PROMEDIO	3,1	2,5	2,5
DESVIO	0,5	0,4	0,3
C.V	15,9	16,8	15,3
Max.	4,0	3,2	3,3
Min.	2,3	2,0	1,8

4.3.2. Número de hojas

Para esta variable el modelo de superficie de respuesta utilizado no detecta efectos significativos en ninguna de las tres estaciones. Lo cual coincide con la bibliografía citada acerca del tema, habiéndose reportado que el número de hojas vivas por macollo permanece constante ante el agregado de nitrógeno (Whitehead, 1995), y que esta variable es una constante genotípica (Moraes et al., 1995). Para *Stipa setigera* Lemaire y Agnusdei (1999), registraron 2,1; 2,2; 2,4 y 2,3 hojas para otoño, invierno, primavera y verano respectivamente; por otra parte, Azanza et al. (2004), registraron valores de 3,1 hojas por macollo para primavera.

Se presenta entonces a continuación el cuadro con los valores calculados en base a las mediciones obtenidas en el trabajo de campo para las diferentes estaciones.

Cuadro No. 9. Cantidad de hojas vivas por macollo para las tres estaciones estudiadas

	OTOÑO	INVIERNO	PRIMAVERA
media (No. hojas)	3,1	2,8	2,8
Desvío (No. hojas)	0,1	0,1	0,1
C.V. %	5,7	4,8	6,8
Max. (No. hojas)	3,4	3,0	3,1
Min. (No. hojas)	2,9	2,5	2,5

4.3.3. Largo de lámina de hoja completamente expandida

El modelo de superficie de respuesta detecto efectos significativos para invierno y no para otoño y primavera.

En el cuadro 10 se presentan los coeficientes estimados por el modelo para estas dos últimas estaciones

Cuadro 10. Largo de lámina de hoja completamente expandida para Otoño y Primavera.

	Otoño	Primavera
media (No. hojas)	12,4	16,3
Desvío (No. hojas)	1,7	3,4
C.V. %	13,7	20,7
Max. (No. hojas)	15,6	23,0
Min. (No. hojas)	10,3	11,7

4.3.3.1. Otoño

Al no ajustar el modelo de superficie de respuesta para otoño se realizó el estudio lineal con N constante, observándose que al aumentar la oferta aumenta el largo de lámina como se aprecia en la grafica a continuación

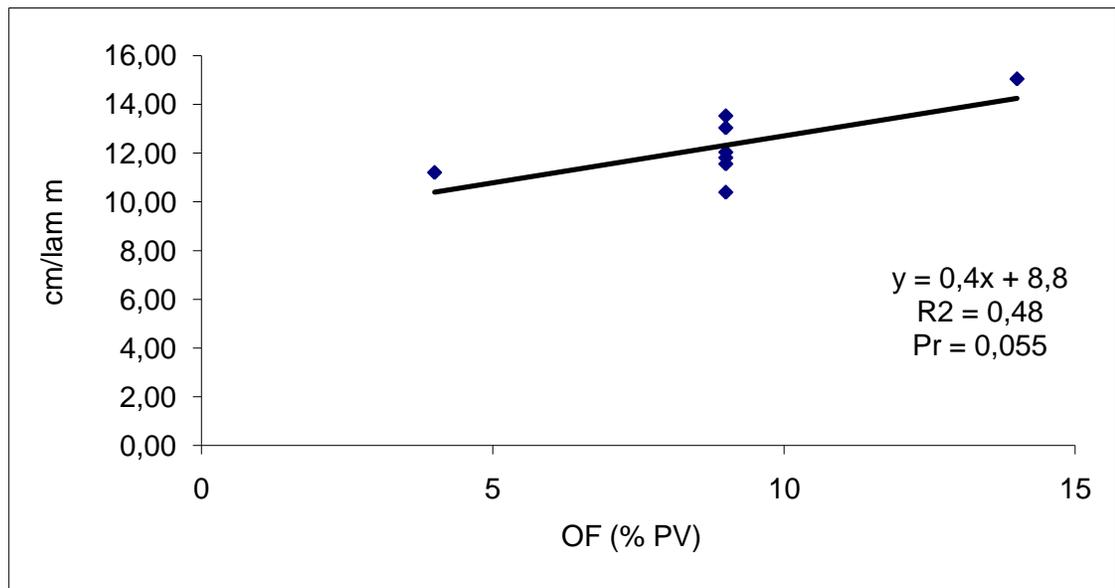


Figura 16. Respuesta otoñal del largo de lámina (cm/lam) de *Bromus auleticus* a la oferta de forraje (% PV) manteniendo una fertilización nitrogenada constante de 150 kg /ha.

Esto se da debido a que al haber una mayor oferta de forraje, el tapiz es más alto y las hojas deben de desarrollarse mas para alcanzar la luz, desarrollando mayor longitud de vainas por lo que la hoja deberá también tener un mayor desarrollo para salir de esta y llegar así a la capa superior del tapiz.

4.2.3.2. Primavera

Para primavera se realizó el estudio lineal con OF constante, observándose que al aumentar el nitrógeno aumenta el largo de lámina. Como se aprecia en la gráfica a continuación.

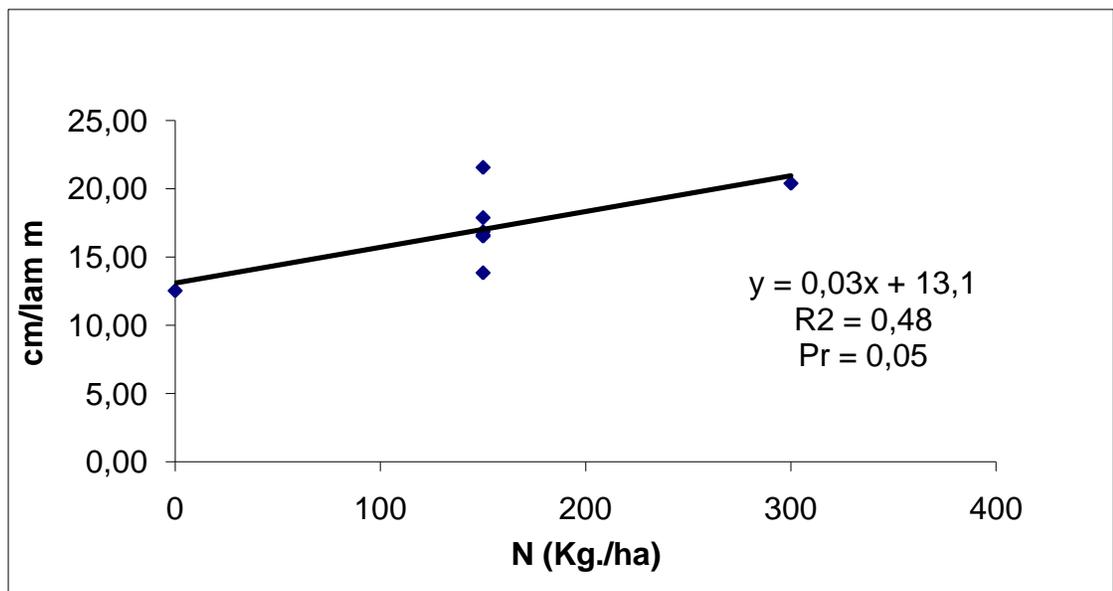


Figura 17. Respuesta primaveral del largo de lámina (cm/lam) de *Bromus auleticus* a la fertilización nitrogenada manteniendo una oferta de forraje (% PV) constante

En esta estación se observa que el aporte de nutrientes sería el limitante del crecimiento, manteniendo una presión de pastoreo constante ya que las condiciones climáticas en primavera son óptimas para el desarrollo de la especie. Es también, en este periodo donde la planta debe generar hojas para captar luz para pasar, a fines de estación, a estado reproductivo, priorizando la producción de semillas frente a la de hojas. A bajas dosis de N si bien el crecimiento no es bajo frente a otras estaciones, no es lo que la planta potencialmente podría desarrollar ya que este comienza a ser limitante.

4.3.3.3. Invierno

Para esta estación se obtuvo la siguiente ecuación del modelo de superficie de respuesta para el muestreo.

$\hat{Y} = 6,8 - 0.005 N + 0.2 OF - 3,6 \times 10^{-5} N^2 + 1,9 \times 10^{-3} OF \cdot N - 0.03 OF^2 - 0,56 B$ ($R^2 = 0.67$; $P = 0.14$) con significancia en el efecto lineal y cuadrático de OF.

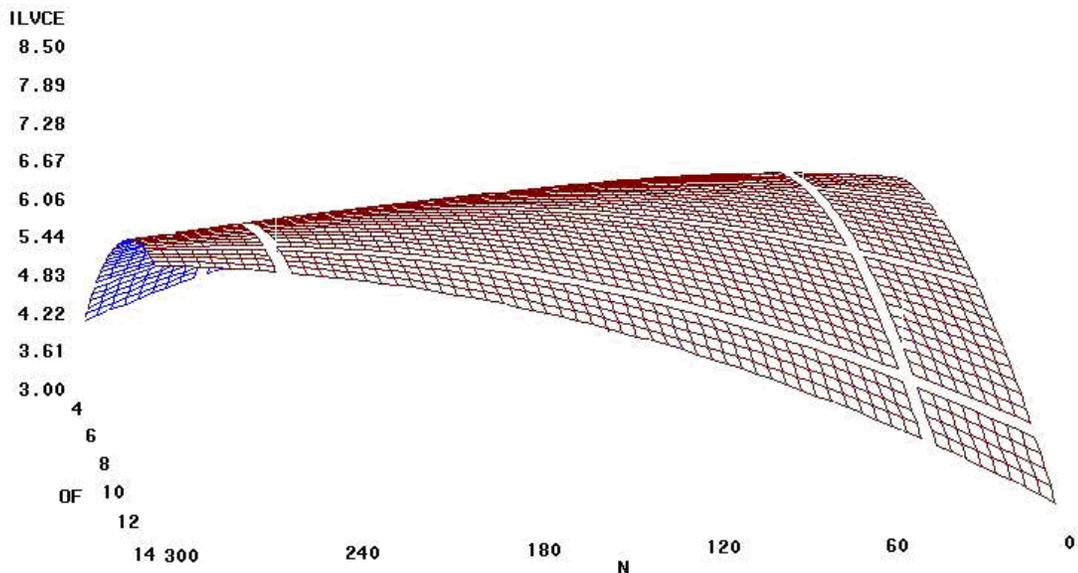


Figura 18. Respuesta del largo de lámina completamente expandida de *Bromus auleticus* a la oferta de forraje (OF % PV) y fertilización nitrogenada (kg N /ha).

