

**UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA  
SOBRE EL CRECIMIENTO Y LA UTILIZACIÓN DE  
ESPECIES DE UN CAMPO NATURAL BAJO  
PASTOREO DE VACUNOS EN EL PERÍODO OTOÑAL**

**por**

**Daniela CARESANI SCHETTINI  
Maria Amelia JUANICOTENA MELA**

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

**MONTEVIDEO  
URUGUAY  
2008**

Tesis aprobada por:

Director: -----  
Ing. Agr. M.Sc. Ricardo Rodríguez Palma

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

-----  
Ing. Agr. Sylvia Saldanha

Fecha: -----

Autor: -----  
Daniela Caresani Schettini

-----  
María Amelia Juanicotena Mela

## AGRADECIMIENTOS

A todas aquellas personas que de alguna forma estuvieron involucradas en este trabajo, queremos agradecerles; pero muy especialmente a:

Nuestras familias y amigos que nos han apoyado incondicionalmente a lo largo de nuestra carrera y especialmente en esta etapa final, sin ellos no hubiera sido posible recorrer este largo camino.

A Ricardo, nuestro director de tesis y a su familia, por permitirnos realizar éste trabajo y brindarnos todo su apoyo y hospitalidad.

A la EEFAS por la posibilidad de realizar este trabajo en la estación y brindarnos el alojamiento para poder llevarlo a cabo.

A todo el personal de la estación, especialmente a Teresa Rodríguez, quienes tuvieron la mejor disponibilidad para con nosotras.

## TABLA DE CONTENIDO

	Página
PAGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	IX
1. <u>INTRODUCCIÓN</u> .....	1
2. <u>REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA</u> .....	3
2.1. <u>INTRODUCCIÓN</u> .....	3
2.2. <u>ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO DE PLANTAS FORRAJERAS</u>	7
2.2.1. <u>Características morfogénicas de las plantas</u> .....	8
2.2.2. <u>Características estructurales de las pasturas</u> .....	12
2.2.3. <u>Plasticidad morfogénica</u> .....	13
2.3. <u>FACTORES QUE DETERMINAN EL CRECIMIENTO DEL FORRAJE</u> .....	13
2.3.1. <u>Efecto de la cantidad y de la calidad de la luz</u> .....	13
2.3.2. <u>Efecto de la temperatura</u> .....	15
2.3.3. <u>Efecto del agua</u> .....	17
2.3.4. <u>Efecto del nitrógeno</u> .....	21
2.3.4.1. <u>Fluctuaciones estacionales del nitrógeno.....</u> y respuesta a la fertilización .....	22
2.3.4.2. <u>Efecto sobre la tasa de elongación foliar.....</u>	25
2.3.4.3. <u>Efecto del nitrógeno sobre la tasa de</u> aparición de hojas.....	26
2.3.4.4. <u>Efecto del nitrógeno en la vida media foliar...</u>	26
2.3.4.5. <u>Efecto sobre las características estructurales</u> de la pasturas.....	27
2.3.4.6. <u>Efecto sobre la composición botánica del</u> tapiz.....	29
2.3.4.7. <u>Efecto residual del nitrógeno</u> .....	29
2.4. <u>FLUJOS DE TEJIDO FOLIAR BAJO CONDICIONES DE PASTOREO</u> .....	30
2.4.1. <u>Efecto de las características estructurales de la</u> <u>cubierta sobre los flujos de materia orgánica aérea...</u>	31
2.4.2. <u>Efecto de la fertilización nitrogenada sobre los flujos</u> <u>de materia orgánica aérea</u> .....	32
2.4.3. <u>Efecto de la fertilización nitrogenada sobre la</u> <u>eficiencia de utilización del crecimiento del forraje</u> .....	33
2.4.3. <u>Efecto de la fertilización nitrogenada sobre la</u> <u>eficiencia de utilización del crecimiento del forraje</u> .....	34
2.5. <u>HIPÓTESIS</u> .....	34