El punto estacionario (PE) se encuentra dentro de la región experimental con respuesta estimada $\hat{Y} = 7,2$ cm y coordenadas $OF = 6$ % PV y $N = 80,5$ kg /ha valores que están dentro de la región de estudio. Las raíces características de la ecuación de regresión de forma canónica son $\lambda_1 = -0,07$ y $\lambda_2 = -1.5$ indican que el PE sería un máximo.

Por lo que desplazamientos desde el PE determinan reducciones en la variable lámina verde completamente expandida. A partir del punto estacionario la cantidad de lámina verde disminuye hacia bajas dosis de N, y altas OF de forraje debido a la competencia entre plantas ya que la cantidad de forraje remanente será mayor por lo que habrá una mayor demanda de nutrientes que no podrá ser suministrada por el suelo (siendo este el factor determinante) , esto junto a otros factores como luz y temperatura estarían limitando el desarrollo de la planta, pueden existir también especies estivales que en ese momento presenten un porte mayor por lo que estaría en mejores condiciones de interceptar luz.

A bajas ofertas y alto N se podría explicar el bajo crecimiento por que puede haber otras que no son tan comidas por el ganado y quedarían en mejores condiciones de competir. Sería de esperar mayor elongación aun a mayores dosis de N efecto que no se da posiblemente por la limitante de temperatura y luminosidad.

En gramíneas las hojas aparecen con mayor rapidez cuando las plantas están creciendo en ambientes bien iluminados y con temperaturas optimas. Hay una influencia directa de la temperatura que limita marcadamente cuando es baja y promueve un incremento en el grado de aparición de hojas por encima de 25⁰C (Anslow, 1996).

Según Lemaire y Gastal (1997), el tamaño final de hojas en gramíneas cespitosas es definido por la relación entre tasa de extensión foliar (TEF)/ tasa de aparición de hojas (TAH), teniendo la fertilización N poco efecto sobre la TAH, pero produciendo un incremento marcado en la TEF, resultando en un aumento del tamaño final de hojas en respuesta a la fertilización nitrogenada.

4.3.4. Filocrón

Cuadro 11. Filocron expresado en grados/ día para las tres estaciones estudiadas.

	Otoño	Invierno	Primavera
media (filocron)	179,9	239,2	277,3
Desvío	17,8	17,0	29,0
C.V. %	22,7	20,7	36,6
Max.	224,4	268,7	338,8
Min.	153,7	197,4	213,5

Al comparar los valores promedios de cada estación queda de manifiesto una diferencia en el valor del filocrón que podría estar siendo explicada por los incrementos en la longitud de la vaina, la que fue mayor en primavera que en las otras estaciones respondiendo a la mayor temperatura. Sería entonces mayor el recorrido que tendría que hacer la punta de la hoja para emerger de la vaina y así el lapso de tiempo entre la aparición de dos hojas sucesivas aumentaría, aun existiendo un incremento de la tasa de extensión foliar, que no sería de igual proporción que el incremento de la longitud de la vaina (Skinner y Nelson, 1994).

Se debe tener en cuenta que la metodología empleada para el cálculo de esta variable podría estar distorsionando los valores entre estaciones, dado el bajo porcentaje de macollos que emitieron en realidad hojas en las estaciones de otoño e invierno, al compararse con primavera.

4.3.5. Tasa de elongación foliar

4.3.5.1. Otoño

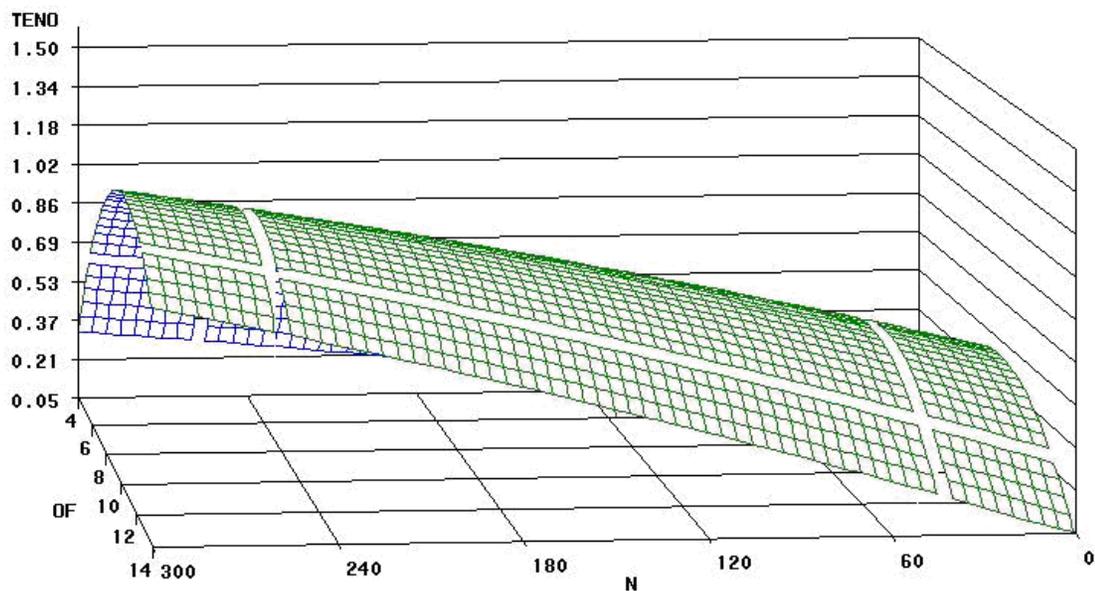


Figura 19. Respuesta de la tasa de elongación foliar de *Bromus auleticus* a la oferta de forraje (OF % PV) y fertilización nitrogenada (kg N/ha).

La tasa extensión neta para otoño (figura 19) ajusta al modelo de superficie de respuesta $\hat{Y} = 0,7 + 0,3 N + 0,03 OF - 0,04 N^2 + 0,11 OF \cdot N - 0,521 OF^2 + 0,081 B$ ($R^2 = 0,81$) ($Pr = 0,025$) Con significancia en el efecto lineal para OF y OF^2 .

El punto estacionario se localiza fuera del área de estudio con coordenadas para $OF = 11,5$ % PV y $N = 787$ siendo la respuesta estimada en el PE $\hat{Y} = 1,4$ mg ms m^2 / $^{\circ}C$.

Las raíces características de la ecuación de regresión de forma canónica son $\lambda_1 = -0,03$ y $\lambda_2 = -0,5$ indicando que el PE es un punto de máximo. El análisis de superficie de respuesta para la ERMR, en el dominio de las amplitudes de los factores estudiados, coincide con lo visualizado en la figura 19, mostrando a dosis medias de oferta se da un punto máximo, lo que estaría reafirmando la significancia de la oferta.

Se aprecia que a altas ofertas de forraje se da una disminución en la tasa de elongación debido a la acumulación de restos secos. Mientras que a altas intensidades de pastoreo (baja oferta) la elongación se ve afectada. Esto último estaría de acuerdo con lo citado por Fulkerson y Slack (1995) donde observaron que al desfoliar plantas de *Lolium perenne* durante 3 meses al estado de una hoja reducían dramáticamente la tasa de rebrote en comparación a la defoliación de plantas con 3 hojas.

4.2.6. Tasa de expansión foliar por macolla en mm/°C

4.2.6.1. Otoño

La tasa expansión foliar por macolla para otoño (figura 20) ajusta al modelo de superficie de respuesta $\hat{Y} = -0,5 + 0,01 N + 0,2 OF - 8,8 \times 10^{-6} N^2 - 6,6 \times 10^{-4} OF \cdot N - 0,0096 OF^2 + 0,01 B$ ($R^2 = 0,69$) ($Pr = 0,11$) Con significancia en el efecto lineal para N, OF y N*OF.

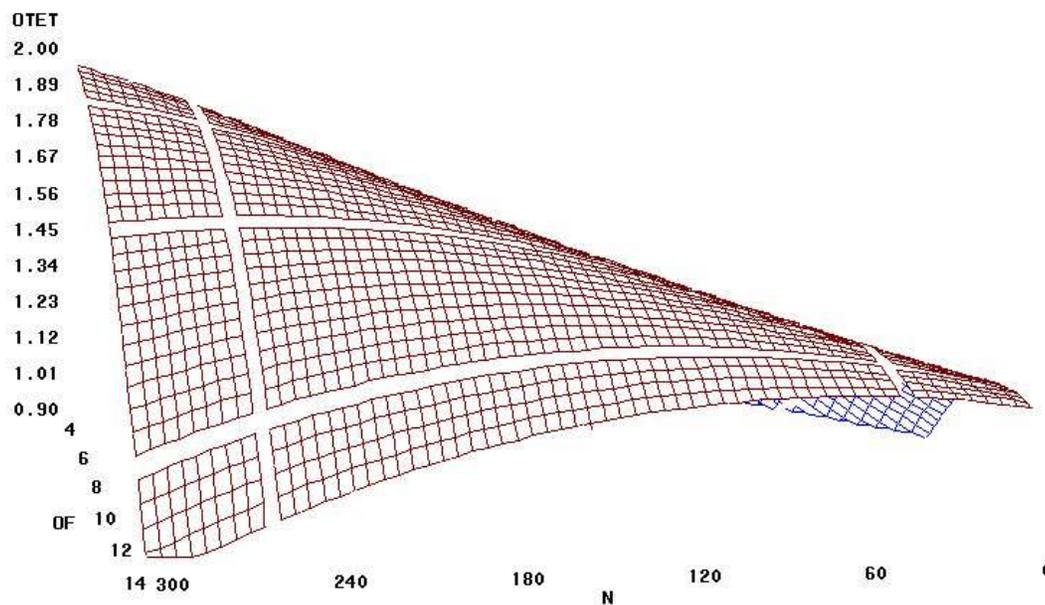


Figura 20. Respuesta de la tasa de expansión foliar por macolla de *Bromus auleticus* a la oferta de forraje (OF % PV) y fertilización nitrogenada (kg N/ha).

Presentando un aumento en la tasa de expansión a medida que disminuye la oferta y mantenemos altos niveles de N. El punto estacionario se localiza fuera del área de estudio con coordenadas para OF= 24,6 % PV y N = - 325,8 siendo la respuesta estimada en el PE $\hat{Y} = 1,00 \text{ mm}^{\circ}\text{C}$.

Las raíces características de la ecuación de regresión de forma canónica son $\lambda_1 = 0,03$ y $\lambda_2 = - 0,47$ indicando que el PE es un punto de silla, o sea un mínimo para N y un máximo para OF. El análisis de superficie de respuesta para la ERM, en el dominio de las amplitudes de los factores estudiados, coincide con lo visualizado en la figura 3, mostrando a altas dosis de nitrógeno un aumento en los mm/ $^{\circ}\text{C}$ de hoja elongados a medida que disminuye la oferta, revirtiéndose la situación a bajas dosis de nitrógeno, lo que estaría reafirmando la significancia de la interacción entre oferta y nitrógeno.

Se aprecia que a altas dosis de nitrógeno y altas ofertas de forraje no se da prácticamente elongación foliar, en estas condiciones las plantas presentan un gran desarrollo el cual estaría muy próximo al potencial de la especie; también estaría afectando el sombreado y competencia que se da entre las hojas de mayor porte y las hojas en crecimiento, disminuyendo su tasa de elongación. A medida que disminuimos la oferta y vamos a menores IAF, disminuimos la competencia principalmente por luz, lo que promoverá una rápida elongación de las hojas en crecimiento que se encuentran con altas condiciones de fertilidad y con buena radiación.

A bajas dosis de nitrógeno, se revierte el efecto, observándose que a altas ofertas se da mayor elongación de hojas que a bajas ofertas. En este caso las plantas rebrotaran utilizando reservas acumuladas durante los periodos de descanso y productos de la fotosíntesis; siendo mayores en el caso de plantas con mayor remanente foliar, contrariamente con lo que pasa con plantas que son defoliadas intensamente.

Soares et al. (1998) estudiando las características morfogénicas de *Bromus auleticus*, en macetas con humedad y temperatura controlada encontraron volares para tasa de extensión foliar promedio de 1,077 mm/macolla/GD.

Whitehead (1995), Rodríguez (1998) encontraron que la fertilización nitrogenada incrementaba la elongación foliar para distintas especies y en distintos periodos de muestreo, posiblemente efecto de una mayor eficiencia de utilización de los recursos del ambiente.

Fulkerson y Slack (1995) afirman que la defoliación a 5 cm es probablemente la altura optima, a 2 cm es muy severo y a los 12 cm es

esperable que ocurra un rápido rebrote pero no es así, debido a que hay macollos hijos y las hojas viejas son ineficientes.

4.3.6.2. Invierno

El modelo de superficie de respuesta detectó efectos significativos para otoño pero no detectó para invierno donde se realizó el estudio lineal con OF constante, observándose que al aumentar el nitrógeno aumenta la tasa de elongación como se aprecia en la gráfica a continuación.

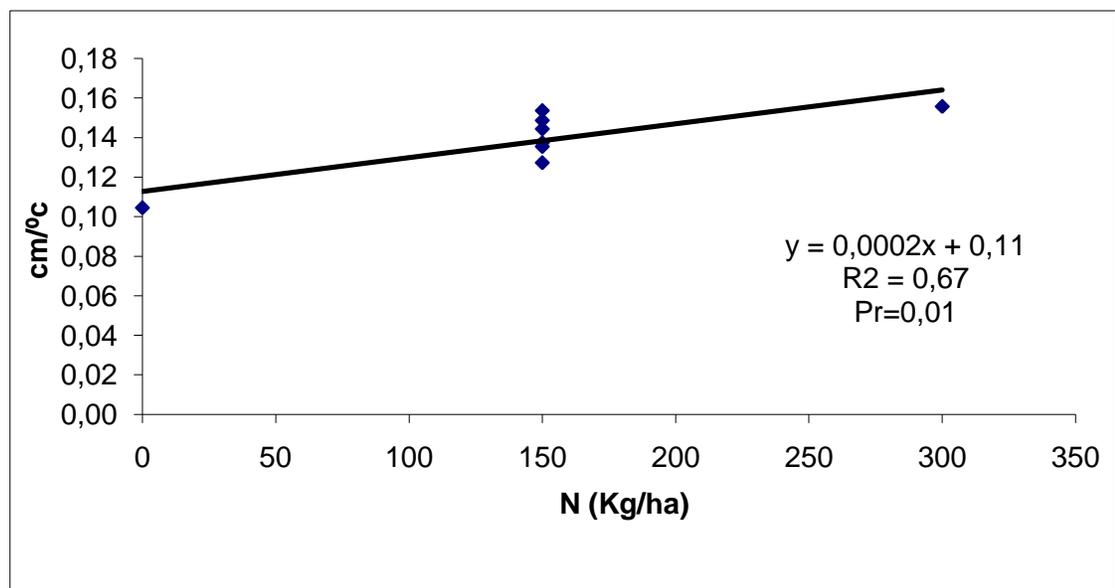


Figura 21. Respuesta invernal de la tasa de elongación expresada en $\text{cm } ^\circ\text{C}$ de *Bromus auleticus* a la fertilización nitrogenada manteniendo una oferta de forraje (% PV) constante

Para primavera el modelo de superficie de respuesta no ajusto, tampoco el estudio de regresión lineal por lo que se presentan los coeficientes estimados para esta variable para esta estación así como para invierno donde hubo un ajuste lineal pero no del modelo de regresión.

Cuadro 12. Tasa de elongación en $\text{cm}/^{\circ}\text{C}$ para invierno y primavera.

	Invierno	Primavera
Media ($\text{CM}/^{\circ}\text{C}$)	0,13	0,14
Desvío	0,02	0,03
C.V. %	0,12	0,19
Max.	0,16	0,18
Min.	0,10	0,09

4.3.7. Tasa de senescencia foliar

El modelo de superficie de repuesta no detectó efectos significativos para los tratamientos de N y OF considerados sobre esta variable en las estaciones de invierno y otoño. En el cuadro 13 se resumen los parámetros estadísticos obtenidos para la tasa de senescencia foliar.

Cuadro 13. Parámetros estadísticos estimados por el modelo para la tasa de senescencia foliar para otoño, invierno y primavera

	Otoño	Invierno	Primavera
Media ($\text{cm}/^{\circ}\text{C}$)	0,08	0,03	0,06
Desvío	0,03	0,02	0,03
C.V. %	0,36	0,72	0,54
Max.	0,14	0,09	0,14
Min.	0,04	0,01	0,02

Como se aprecia, no se detectaron grandes diferencias para esta variable, tan sólo una pequeña tendencia de esta, a ser mayor en otoño. Lo

cual, no estaría en desacuerdo con estudios realizados por Lemaire y Agnusdei (1999), que concluyen que, cualquier evento que aumente la tasa de elongación foliar y el largo final de hoja, tales como aumento en la temperatura o aplicaciones de nitrógeno, aumentarán la tasa de crecimiento de la pastura sin alterar la senescencia, siempre y cuando no nos encontremos ante restricciones hídricas y/o nutricionales importantes.

Se desprende del cuadro 14, la menor tasa de senescencia detectada en primavera respecto a la de otoño. Moraes et al. (1995) encontró en una situación de temperaturas crecientes como en primavera, que el balance entre crecimiento y senescencia foliar es positivo dado que la senescencia afecta apenas a las hojas de tamaño más reducido, emitidas en temperaturas mas bajas y no a aquellas que están siendo elaboradas. En una situación de temperatura decreciente como en otoño, la situación es inversa. Es de tener en cuenta el hecho de que la tasa de senescencia no sigue inmediatamente la misma tendencia que la tasa de elongación o el tamaño de hoja (Lemaire y Agnusdei, 1999), ya que esta está más asociada a la porción de tejido foliar formada anteriormente.

4.3.7.1. Primavera

La tasa de senescencia de macollos de *Bromus auleticus* presento respuesta diferente para oferta y nitrógeno en los muestreos de primavera (figura 22) mientras que para los muestreos de otoño e invierno el modelo no ajusto.

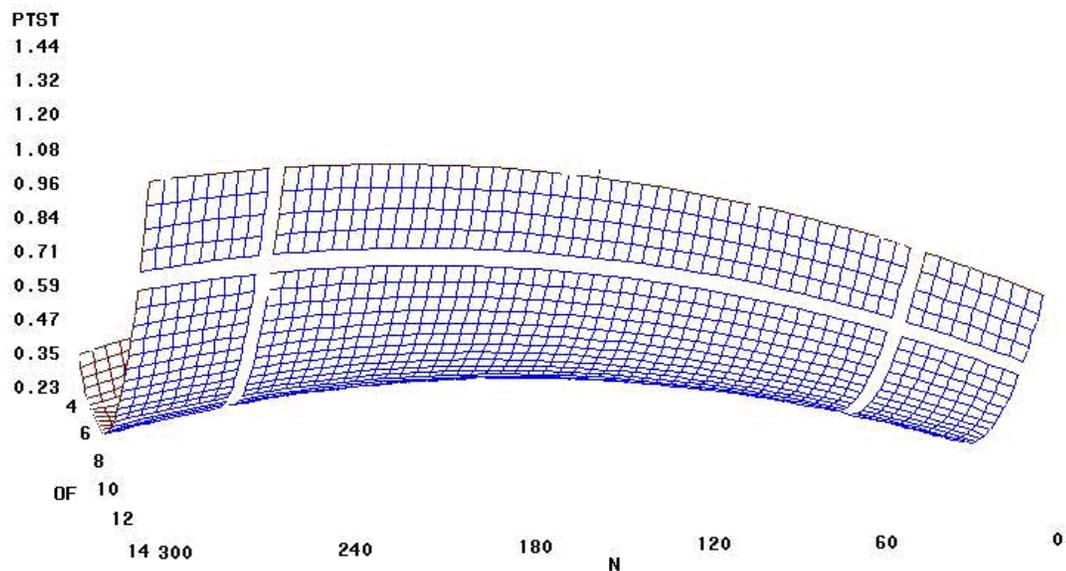


Figura 22. Respuesta de la tasa de senescencia total de *Bromus auleticus* a la oferta de forraje (OF % PV) y fertilización nitrogenada (kg N/ha).