3. <u>MATERIALES Y MÉTODOS</u> .....	35
3.1. <u>CONDICIONES EXPERIMENTALES GENERALES</u> .....	35
3.1.1. <u>Ubicación</u> .....	35
3.1.2. <u>Suelos</u> .....	35
3.1.3. <u>Material vegetal</u> .....	35
3.1.4. <u>Información meteorológica</u> .....	36
3.2. <u>TRATAMIENTOS Y PERÍODO EXPERIMENTAL</u> .....	37
3.2.1. <u>Marcación de los individuos</u> .....	38
3.3. <u>DETERMINACIÓN EN PASTURAS</u> .....	38
3.3.1. <u>Forraje disponible</u> .....	38
3.3.2. <u>Crecimiento</u> .....	38
3.3.3. <u>Altura de la cubierta</u> .....	38
3.3.4. <u>Mediciones detalladas en el campo</u> .....	38
3.3.5. <u>Muestras destructivos</u> .....	39
3.3.5.1. <u>Densidad y peso de individuos</u> .....	39
3.3.5.2. <u>Tipo de individuo, peso específico y ancho foliar</u> .....	40
3.4. <u>MEDICIONES EN ANIMALES Y CONDUCCIÓN DEL PASTOREO</u> .....	40
3.4.1. <u>Animales</u> .....	40
3.4.2. <u>Determinaciones en animales</u> .....	40
3.5. <u>ESTIMACIÓN DE FLUJOS DE TEJIDO FOLIAR</u> .....	41
3.5.1. <u>Tasa de elongación foliar</u> .....	41
3.5.2. <u>Tasa de senescencia foliar</u> .....	41
3.5.3. <u>Elongación neta foliar</u> .....	41
3.5.4. <u>Consumo foliar</u> .....	42
3.5.5. <u>Estimación del flujo de tejido por individuo y por unidad de superficie</u> .....	42
3.6. <u>PATRONES DE DEFOLIACIÓN</u> .....	42
3.6.1. <u>Frecuencia</u> .....	42
3.6.2. <u>Intensidad</u> .....	42
3.7. <u>EFICIENCIA DE LA UTILIZACIÓN DE FORRAJE</u> .....	43
3.8. <u>ESTIMACIÓN DE LAS VARIABLES MORFOGENÉTICAS</u> .....	44
3.9. <u>ANÁLISIS ESTADÍSTICO</u> .....	44
4. <u>RESULTADOS</u> .....	46
4.1. <u>CONDICIONES EXPERIMENTALES GENERALES</u> .....	46
4.1.1. <u>Condiciones meteorológicas</u> .....	46
4.1.2. <u>Tasas de crecimiento</u> .....	49
4.1.3. <u>Forraje disponible</u> .....	49
4.1.4. <u>Altura del tapiz</u> .....	50
4.2. <u>EFFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN LAS</u>	

TASAS FOLIARES.....	51
4.2.1. <u>Tasa de elongación foliar</u> .....	52
4.2.1.1. Relación entre la tasa de elongación foliar y la suma térmica.....	52
4.2.2. <u>Tasa de senescencia foliar</u> .....	53
4.2.2.1. Relación entre la tasa de senescencia foliar y la suma térmica.....	54
4.2.3. <u>Tasa de elongación neta foliar</u> .....	54
4.2.3.1. Relación entre la tasa de elongación neta foliar y la suma térmica.....	55
4.2.4. <u>Consumo foliar</u> .....	55
4.3. EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN LAS TASAS POR INDIVIDUO.....	56
4.3.1. <u>Crecimiento bruto individual</u> .....	57
4.3.2. <u>Senescencia individual</u> .....	58
4.3.3. <u>Crecimiento neto individual</u> .....	58
4.3.4. <u>Consumo a nivel de individuo</u> .....	58
4.4. EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN LOS FLUJOS DE TEJIDOS POR UNIDAD DE SUPERFICIE.....	59
4.4.1. <u>Crecimiento bruto diario por superficie</u> .....	60
4.4.2. <u>Senescencia diario por superficie</u> .....	61
4.4.3. <u>Crecimiento neto diario por superficie</u> .....	61
4.4.4. <u>Consumo diario por superficie</u> .....	62
4.4.4.1. Relación entre el consumo diario total por superficie y la carga promedio.....	62
4.5. EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA SOBRE LOS PATRONES DE DEFOLIACIÓN POR CATEGORÍA DE EDAD DE LA HOJA.....	63
4.5.1. <u>Porcentaje de defoliación por categoría de edad de la hoja</u> .....	63
4.5.1.1. Relación entre el porcentaje de defoliación por categoría de edad de la hoja y la suma térmica.....	64
4.5.2. <u>Tasa de defoliación por categoría de edad de la hoja</u> .....	64
4.5.3. <u>Consumo por categoría de edad la hoja en el total consumido</u> .....	65
4.6. EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA SOBRE LOS PATRONES DE DEFOLIACIÓN POR INDIVIDUO.....	66
4.6.1. <u>Porcentaje promedio de defoliación por individuo</u> ....	66
4.6.2. <u>Tasa de defoliación promedio por individuo</u> .....	67
4.6.3. <u>Intervalo de defoliación promedio por individuo</u> .....	68
4.7. EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA SOBRE LAS VARIABLES MORFOGENÉTICAS Y CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES DE LAS ESPECIES.....	69
4.7.1. <u>Intervalo de aparición de hojas</u> .....	70