Se obtuvo la siguiente ecuación del modelo de superficie de respuesta para el muestreo.

$$\hat{Y} = 1,67 + 0,00082 N - 0,35 OF - 8,8 \times 10^{-6} N^2 + 2 \times 10^{-4} OF * N + 0,021 OF^2 + 1,8 \times 10^{-2} B \quad (R^2 = 0,83; P = 0,018),$$

con significancia en el efecto lineal y cuadrático de OF

El punto estacionario (PE) se encuentra dentro de la región experimental con respuesta estimada $\hat{Y} = 0,41$ y coordenadas OF = 7,6 % PV y N = 133,5 kg /ha valores que están dentro de la región de estudio. mm/°C. Las raíces características de la ecuación de regresión de forma canónica son $\lambda_1 = 0,53$ y $\lambda_2 = -0,20$ indican que el PE sería un punto de silla, con respuesta mínima para N y máxima para OF.

Se puede concluir que al ir de altas ofertas (14 %PV) a menores ofertas (hasta 7,6 %PV), menor será la tasa de senescencia total por macolla, independientemente de las dosis de nitrógeno que se utilicen, a partir de 7,6 % PV comienza a aumentar la senescencia nuevamente.

Con altas asignaciones de forraje queda mucho remanente, donde la mayoría de las hojas que quedan serán viejas o ya expandidas, ya que los animales seleccionaran el vegetal más tierno y de mejor calidad, a medida que vamos a asignaciones menores este efecto será menor, lográndose un tapiz más uniforme y con mayor proporción de hojas nuevas. A muy bajas ofertas comprometemos ya el rebrote de las macollas defoliadas, por lo que comienza a aumentar la senescencia nuevamente.

4.3.8. Área específica

El modelo no ajusto para la variable en estudio en ninguna de las tres estaciones.

4.3.8.1. Otoño

En esta estación el estudio de regresión lineal dio significativo para el efecto de N sobre el peso específico para una oferta constante (9%PV).

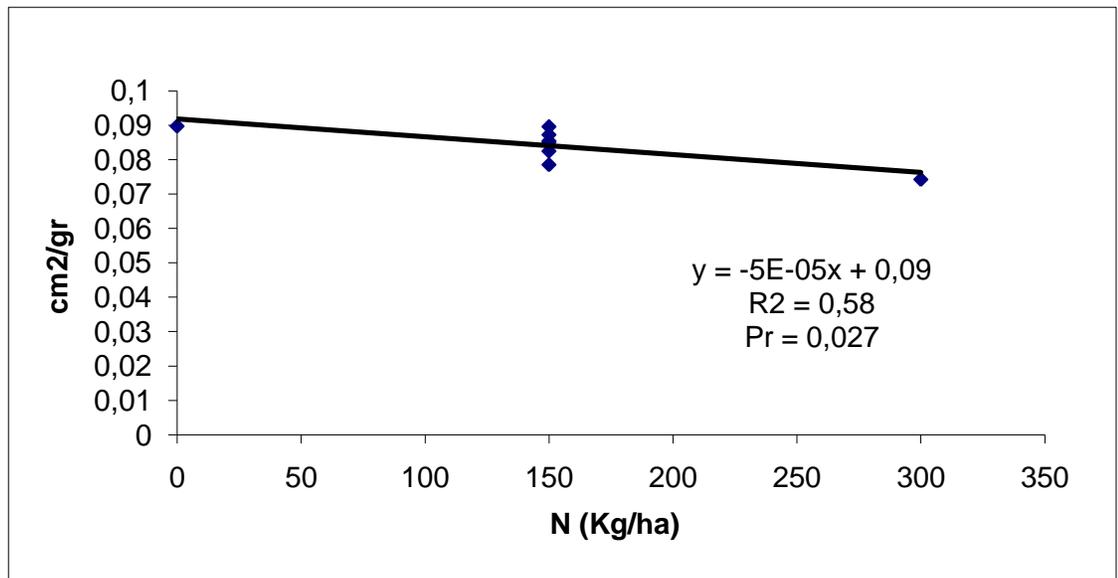


Figura 23. Respuesta del peso específico de *Bromus auleticus* a la fertilización nitrogenada manteniendo una oferta de forraje (% PV) constante

En la Figura 23 se observa una clara tendencia de disminución del peso específico al aumentar la fertilización nitrogenada con OF constante, esto es debido principalmente a la variación de la composición tisular que presentan las plantas ante el agregado de este nutriente. En la situación de altas disponibilidades de nitrógeno las plantas son más voluminosas, con mayores contenidos de agua, con una mayor proporción de epidermis, parénquima esponjoso y clorenquima clorofiliano, siendo estos dos últimos, tejidos con un alto contenido de espacios intercelulares. De este modo son plantas de menor peso específico en comparación con situaciones de déficit de nitrógeno en donde existe una mayor compactación de los tejidos, con menores espacios intercelulares generando un mayor peso por milímetro de lámina. A su vez Lemaire y Gastal (1997) determinaron que cuando la planta desarrolla hojas más grandes, un incremento proporcional de tejido estructural de la planta es

necesario para mantener las láminas en posición erecta, lo que lleva a las observadas reducciones en el área específica (cm²/gr) de la punta de la hoja hacia la base de esta.

4.3.8.2. Invierno

Para esta estación el modelo de superficie de respuesta no ajustó para peso específico. Los valores estuvieron en el rango de 0,10 mg/mm a 0,07mg/mm con un valor promedio de 0,088 mg/mm +/- 0,006 mg/mm (CV=0,81%)

4.3.8.3. Primavera

Para esta estación el modelo de superficie de respuesta no ajusta para peso específico. Los valores estuvieron en el rango de 0,11 mg/mm a 0,08 mg/mm con un valor promedio de 0,094 mg/mm +/- 0,008 mg/mm (CV=1,04%)

Cuadro 14. Parámetros de la regresión de la respuesta del peso específico en mg/mm

	Otoño	Invierno	Primavera
media (mg/mm)	0,0850	0,0888	0,0949
Desvío	0,0050	0,0062	0,0084
C.V. %	0,0070	0,0081	0,0104
Max.	0,0949	0,1057	0,1169
Min.	0,0695	0,0746	0,0834

4.3.9. Producción neta de láminas en kg de MS/ha/gcd

La superficie de respuesta para la producción de materia seca de láminas ajusto para las estaciones de otoño e invierno.

4.2.9.1. Otoño

La producción neta de láminas en kg de MS/ha/GCD de *Bromus auleticus* presento respuesta diferente para oferta y nitrógeno en los muestreos de Otoño.

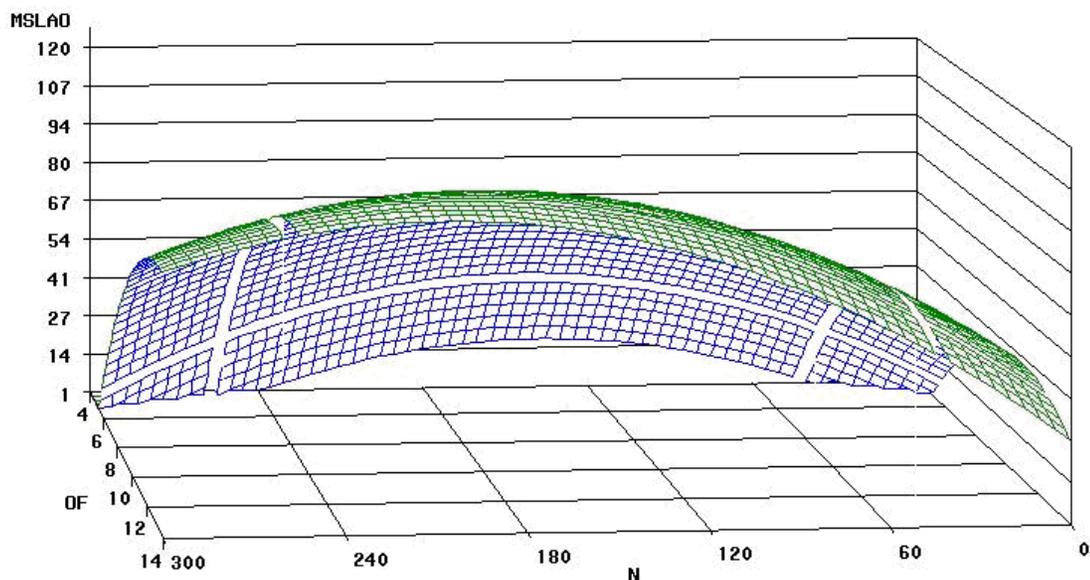


Figura 24. Respuesta de la producción neta de láminas en kg de MS/ha/GCD de *Bromus auleticus* a la oferta de forraje (OF % PV) y fertilización nitrogenada (kg N/ha).

Se obtuvo la siguiente ecuación del modelo de superficie de respuesta para el muestreo.

$$\hat{Y} = 64,09 + 15,62 N - 25,77 OF - 37,8 N^2 + 17,28 OF*N - 29,02 OF^2 + 20,05 B \quad (R^2 = 0,82; P = 0,02), \text{ con significancia en el efecto cuadrático de N}$$

El punto estacionario (PE) se encuentra dentro de la región experimental con respuesta estimada $\hat{Y} = 73,67$ y coordenadas $OF = 11,71$ % PV y $N = 199,6$ kg/ha valores que están dentro de la región de estudio. Las raíces características de la ecuación de regresión de forma canónica son $\lambda_1 = -23,71$ y $\lambda_2 = -43,10$ indican que el PE sería un punto máximo. El análisis de los resultados indican un efecto cuadrático del N como se aprecia en la grafica donde a dosis medias de N se da un punto máximo.

En esta estación se aprecia que al manejar altas asignaciones de forraje y alta oferta de nitrógeno estamos favoreciendo la producción de materia seca hasta cierto punto donde comienza a afectar la cantidad de hojas que entran en senescencia, compitiendo con las nuevas hojas y ejerciendo un efecto de sombreado sobre estas por lo que ven afectado su capacidad de crecimiento. Al disminuir la oferta de nitrógeno este sería limitante por lo que la producción se vería afectada y al aumentar la presión de pastoreo (bajar la oferta) la limitante sería la fuente de hoja remanente para captar luz y desarrollar su potencial de crecimiento.

4.3.9.2. Invierno

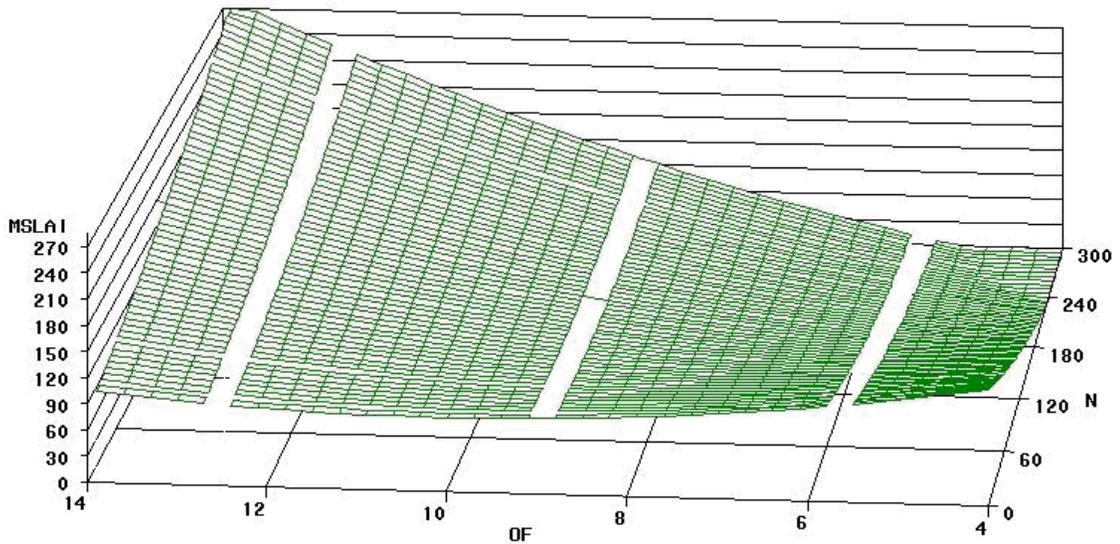


Figura 25. Respuesta de la producción neta de láminas en kg de MS/ha/GCD de *Bromus auleticus* a la oferta de forraje (OF % PV) y fertilización nitrogenada (N kg /ha).

Para esta estación se obtuvo la siguiente ecuación del modelo de superficie de respuesta.

$$\hat{Y} = 75,1 + 22,5 N + 61,5 OF + 3,4 N^2 + 58,9 OF \cdot N - 22,4 OF^2 + 7,0 N^2 \quad (R^2 = 0,73; P = 0,07)$$

El punto estacionario (PE) se encuentra dentro de la región experimental con respuesta estimada $\hat{Y} = 57,04$ y coordenadas OF = 7,5 % PV y N = 26,2 kg /ha valores que están dentro de la región de estudio. Las raíces características de la ecuación de regresión de forma canónica son $\lambda_1 = 43,93$ y $\lambda_2 = -18,04$ indican que el PE sería un punto de silla.

En el invierno al ser la temperatura limitante de crecimiento se aprecia que la respuesta al nitrógeno se da con una oferta elevada donde hay hojas que puedan responder a la aplicación de este nutriente mientras que con bajas ofertas de forraje la temperatura ejerce su efecto limitando el crecimiento de las hojas por lo cual no pueden aprovechar el nitrógeno disponible. Con bajos niveles de N la producción de MS no varía mucho al cambiar la oferta de forraje, contrariamente a lo que sucede con altas dosis de N donde se ve que al aumentar la presión de pastoreo este es mejor aprovechado por otras especies de distinto porte y diferente palatabilidad que son menos consumidas por los animales

4.3.9.3. Primavera

Para esta estación el modelo de superficie de respuesta no ajusta para la producción de láminas en kg MS/ha. Los valores estuvieron en el rango de 83kg MS/ha a 11 kg MS/ha con un valor promedio de 46 kg MS/ha +/- 24 kg.ms/ha (CV=0,53%)

Cuadro 15. Parámetros de la regresión de la respuesta de la producción de láminas en kg MS/ha.

	Primavera
Media (mg/mm)	45,7
Desvío	24,3
C.V. %	0,5
Max.	82,8
Min.	10,9

4.4. CONSIDERACIONES GENERALES

La utilización de la metodología de la superficie de respuesta permite estudiar las respuestas de un conjunto de variables, a una amplia gama de combinaciones de OF y dosis de N que de otra forma no serían posibles, en un único experimento. El mismo no apuntaba a la obtención de máximos y mínimos, sino a delimitar líneas de tendencias en las respuestas, las cuales pueden ser profundizadas. Por lo tanto surge de estas informaciones la necesidad de ampliar los estudios sobre esta y otras especies de las pasturas nativas.

Se observaron efectos e interacciones producidos por factores no controlables, como ser las diferentes condiciones climáticas de las distintas estaciones, principalmente, las precipitaciones y la temperatura. Es relevante también, mencionar el hecho que las prioridades de utilización del nitrógeno se modifican entre las estaciones del año o según el nivel de desarrollo de las estructuras.

Para la mayoría de las variables se puede afirmar que hubo un efecto de la interacción entre ambos factores que marcó el sentido de las mayores variaciones.

En la Figura 26 se aprecia la dependencia de los factores ambientales en la expresión de las variables morfogénicas. En el período comprendido por nuestro estudio, el régimen hídrico puede considerarse excesivo (teniendo en cuenta la dinámica del nitrógeno), así como la temperatura sin duda influyó de forma muy importante en la expresión de las variables estudiadas.

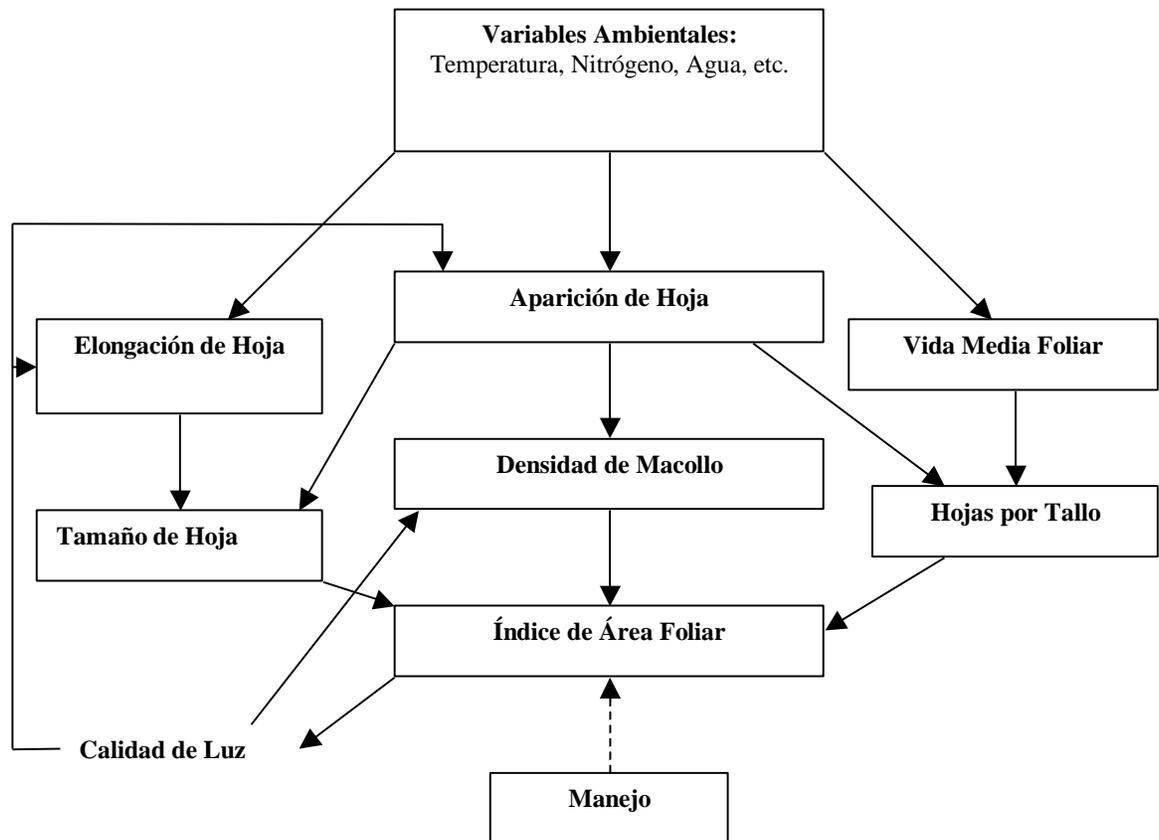


Figura 26. Relación entre las variables morfológicas y las características estructurales de la pastura (Lemaire y Chapman, 1996).

La densidad de plantas de *Bromus auleticus* aparenta ser favorecido por ofertas desde medias a altas y valores medios de N para otoño, tanto en invierno como en primavera el modelo de respuesta no ajusto. Al observar el comportamiento de la densidad de macollos las respuesta más notable de la variable se observaron hacia tratamientos con altas asignaciones pero con dosis medias de nitrógeno, habiéndose detectado para la estación de otoño valores de hasta 1750 mac/m², en invierno las limitantes pasan a ser la temperatura, humedad y radiación a ofertas del 12% y dosis de 130 kg/ha de N. En primavera la incidencia del pasaje de la planta de estado vegetativo a

reproductivo sería la determinante de que el número de macollos se vea limitado.

El modelo utilizado no encontró diferencias significativas para las variables, macollos por planta y peso de macollos. Por otro lado en el estudio de dinámica poblacional la densidad de plantas y densidad de macollos no predijeron valores significativos por lo que se estima que el área seleccionada no fue representativa.

En cuanto a las variables morfogénicas estudiadas tampoco se pudo encontrar diferencias significativas ya que los modelos no ajustaron para la variable ancho de lámina completamente expandida, donde se observa una tendencia que al aumentar la dosis de nitrógeno se incrementa el ancho de lámina independientemente de la estación. La variable número de hojas es una constante genotípica la cual no se ve afectada significativamente al variar el nivel de N.