4.7.2. <u>Tasa de aparición foliar</u> .....	71
4.7.3. <u>Vida media foliar</u> .....	71
4.7.4. <u>Longitud de hoja promedio</u> .....	72
4.7.5. <u>Longitud foliar total</u> .....	73
4.7.5.1. Relación entre la longitud foliar total y la suma térmica.....	73
4.7.6. <u>Población de macollos</u> .....	74
4.7.7. <u>Porcentaje de individuos según tamaño</u> .....	74
4.7.8. <u>Peso promedio del macollo por tipo de individuo</u> .....	75
4.7.9. <u>Peso gravimétrico de la hoja</u> .....	75
4.7.10. <u>Ancho foliar</u> .....	76
4.7.11. <u>Número de hojas verdes por macollo</u> .....	76
4.8. EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN LA EFICIENCIA DE USO DEL FORRAJE.....	77
4.9. EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN LA PRODUCCIÓN ANIMAL.....	78
5. <u>DISCUSIÓN</u> .....	80
5.1. CONSIDERACIONES SOBRE EL CONTROL DEL ESTADO DE LA PASTURA.....	80
5.2. CRECIMIENTO BRUTO.....	82
5.3. SENESCENCIA.....	85
5.4. CRECIMIENTO NETO.....	87
5.5. CONSUMO.....	89
5.5.1. <u>Consumo por individuo por superficie</u> .....	89
5.5.2. <u>Consumo por categoría de edad de la hoja en el                 total consumido</u> .....	89
5.6. PATRONES DE DEFOLIACIÓN.....	90
5.6.1. <u>Intervalo de defoliación del individuo</u> .....	90
5.6.2. <u>Porcentaje de hoja por individuo</u> .....	91
5.6.3. <u>Patrones de defoliación por categoría de edad de                 las hojas</u> .....	91
5.7. RELACIÓN ENTRE EL INTERVALO DE DEFOLIACIÓN Y EL CONSUMO DE FORRAJE.....	92
5.8. EFICIENCIA DE UTILIZACIÓN DEL FORRAJE.....	94
5.9. VARIABLES MORFOGENÉTICAS.....	94
5.10. CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES.....	95
5.10.1. <u>Longitud de hoja promedio y longitud foliar total</u> .....	95
5.10.2. <u>Número de hojas vivas por macollo</u> .....	97
5.10.3. <u>Peso del macollo y porcentaje de macollos según                 tamaño</u> .....	97
5.10.4. <u>Ancho foliar</u> .....	98
5.10.5. <u>Densidad de macollos</u> .....	98

5.11. PRODUCCIÓN ANIMAL.....	98
5.12. CONSIDERACIONES FINALES .....	99
6. <u>CONCLUSIONES</u> .....	102
7. <u>RESUMEN</u> .....	103
8. <u>SUMMARY</u> .....	105
9. <u>BIBLIOGRAFÍA</u> .....	107
10. <u>ANEXOS</u> .....	125

## LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

Cuadro No.	Página
1. Producción de forraje anual (kg MS/ha) y estacional (kg MS/ha/estación) de campo natural en suelos de Basalto de la Unidad Itapebí- Tres Árboles. ....	4
2. Datos meteorológicos del sitio experimental en los meses de enero a abril de 2004 e información climática para Salto. ....	36
3. Tasa de crecimiento de forraje (kg MS/ha/día) en el período estival y otoñal y en el promedio de ambos períodos ....	49
4. Disponibilidad de forraje (kg MS/ha) al inicio y fin del ensayo ....	50
5. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre la altura del tapiz (cm) para 12 fechas durante el período de medición.....	50
6. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre la altura del tapiz promedio (cm) durante el período de mediciones (11/02/04 al 28/04/04). ....	51
7. Niveles de significancia de los análisis de varianza para la tasa de elongación foliar, tasa de senescencia foliar, tasa de elongación neta foliar y consumo foliar en función de los factores considerados.....	51
8. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre la tasa de elongación foliar (cm/macollo/día). ....	52
9. Efecto de la fertilización nitrogenada y la especie en la relación entre la tasa de elongación foliar y la suma térmica.....	53
10. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre la tasa de senescencia foliar (cm/macollo/día). ....	53
11. Efecto de la fertilización nitrogenada y la especie en la relación entre la tasa de senescencia foliar y la suma térmica. ....	54
12. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre la tasa de elongación neta foliar (cm/macollo/día).....	54
13. Efecto de la fertilización nitrogenada y la especie en la relación entre la tasa de elongación neta foliar y la suma térmica.....	55
14. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el consumo foliar (cm/macollo/día). ....	56
15. Significancia de los análisis de varianza para el crecimiento bruto, senescencia, crecimiento neto y consumo individual en función de los factores considerados. ....	56
16. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el crecimiento bruto individual (mg MS/macollo/día).....	57
17. Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre la	

senescencia individual (mg MS/macollo/día).....	58
<b>18.</b> Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el crecimiento neto individual (mg MS/macollo/día).....	58
<b>19.</b> Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el consumo a nivel de individuo (mg MS/macollo/día).....	59
<b>20.</b> Significancia de los análisis de varianza para crecimiento bruto, senescencia, crecimiento neto y consumo por superficie en función de los factores considerados (Kg MS/ha/día).....	59
<b>21.</b> Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el crecimiento bruto por superficie (Kg MS/ha/día).....	60
<b>22.</b> Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre la senescencia por superficie (Kg MS/ha/día).....	61
<b>23.</b> Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el crecimiento neto por superficie (Kg MS/ha/día).....	61
<b>24.</b> Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el consumo por superficie (Kg MS /ha/día).....	62
<b>25.</b> Relación entre el consumo diario por superficie y la carga promedio para cada especie evaluada y la sumatoria entre ambas.....	62
<b>26.</b> Significancia de los análisis de varianza para porcentaje de defoliación por categoría de hoja en función de los factores considerados.....	63
<b>27.</b> Porcentaje de defoliación por categoría de edad de la hoja para cada especie en cada nivel de fertilización nitrogenada.....	63
<b>28.</b> Significancia de los análisis de varianza para tasa de defoliación por categoría de hoja en función de los factores considerados.....	64
<b>29.</b> Efecto de la especie sobre la tasa de defoliación por categoría de edad de la hoja (hojas/día) en cada nivel de fertilización nitrogenada.....	64
<b>30.</b> Significancia de los análisis de varianza para tasa de consumo por categoría de edad de la hoja (en porcentaje del total consumido) en función de los factores considerados.....	65
<b>31.</b> Efecto de la especie sobre el consumo por categoría de edad de la hoja (en porcentaje del total consumido) en cada nivel de fertilización nitrogenada.....	65
<b>32.</b> Significancia de los análisis de varianza para severidad (porcentaje promedio de defoliación), tasa de defoliación promedio e intervalo de defoliación promedio.....	66
<b>33.</b> Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el porcentaje de hoja promedio defoliada por individuo.....	67
<b>34.</b> Relación entre el porcentaje promedio de defoliación por individuo y la carga animal promedio para cada especie	