En lo que respecta al largo de hoja completamente expandida hay que tener en cuenta que las hojas aparecen con mayor rapidez cuando las plantas están creciendo en ambientes bien iluminados y con temperaturas óptimas independientemente de la especie. En el estudio de esta variable para *Bromus auleticus* se observó una disminución hacia valores altos de N, bajos de OF donde las plantas menos apetecibles son más competitivas y viceversa. Pese a que el tamaño final está definido por una relación entre la Tasa Elongación Foliar / Tasa Aparición Hojas (esta última poco influenciada por el efecto del N).

Por lo tanto se puede concluir, que en primavera tendremos plantas con hojas más grandes, que logran su tamaño final en menos tiempo, con respecto a las formadas en otoño-invierno debido a las condiciones climáticas. Información que podría ser útil para minimizar las pérdidas de forraje cuando se

debe planificar la estrategia de defoliación. A pesar de que parte de las diferencias observadas en el filocrón, a través de las diferentes estaciones, puede deberse al método de cálculo, se podría indicar una plasticidad morfogénica marcada, para esta especie y una tendencia a aumentarse con la aplicación de nitrógeno. Pero sin duda, en un año de estudio no se tiene evidencia suficiente para dar como cierto este comportamiento.

Cabe destacar que *Bromus auleticus* al ser una especie muy palatable en condiciones de campo natural se ve afectada por pastoreos intensos ya que es defoliada en mayor cantidad con respecto a las demás especies presentes en el tapiz, lo que condiciona su rebrote. En condiciones de pastoreo no muy intensos (manejando ofertas de 9% PV) es donde tiene un mayor desempeño, el cual se ve promovido por condiciones climáticas como la temperatura y no es limitado por factores como las radiación, factor determinante en condiciones de sub pastoreo donde pasa a ser deficitaria.

5. CONCLUSIONES

Una evaluación realizada en un solo año no es de tiempo suficiente para extraer conclusiones definitivas sobre los efectos que provocan los diferentes tratamientos sobre la producción de una especie en el tapiz. La realización de este experimento permitió conocer un poco más el potencial productivo de esta especie. De la cual, si bien se sospecha que es de buenas características forrajeras, no existe mucha información acerca de la misma en el país.

La producción de MS de *Bromus auleticus* dentro de una comunidad vegetal (CN), fue modificada por las variaciones y/o diferentes combinaciones de los factores en estudio (N y OF), a través de la modificación de dichas variables.

Bromus auleticus es una especie invernal de alta palatabilidad lo que condiciona su productividad en condiciones de alta presión de pastoreo, su mayor potencial productivo dentro de una comunidad vegetal (CN) se da con condiciones medias de pastoreo y fertilización nitrogenada.

Con niveles medios de fertilización y moderada intensidad de pastoreo (9 %PV y 150 kg N/ha) estaríamos promoviendo el desarrollo de la especie por intermedio del incremento del número de plantas/m² en otoño y macollos/m² desde otoño hasta mediados de primavera.

Debieran repetirse los estudios considerando aumentar el número de muestras para tener mayor sensibilidad en la distribución de la respuesta.

6. RESUMEN

El presente trabajo tuvo lugar en la Estación Experimental Mario A. Cassinoni de la Facultad de Agronomía, ubicada en el Km. 363 de la ruta nacional numero 3, del departamento de Paysandú. El periodo de evaluación se extendió desde 3/06/02 hasta 7/11/02, con el objetivo de estudiar la respuesta morfogénica y la producción de forraje de *Bromus auleticus trinus* frente a diferentes dosis de fertilización nitrogenada y distintas ofertas de forraje. Las variables poblacionales estudiadas fueron: densidad de plantas (plantas/m²), densidad de macollos (macollos/m²), macollos por planta (macollos/planta) y peso de los macollos (mg/macollo) en los muestreos con cuadros. A su vez se midió la densidad de plantas y macollos en los muestreos con los cuadrados fijos. Las variables morfogénicas estudiadas fueron 14, las mismas fueron analizadas a campo y en el laboratorio. A partir de estas mediciones obtuvimos como resultado que la densidad de plantas de *Bromus auleticus* aparenta ser favorecido por ofertas desde medias a altas y valores medios de N para otoño, tanto en invierno como en primavera el modelo de respuesta no ajusto. Al observar el comportamiento de la densidad de macollos las respuesta más notable de la variable se observaron hacia tratamientos con altas asignaciones pero con dosis medias de nitrógeno, habiéndose detectado para la estación de otoño valores de hasta 1750 mac/m², en invierno las limitantes pasan a ser la temperatura y radiación a ofertas del 12% y dosis de 130 kg/ha de N. En primavera la incidencia del pasaje de la planta de estado vegetativo a reproductivo sería la determinante de que el número de macollos se vea limitado. En cuanto a las variables morfogénicas estudiadas tampoco se pudo encontrar diferencias significativas ya que los modelos no ajustaron para la variable ancho de lámina completamente expandida, donde se observa una tendencia que al aumentar la dosis de nitrógeno se incrementa el ancho de

lámina independientemente de la estación. La variable número de hojas es una constante genotípica la cual no se ve afectada significativamente al variar el nivel de N. En lo que respecta al largo de hoja completamente expandida para *Bromus auleticus* se observó una disminución hacia valores altos de N, bajos de OF donde las plantas menos apetecibles son más competitivas y viceversa. Pese a que el tamaño final está definido por una relación entre la Tasa Elongación Foliar / Tasa Aparición Hojas (esta última poco influenciada por el efecto del N). No se observaron limitantes del punto de vista hídrico, pero sin lugar a dudas la temperatura influyo de forma muy importante en la expresión de las variables estudiadas, principalmente sobre la tasa de elongación y el tamaño de hoja. De igual manera la producción de materia seca tuvo una relación directa con el macollaje y estos respondieron generalmente frente a la interacción entre ambos factores (N y OF). Los trabajos de esta índole permiten un mayor conocimiento de las respuestas de las plantas para una mejor utilización de las pasturas.

Palabras clave: *Bromus auleticus*; Variables morfogenicas; Variables poblacionales; Producción de forraje; Fertilización nitrogenada; Ofertas de forraje; Campo natural; Pastoreos; Densidad de plantas; Densidad de macollos; Macollos por planta; Peso de los macollos.

7. SUMMARY

The following work had place at the Estacion Experimental Mario A. Cassinoni at the Udelar, in the kilometer 363 of the national route No. 3, in the Province of Paysandú. The evaluation period lasted from the 3rd of June, 2002, until the 7th of November, 2002, with the purpose of studying the morphogenetic response and the forage production of *Bromus auleticus trinus* after receiving different doses of nitrogen fertilization and different forage offers. The variables studied were: plant density (plants/m²), shoot density (shoots/m²), shoots per plant (shoots/plants), and shoots weight (mg/shoot) in the sampling squares. At the same time the shoot and plant density was measured in the sampling fixed squares. The morphogenetic variables studied were 14, which were analyzed in the fields and in the laboratory. The results obtained from these measurements were that the plant density of *Bromus auleticus trinus* seems to benefit from medium and high offers and medium values of N in autumn, and that in winter and in spring the response model does not fit. When observing the behavior of shoot density the clearest response of the variable was observed in high assignment but medium dose of nitrogen treatments, detecting values of 1750 mac/m² in autumn, and that in winter the limitations are temperature and radiation with offers of 12% and N doses of 130 kg/ha. In spring, the effect of the process in which the plant passes from a vegetative to a reproductive state would be the responsible for the limited number of shoots. With regard to the morphogenetic variables studied, no significant differences were discovered since the models did not adjust to the variable completely expanded láminate width, where increasing the nitrogen dose implies an increment in the láminateláminate width no matter the season. The No of plants variable is a genotypic constant that is not significantly affected when varying the N level. Regarding the length of the completely expanded leaf of *Bromus auleticus trinus*, it was observed that, with high values of N, there was a decrease in OF

levels, and that the less appetizing plants were more competitive and vice versa. Even though the final size is determined by a relation between the Leaf Elongation Rate/Leaf Appearance Rate (the latter little affected by the effect of N). From the point of view of water no limitations were observed, but temperature undoubtedly influenced the expression of the variables studied, mainly the elongation and the size of the leaf. Additionally, the production of dry material was directly related to the production of shoots and these generally responded to the interaction between the two factors (N and OF). Works like this provide a deeper knowledge of the responses of plants in order to make a better use of pastures.

Keywords: *Bromus auleticus*; Morphogenetic variables; Population variables; The forage production; Nitrogen fertilization; Supplies from forage; Natural pasture; Pasturing; Density of plants; Density of tillers; Tillers per plant; Weight of the tillers.

8. BIBLIOGRAFIA

1. ALEXANDRINO, E.; NACIMENTO, D.; MOSQUIM, P.; REGAZZI, A.; FONSECA, D.; ROCHA, F. 1999. Efeito de adubação nitrogenada e da frequência de corte na rebrotarção de *Brachiaria brizantha* cv Marandu. I produção de materia seca e vigor de rebrotarção. In: Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology (1999, Curitiba). Proceedings. Curitiba, CABI. pp. 283-287.
2. ANSLOW, R.C. 1996. The rate of appearance of leaves on tillers of the gramineae. *Herbage Abstracts*. 36 (3): 149–155.
3. AYALA, W.; CARAMBULA, M. 1994a. Nitrógeno en campo natural. In: Moron, A.; Risso, D.F. eds. Nitrógeno en pasturas. Tacuarembó, INIA. pp. 33-42 (Serie Técnica no. 51).
4. _____. 1994b. Respuesta a la fertilización nitrogenada de tres gramíneas sembradas en cobertura. In: Moron, A.; Risso, D.F. eds. Nitrógeno en pasturas. Tacuarembó, INIA. pp. 43-48 (Serie Técnica no. 51).
5. AZANZA, A.; PANISSA, R.; RODRIGUEZ, E. 2004. Evaluación de la fertilización nitrogenada de campo natural bajo pastoreo de vacunos en el período primaveral. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 91 p.
6. BARRETO, I.L.; BOLDRINI, I.I. 1990. Aspectos físicos, vegetação e problemática das regiões do Litoral, Depressão Central, Missões e Planalto do Rio Grande do Sul, Brasil. In: J. Puignau, ed. Introduccion, conservacion y evaluacion de germoplasma forrajero en el cono sur. Montevideo, IICA/PROCISUR. pp. 199-210 (PROCISUR. Serie Diálogos no. 28).
7. BELANGER, G.; GASTAL, G.; LEMAIRE, G. 1992. A growth analysis of tall fescue sward fertilized with different rates of nitrogen. *Crop Science*. 32: 1371-1376.
8. BEMHAJA, M. 1994. Fertilización nitrogenada en sistemas ganaderos. In: Moron, A.; Risso, D.F. eds. Nitrógeno en pasturas. Tacuarembó, INIA. pp. 49-56 (Serie Técnica no. 51).