evaluada e independientemente de la especie. ....	67
<b>35.</b> Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre la tasa promedio de defoliación por individuo (hojas/día).....	68
<b>36.</b> Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el intervalo promedio de defoliación por individuo (días). ....	68
<b>37.</b> Relación entre el intervalo de defoliación y la carga animal a nivel de cada especie evaluada y para el promedio de ellas. ....	69
<b>38.</b> Significancia de los análisis de varianza para las variables morfogénicas y características estructurales en función de los factores considerados. ....	70
<b>39.</b> Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el intervalo de aparición de hojas (días). ....	71
<b>40.</b> Efecto de la fertilización nitrogenada y la especie sobre la tasa de aparición foliar (hojas/días). ....	71
<b>41.</b> Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre la vida media foliar (días). ....	72
<b>42.</b> Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre la longitud de hoja promedio (cm/hoja). ....	72
<b>43.</b> Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre la longitud foliar total del macollo (cm/individuo).....	73
<b>44.</b> Efecto de la fertilización nitrogenada en la relación entre la longitud foliar total y la suma térmica. ....	73
<b>45.</b> Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre la población de macollos (número de macollos/m <sup>2</sup> ).....	74
<b>46.</b> Efecto de la aplicación de nitrógeno sobre el porcentaje por tipo de individuo. ....	74
<b>47.</b> Efecto de la aplicación de nitrógeno sobre el peso promedio del macollo (gramos) según su tamaño. ....	75
<b>48.</b> Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el peso gravimétrico (mg/cm) en hojas elongando y maduras.....	75
<b>49.</b> Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el ancho foliar (cm). ....	76
<b>50.</b> Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el número de hojas verdes por macollo. ....	76
<b>51.</b> Significancia de los análisis de varianza para la eficiencia de utilización potencial y actual en función de los factores considerados.....	77
<b>52.</b> Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre la eficiencia de utilización potencial y actual (%). ....	77
<b>53.</b> Efecto de la aplicación de nitrógeno sobre las variables de producción animal. ....	79

Figura No.

1. Relación entre las variables morfogénicas y las características estructurales de la pastura.....	9
---	---

Gráfico No.

1. Registro mensual de precipitaciones para el período en estudio y el registro promedio de 30 años.....	46
2. Comparación de déficit y excesos a partir del balance hídrico climático y balance hídrico seriado, y el almacenaje para este último en un Brunosol eútrico.....	47
3. Comparación de déficit y excesos a partir del balance hídrico climático y balance hídrico seriado, y el almacenaje para este último en un Litosol.....	48
4. Evolución del peso vivo en el período del experimento .....	78
5. Comportamiento decádico mensual del exceso, déficit y almacenaje para un suelo Litosol para el período 20 de febrero a 30 de abril de 2004. ....	82
6. Comportamiento decádico mensual del exceso, déficit y almacenaje para un suelo Brunosol eútrico para el período 20 de febrero a 30 de abril de 2004. ....	82
7. Tasa de elongación foliar (TEF) de las especies en función de la suma térmica para ambos niveles de fertilización nitrogenada.....	85
8. Tasa de senescencia foliar (TSF) de las especies en función de la suma térmica para ambos niveles de fertilización nitrogenada.....	87
9. Efecto de la fertilización nitrogenada en la relación entre la tasa de elongación neta foliar (TENF) y la suma térmica en las dos especies. ....	88
10. Relación Consumo – ITD para Stipa.....	93
11. Relación Consumo – ITD para Bromus. ....	93
12. Efecto de la fertilización nitrogenada en la relación entre la longitud foliar total (LFT) y la suma térmica. ....	96

## 1. INTRODUCCIÓN

La importancia del campo natural en nuestro país se debe a que históricamente ha sido la principal base forrajera sobre la cual se ha desarrollado la ganadería, el cual es nuestro principal rubro pecuario y fuente de divisas. Esto ha llevado a que se desarrollen múltiples trabajos de investigación sobre éste recurso.

En el año 2007 el campo natural representó el principal recurso forrajero de las empresas ganaderas del país (URUGUAY. MGAP. DIEA, 2007), particularmente en la región de Basalto. En esta región se encuentra un complejo intrincado de suelos, desde superficiales a profundos. En los suelos superficiales la pradera natural concentra más del 50 % de la producción de forraje entre la primavera y el verano. En los suelos profundos la pastura es de mayor producción anual de forraje, pero entre primavera y verano se produce el 63 % del total anual (Berretta 1998b, Berreta y Bemhaja 1998c). Ello determina una mayor aptitud estival que invernal, hay una mayor presencia (55%) de gramíneas C4 (Milot et al., 1987). Por consiguiente, las especies invernales, menos frecuentes, resultan de gran valor para sobrellevar la crisis invernal (Carámbula, 1997).