9. BERRETA, E. 1994. Nitrógeno en campo natural. In: Moron, A.; Risso, D.F. eds. Nitrógeno en pasturas. Tacuarembó, INIA. pp. 33-42 (Serie Técnica no. 51).
10. _____. 1996. Campo natural; valor nutritivo y manejo. In: Risso, D.F., Berretta, E.J.; Morón, A. eds. Producción y manejo de pasturas. Montevideo, INIA. pp. 113-127 (Serie Técnica no. 80)
11. _____.; RISSO D.F.; LEVRATTO J.C.; ZAMIT W.S. 1998. Mejoramiento de campo natural de basalto fertilizado con nitrógeno y fósforo. In: Seminario de Actualización en Tecnologías para Basalto (1998, INIA Glencoe). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 63-73 (Serie Técnica no. 102)
12. BLASER, R. E.; BRYANT, H. T.; WARD, C. Y.; HAMMES, R. C. 1959. Animal performance and yields with methocis of utilizing pasture. *Agronomy Journal*. 51 (4): 238-42.
13. BOGGIANO, P.1990. Evaluación de 14 gramíneas perennes bajo pastoreo. In: Seminario Nacional de Campo Natural (2º., 1990, Montevideo). Trabajos presentados. Montevideo, Hemisferio Sur. pp.185-195.
14. _____. 2000. Dinâmica de produção primaria da pastagem nativa em área de fertilidade corrigida sob efeito de adubação nitrogenada e oferta de forragem. Tese (Doutorado). Programa de pos – graduação em Zootecnia. Porto Alegre, RS, Brasil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Agronomia. 191 p.
15. BOTTARO, C.; ZAVALA, F. 1973. Efecto de la fertilización mineral NPK en la producción de forraje de algunas pasturas naturales del Uruguay. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 170 p.
16. BOX, G.E.; WILSON K.B. 1951. On experimental attainment of optimum conditions. *Journal of the Royal Statiscal Society*. Serie. B. 13: 1 -45.
17. CARÁMBULA, M. 1971. Producción y manejo de pasturas sembradas. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. 464 p.
18. _____.1996. Pasturas naturales mejoradas. Montevideo, Uruguay, Hemisferio Sur. 413 p.

19. CHAPMAN, D.F.; CLARK, D.A.; LAND, C.A.; DYMOCK, N. 1983. Leaf and tiller growth of *Lolium perenne* and *Agrostis* spp. and leaf appearance rates of *Trifolium repens* in set-stocked and rotationally grazed hill pastures. *New Zealand Journal of Agricultural Research* (Wellington). 26: 159-168.
20. _____; LEMAIRE, G. 1993. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. *In*: International Grassland Congress (17°. 1993, Palmerston North). Proceedings. Palmerston North, New Zealand Grassland Association, Keeling & Mundi. pp. 95-104.
21. COCHRAN, W.G.; COX, M.G. 1957. Experimental designs. 2nd ed. New York, John Wiley y Sons. 611 p.
22. DAVIES, A. 1974. Leaf tissue remaining after cutting and regrowth in perennial ryegrass. *Journal of Agricultural Science*. (Cambridge) 82:165-172.
23. DEREGIBUS, V.A., SANCHEZ, R.A. 1981. Influencia de la densidad del canopeo en el macollaje de gramíneas forrajeras. *Revista Argentina de Producción Animal*. 8:254-261.
24. _____; _____; CASAL, J.J.; TRLICA, M.J. 1985. Tillering responses to responses to enrichment of red light beneath the canopying a humid natural grassland. *Journal of Applied Ecology*. 22:199-206.
25. DONAGHY, D. J., FULKERSON, W. J. 2002. The impact of defoliation frequency and nitrogen fertilizer application in spring on summer survival of perennial ryegrass under grazing in subtropical Australia. *Grass and Forage Science*. 57: 351-359.
26. EGGERS, L. 1999. Morfogênese e desfolhação de *Paspalum notatum* Fl. E *Coelorhachis selloana* (Hanck.) Camus em níveis de oferta de forragem. Tese (Doutorado). Programa de pos – graduação em Zootecnia. Porto Alegre, RS, Brasil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Faculdade de Agronomia. 148 p.
27. FREYRE, A.; METHOL, M. 1982. Evaluación primaria de *Bromus auleticus*. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 124 p.

28. FULKERSON, W.J.; SLACK, K. 1995. Leaf number as a criterion for determining defoliation time for *Lolium perenne*: 2 -Effect of defoliation and height. *Grass and Forage Science*. 50: 16-20.
29. GASTAL, F.; LEMAIRE, G. 1988. Study of a tall fescue grown under nitrogen deficiency conditions. In: General Meeting of the European Grassland Federation (12th., 1988, Dublin). Proceedings. Dublin, s.e. pp 323-327.
30. GONZALEZ, A.; QUEHEILLE, F.; GARCIA, A.; BOGGIANO, P.; ZANONIANI, R.; CADENAZZI M. 2004. Efecto de la oferta de forraje y fertilización nitrogenada sobre la densidad invernal de macollas por planta de *Stipa setigera* Presl en un campo natural del Uruguay. In: Reunión del Grupo Técnico Regional del Cono Sur en Mejoramiento y Utilización de los Recursos Forrajeros del Área Tropical y Subtropical; Grupo Campos (20º., 2004, Salto, Uruguay). Trabajos presentados. Salto Uruguay, s.e. pp. 266-267.
31. GRANT, S.A.; BARTHAM, G.T.; TORUELL, L. 1981. Components of regrowth in grazed and cut *Lolium perenne* Swards. *Grass and Forage Science*. 36: 155-168.
32. _____; ELSTON, D.A.; BARTHAM, G. T. 1989. Problems of estimating tissue turnover in grass swards in the presence of grazing animals. *Grass and Forage Science*. 44: 47-54.
33. HODGSON, J. 1966. The frequency of defoliation of individual tillers in a setstocked sward. *Journal of the British Grasslands Society*. 21: 258-63.
34. _____.1985. The control of herbage intake in the grazing ruminant. *Proceedings of the Nutrition Society*. 44: 339-346.
35. HUNT, L. A. 1965. Some implications of death and decay in pasture production. *Journal of the British Grass-land Society*. 20: 27-31.
36. LEMAIRE, G.; CHAPMAN, D. 1996. Tissue flows in grazed plant communities. In: Hodgson, J.; Illius, A.W. Eds. *The ecology and management of grazing systems*. Wallingford, UK, CABI. pp.3-35.
37. _____.; GASTAL, F. 1997. N uptake and distribution in plant canopies. In: Lemaire, G. ed. *Diagnosis of the nitrogen status in crops*. Berlin, Springer-Verlag. pp. 3-43.

38. _____.; AGNUSDEI, M.G. 1999. Leaf tissue turn-over and efficiency of herbage utilization. In: Grassland Ecophysiology and Ecology (1999, Curitiba). Trabajos presentados. Curitiba, CABI, pp. 165-185.
39. MARASCHIN, G.E. 1998. Manejo de pastagens nativas, produtividade animal e dinâmica de vegetação em pastagens nativas de Rio Grande do Sul. In. Reuniao do Grupo Técnico em Forrageiras do Cone Sul, zona Campos (17°. , 1998, Lages). Trabalhos apresentados. Lages, Nueremberg, s.e. pp. 47-54.
40. MATTHEW, C.; ASSUERO, S.G.; BLACK, C.K.; SACKEVILLE, N.R. 1999. Tiller dynamics of grazed swards. In: Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology (1999, Curitiba). Proceedings. Curitiba, CABI, pp. 109 – 133.
41. MAZZANTI, A. 1990. Effet de l´azote sur la croissance de l´herbe d´une prairie de féтуque élevée et son utilisation par des moutons en paturage continu. These Dr. Sc.Ciudad, France. Université de Paris. Centre d´Orsay. 109 p.
42. _____.; LEMAIRE, G. 1994a. The effect of nitrogen fertilization upon the herbage production of toll fescue swards continuously grazed by sheep. 1. Herbage growth dynamics. Grass and Forage Science (Oxford). 49 (3): 111-120.
43. _____.; _____. 1994b. Effect of nitrogen fertilization on herbage production of toll fescue swards continuously grazed by sheep. 2. Consumption and efficiency of herbage utilization. Grass and Forage Science (Oxford). 9 (3): 353-359.
44. METHOL, M.; FREIRE, A. 1990. Evaluación primaria de *Bromus Auleticus*. In: Seminario Nacional de Campo Natural (2°. , 1990, Montevideo). Trabajos presentados. Montevideo, Hemisferio Sur. pp. 77-82.
45. MORAES, A.; MARASCHIN, G. E.; NABINGER, C. 1995. Pastagens nos ecossistemas de clima subtropical : pesquisas para o desenvolvimento sustentável. In: Simpósio sobre Pastagens nos Ecossistemas Brasileiros; Pesquisas para o Desenvolvimento Sustentável (1995, Brasília, DF). Trabalhos apresentados. s.l., Sociedade Brasileira de Zootecnia. pp. 147-200.

46. MYERS, H. 1971. Response surface methodology. s.l., Allyn and Bacon. 231 p.
47. OLIVEIRA, J.C.; MORAES, C.O. 1998. Efeito de níveis de nitrogênio sobre a produção e qualidade da matéria seca de *Bromus auleticus trinius*. In. Reuniao do Grupo Técnico em Forrageiras do Cone Sul, zona Campos, (17°. 1998, Lages). Trabalhos apresentados. Lages, Nueremberg, s.e. p. 94.
48. PARSONS, A.J.; LEAFE, E.L.; COLLET, B.; STILES, W. 1983. The physiology of grass production under grazing. I. Characteristics of leaf and canopy photosynthesis of continuously-grazed sward. Journal of Applied Ecology. 20:127-139.
49. RIBOLDI, J.; DO NASCIMENTO, C. 1994. Metodología de superficie de desposta; uma abordagem introdutoria. Porto Alegre, UFRGS. Instituto de Matemática. 84 p. (Cadernos de Matemática e Estadística).
50. ROBSON, C.J.; CHURCHILL, B.M.; ANDERSON, W. 1969. The results of radical nephrectomy for renal cell carcinoma. Journal of Urology 101(3):297-301.
51. RODRIGUEZ, R. 1998. Fertilización nitrogenada de un pastizal de la pampa deprimida: crecimiento y utilización del forraje bajo pastoreo de vacunos. In. Curso de Postgrado en Producción Animal (11°. 1998, Balcarce). Textos. Balcarce, Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ciencias Agrarias/INTA. Estación Experimental Agropecuaria de Balcarce. 135 p.
52. ROSENGURT, B. 1946. Estudios sobre praderas naturales del Uruguay. 5ª . contribución. Montevideo, Rosgal. pp. 215-346.
53. _____. 1979. Tabla de comportamiento de las especies de plantas de campos naturales en el Uruguay. Montevideo, Universidad de la República. División Publicaciones y Ediciones. 86 p.
54. RUSSELL, J. B. 1992. Glucose toxicity and the inability of *Bacteroides ruminicola* to regulate glucose transport and utilization. Applied and Environmental Microbiology. 58: 2040-2045.

55. SAS INSTITUTE. 1996. SAS/STAT ®; release 6.11. Cary, NC, USA. s.p.
56. SKINNER, H. R.; NELSON, J. C. 1994. Epidermal cell division and the coordination of leaf and tiller development. *Annals of Botany*. 74: 9-15.
57. SOARES, G.C.; DALL`AGNOL, M.; NABINGER, C.; COSTA, J.C.; TONELOTTO, L.A. 1998. Estudo da morfogênese em uma população de *Bromus auleticus trin.* In. Reuniao do Grupo Técnico em Forrageiras do Cone Sul, zona Campos (17°. , 1998, Lages).Trabalhos apresentados. Lages, Nueremberg, s.e. p. 101.
58. TALLOWIN, J.R.B.; WILLIAMS, J.H.H.; KIRKHAM, F.W. 1989. Some consequences of imposing different continuous-grazing pressures in the spring on tiller demography end leaf growth. *Journal of Agricultural Science (Cambridge)*. 112: 115-122.
59. TERMEZANA, A.; CARAMBULA, M. 1971. Proyecto basalto. Estudio de forrajeras. Montevideo, Facultad de Agronomía/Comisión Honoraria del Plan Agropecuario. s.p.
60. UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA (URUGUAY). FACULTAD DE AGRONOMÍA. ESTACION EXPERIMENTAL DR. MARIO A. CASSINONI. 2002. Temperatura y precipitaciones promedio (1990-2000) y para el año en estudio (2002) para Paysandú. (en línea). Paysandu. Consultado 20 dic. 2002. Disponible en <http://www.eemac.edu.uy/index.php/servicios/index.php/servicios/estacion-meteorologica>
61. URUGUAY. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA. DIRECCIÓN DE SUELOS Y FERTILIZANTES. 1976. Carta de reconocimiento de suelos del Uruguay a escala 1/1.000.000. Montevideo. s.p.
62. WILMAN, D.; WRIGHT, P.T. 1983. Some effects of applied nitrogen on the growth and chemical composition of temperate grasses. *Herbage Abstracts*. 53(8):387-393.
63. WHITEHEAD, D.C. 1995. Grassland nitrogen. Wallington, CABI. 397 p.

9. ANEXOS

Anexo 1. Datos de Clima obtenidos a través de la Estación Meteorológica Automática de la EEMAC para el periodo enero – diciembre 2002.

Fecha	Lluvia (mm)	T. Suelo (°C)			R_Global (KW/m ²)		Temperatura (°C)			Hum_Rel (%)		
		Min	Prom	Max	Prom	Max	Min	Prom	Max	Min	Prom	Max
ENERO	181	22.52	27.14	33.57	0.25	0.92	10.58	23.97	35.80	28.84	70.78	100
FEBRERO	67	20.35	25.39	30.29	0.22	0.88	11.60	22.29	36.66	35.52	74.12	103
MARZO	310	20.76	25.00	30.37	0.14	0.82	10.15	22.98	35.95	35.58	84.79	100
ABRIL	340	13.93	19.69	24.71	0.12	0.69	5.21	16.85	29.26	38.27	85.89	100
MAYO	94	13.94	17.59	21.75	0.10	0.57	6.31	16.51	30.45	45.57	86.13	100
JUNIO	23	7.13	12.74	20.63	0.09	0.47	-2.56	10.79	27.51	41.28	82.06	100
JULIO	83	8.65	11.83	15.46	0.08	0.51	0.68	11.02	21.46	38.40	84.12	100
AGOSTO	55	8.48	13.99	20.81	0.11	0.62	-0.17	13.91	32.89	33.60	78.14	100
SEPTIEMBRE	151	10.68	15.74	20.89	0.15	0.72	-0.43	14.73	28.69	39.42	76.35	100
OCTUBRE	111	17.06	20.84	25.09	0.17	0.82	6.83	19.44	31.67	36.74	82.89	100
NOVIEMBRE	267	18.15	22.69	26.87	0.22	0.87	5.05	20.95	34.28	33.41	76.58	100
DICIEMBRE	109	20.93	23.54	27.24	0.22	0.94	9.93	21.78	34.39	26.70	77.90	100

Anexo 2. Propiedades químicas del suelo donde se realizaron las mediciones

Suelo: BRUNOSOL EUTRICO TIPICO

Unidad: SAN MANUEL

	Prof.	% Ar.	% Li.	%Ac.	% MO
A	10	35.1	29.7	35.2	7.0
AB	25	32.4	29.6	38	5.0
Bt	46	30.5	22.4	47.1	4.1

Fuente: URUGUAY. MGAP. DSF (1976)

Anexo 3. Producción estacional (Kg. MS/ha/día) de forraje de campo natural para suelos de F. Bentos.

	Verano	Otoño	Invierno	Primavera
F. Bentos	14.6 +/- 9.4	21.7 +/- 10.6	6.9 +/- 5.2	15.1 +/- 11.9

Fuente: adaptado de Carámbula (1996).

Anexo 4. Valores de las variables demográficas estudiadas para las tres estaciones y distintos tratamientos. Datos obtenidos a campo mediante la utilización de cuadrados fijos (0.5 x 0.5 cm.) ubicados en las distintas parcela.

	B	OF	N	OTOÑO			INVIERNO			PRIMAVERA		
				Macollas	Plantas	mac/pl.	Macollas	Plantas	Mac/pl.	Macollas	Plantas	Mac/pl.
Parc 1	-1	5.5	256	217	22	9.86	349	23	15.17	53	7	7.57
Parc 2	-1	9	150	318	23	13.83	490	24	20.42	79	10	7.90
Parc 3	1	9	300	599	42	14.26	887	39	22.74	195	21	9.29
Parc 5	-1	9	150	456	39	11.69	665	44	15.11	151	21	7.19
Parc 7	-1	12.5	44	739	59	12.53	929	62	14.98	427	47	9.09
Parc 8	1	4	150	636	58	10.97	691	60	11.52	433	49	8.84
Parc 9	1	9	150	901	70	12.87	1110	74	15.00	390	38	10.26
Parc 10	1	14	150	804	59	13.63	785	60	13.08	386	42	9.19
Parc 11	-1	9	150	420	49	8.57	425	43	9.88	179	23	7.78
Parc 12	1	9	150	965	59	16.36	1120	62	18.06	416	25	16.64
Parc 13	1	9	150	777	73	10.64	924	71	13.01	355	40	8.88
Parc 14	1	9	0	717	61	11.75	884	65	13.60	473	41	11.54
Parc 15	-1	12.5	256	503	41	12.27	996	49	20.33	72	14	5.14
Parc 16	-1	5.5	44	313	33	9.48	436	34	12.82	191	18	10.61

Anexo 5.

Intervalos de aparición de hojas expresados en grados/día (Filocron), para las distintas estaciones y tratamientos.

PARC.	B	N	OF	JUNIO		JULIO		OCTUBRE	
				Filocron	B	Filocron	b	Filocron	b
1	-1	256	5.5	252	0.00396438	232	0.00430559	325	0.00307964
2	-1	150	9	315	0.003172691	278	0.00359929	323	0.00310071
3	1	300	9	321	0.003119141	284	0.0035158	306	0.00326663
5	-1	150	9	280	0.003565478	231	0.00433796	373	0.00267803
7	-1	44	12.5	840	0.001190255	336	0.00297649	304	0.00328527
8	1	150	4	330	0.003031667	287	0.00348118	248	0.00403782
9	1	150	9	495	0.002019165	303	0.0033052	267	0.00375132
10	1	150	14	312	0.003209421	249	0.00401903	231	0.00431993
11	-1	150	9	260	0.003843586	256	0.00390924	265	0.00377124
12	1	150	9	279	0.003578049	233	0.00429661	311	0.00321133
13	1	150	9	345	0.002894592	265	0.00377607	239	0.00418537
14	1	0	9	872	0.001147115	303	0.0033052	435	0.00230013
15	-1	256	12.5	303	0.003304178	251	0.00398441	434	0.00230559
16	-1	44	5.5	390	0.002564734	277	0.00360682	372	0.00268915

Filocron calculados a partir de macollas que emitieron al menos una hoja.

PARC.	B	N	OF	JUNIO		JULIO		OCTUBRE	
				Filocron	Macollos que emitieron hojas	Filocron	Macollos que emitieron hojas	Filocron	Macollos que emitieron hojas
1	-1	256	5.5	202	80%	197	85%	250	70%
2	-1	150	9	221	70%	222	80%	305	95%
3	1	300	9	224	70%	242	85%	298	80%
5	-1	150	9	196	70%	207	90%	270	70%
7	-1	44	12.5	168	20%	269	80%	294	90%
8	1	150	4	181	55%	259	90%	233	85%
9	1	150	9	173	35%	257	85%	250	80%
10	1	150	14	171	55%	249	100%	214	75%
11	-1	150	9	156	60%	230	90%	281	80%
12	1	150	9	154	55%	233	100%	279	90%
13	1	150	9	155	45%	252	95%	244	80%
14	1	0	9	174	20%	257	85%	339	85%
15	-1	256	12.5	166	55%	226	90%	335	70%
16	-1	44	5.5	175	45%	250	90%	291	70%