La fertilización del campo natural ha sido estudiada en el país por diversos autores (Bottaro y Zavala 1973, Castells 1974, Risso y Scavino 1978, Mas et al. 1991, Bemhaja et al. 1998, Berreta et al. 1998a, Risso et al. 1998, Boggiano et al. 2004, 2005, Rodríguez Palma et al. 2004a, 2006, 2007a). Las estaciones en las que la fertilización puede tener una mayor influencia desde el punto de vista del manejo ganadero son el otoño y el invierno. Berretta et al. (1998a) indican que la aplicación de fertilización fosfatada y nitrogenada en comienzos de otoño y en invierno estimula el crecimiento de las especies invernales y alarga el crecimiento de las estivales, lo que tendería a reducir el período de escaso crecimiento invernal.

La aplicación de nitrógeno no solo mejora la producción anual de forraje, sino que también la calidad del mismo (Ayala y Carámbula 1994, Heady y Child 1994, Bemhaja et al. 1998, Berretta et al. 1998a).

El incremento en la producción anual de forraje y de su calidad permitiría incrementar la carga animal, lo que resulta en incrementos en la

producción de peso vivo por hectárea (Risso et al. 1998, Rodríguez Palma et al. 2006).

Los objetivos del presente trabajo fueron:

- Estimar la respuesta a la fertilización nitrogenada en el período otoño-invernal en términos de crecimiento de forraje y producción animal individual y por unidad de superficie, al otoño siguiente de la fertilización, en una pastura natural desarrollada sobre suelos medios y profundos de Basalto.
- Determinar, en respuesta a la fertilización nitrogenada, la dinámica de acumulación de forraje a partir de los flujos de tejido foliar: crecimiento, senescencia, consumo animal, su balance y la eficiencia de utilización del forraje producido.
- Cuantificar las variables morfogénicas y estructurales de *Bromus auleticus* y *Stipa setigera*, gramíneas de importancia en nuestros tapices naturales en respuesta a la fertilización nitrogenada.

El enfoque metodológico se basa en el análisis del efecto del nitrógeno sobre la morfogénesis de hojas y el estudio de la cinética de la elongación foliar (Rodríguez Palma, 1998) en dos especies invernales componentes del tapiz, analizando la dinámica de acumulación de forraje a partir de los flujos de tejido foliar (crecimiento, senescencia, consumo animal). Adicionalmente se analizará la eficiencia de utilización del forraje producido y el efecto de la fertilización nitrogenada en la productividad animal.

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. INTRODUCCIÓN

La vegetación dominante del país es la pradera, con predominio de gramíneas. Sus características varían notablemente de una región a otra, lo que provoca una gran diversidad de calidades de campo (Duran, 1991).

La región Basáltica comprende el área Norte y Oeste del Uruguay, se extiende desde el Río Cuareim al Río Negro, es la más extensa del país, ocupando un 21 % del territorio nacional, lo que equivale a una superficie de aproximadamente 4 millones de ha (URUGUAY. MAP, 1979).

El área de sustrato basáltico se caracteriza por la asociación, a veces intrincada, de suelos superficiales y profundos, generalmente con texturas finas y buen nivel de fertilidad (Duran, 1991).

Dentro del área de Basalto los suelos se clasifican en tres categorías: suelos superficiales y muy superficiales, suelos medios y suelos profundos. Dentro de los suelos superficiales, se distinguen los superficiales rojos, de pH 5,3-5,6, niveles de materia orgánica de 5-6 %, una profundidad entre 3-20 cm y una fertilidad de media a alta. Los suelos superficiales negros presentan niveles de pH entre 5,0-6,0, niveles de materia orgánica de 7-8 %, 5-20 cm de profundidad y fertilidad alta. Los suelos profundos, son suelos de fertilidad alta, con una profundidad que varía entre 70 y 120 cm, un pH entre 5,8-6,2 y de 8 a 13 de materia orgánica (CIAAB, citado por Millot et al., 1987).

En el cuadro No. 1 se presenta la producción de forraje anual y su distribución estacional para campo natural sobre estos tipos de suelos.

**Cuadro No. 1.** Producción de forraje anual (kg MS/ha) y estacional (kg MS/ha/estación) de campo natural en suelos de Basalto de la Unidad Itapebí- Tres Árboles

Tipo de Suelo	Otoño		Invierno		Primavera		Verano		Total Anual
	kg MS/ha	%	kg MS/ha	%	kg MS/ha	%	kg MS/ha	%	
Superficial Rojo	839	28	413	14	1216	41	517	17	2985
Superficial Negro	1194	32	548	15	1464	39	520	14	3727
Profundo	1172	25	585	12	2060	44	914	19	4730

(Fuente: Berretta, 1998b)

Los suelos superficiales corresponden a los denominados Litosoles, donde la pradera natural es predominantemente invernal, formando un tapiz bajo y abierto de gramíneas de bajo rendimiento y malezas enanas de alto porte (Alvarez et al., citados por Duran, 1991). En estos suelos entre 53 y 58 % de la producción se concentra entre la primavera y el verano (Berretta 1998b, Berretta y Bemhaja 1998c).

Los litosoles pardo rojizos presentan mayores porcentajes de suelo desnudo y malezas, su producción de forraje es sensiblemente menor que la de los litosoles negros.

Las pasturas de los suelos profundos son las de mayor producción anual de forraje, componiéndose en un 80 % por especies estivales (Berretta 1998, Berretta y Bemhaja 1998). La calidad de las pasturas es muy superior a la de suelos superficiales (Alvarez et al., citados por Duran, 1991).

En los suelos profundos el tapiz es cerrado, con características de gramillar en el que abundan especies rizomatosas y estoloníferas (Álvarez et al., citados por Duran, 1991).

En este capítulo se describe, a partir de la información recabada de diversos autores, las características morfo-fisiológicas de las plantas y en

particular de las dos especies evaluadas, el efecto de algunos factores ambientales que afectan el comportamiento de la pastura tanto al someterla a diferentes presiones de pastoreo como bajo condiciones de corte, analizando en particular el efecto de la fertilización nitrogenada. Para ello se analizará la incidencia directa de las condiciones ambientales en las variables morfogénicas y estas últimas modificando las características que definen la estructura de la pastura y los flujos de tejido foliar.

### Características de las especies evaluadas

El *Bromus auleticus* Trin. es una gramínea nativa, perenne, cespitosa de ciclo invernal, es un pasto fino, apetecido por el ganado y medianamente productivo (Rosengurtt, 1946, 1979). De implantación muy lenta y luego de instalada, comienza a elevar su punto de crecimiento entre comienzo y mediados de agosto, por lo que tolera pastoreos hasta fines de julio sin afectar su producción de semilla. Berretta (1976) indica que su rendimiento no es alto en campo virgen, principalmente debido a su poca aptitud para competir con las malezas, mientras que Carbajal et al. (1987), indican que su productividad es media.

La especie mantiene una buena persistencia (Boggiano 1990a, Olmos 1993), lo cual constituye una característica de mucha importancia. Su producción de semilla es abundante a partir del segundo año.

Posee enraizamiento vigoroso y profundo, tolerancia a altas temperaturas e intensidad de luz, resistencia a la quema y sequía (observación del 42-43) (Rosengurtt 1946, Olmos 1993), tolerancia a una gran amplitud de fertilidad y profundidad de suelos, siempre que éstos sean bien drenados; todo esto lo hace un pasto adaptado a las condiciones ecológicas del país. Requiere de pastoreos controlados, de lo contrario puede desaparecer de los campos constituyendo un síntoma temprano de degradación de las pasturas naturales (Rosengurtt, 1946).

Olmos (1993) reporta que debe dejarse un área foliar remanente no menor a 1000kg de MS/ha luego del pastoreo, para no comprometer su persistencia.

Se observa una gran variedad en cuanto al ancho de la hoja, y a la velloidad que va desde formas casi glabras a formas pilosas (Berretta, 1976).

La *Stipa setigera* Presl. es una gramínea perenne invernal, tierna a fina (Rosengurt, 1979). Habita campos muy variados siendo durante el período frío del año, el pasto más frecuente y la forrajera campestre más importante del país. Dentro de las áreas de ganadería extensiva, la zona de basalto es la que presenta más frecuencia y abundancia de esta especie. Su rendimiento es de medio a alto (Berretta, 1976). Se adapta a pastoreos relativamente intensos y desaparece solo con pastoreos de exagerada intensidad. El cultivo de esta especie está supeditado a la obtención de estirpes de menor agresividad (Carbajal et al., 1987), aunque Rosengurt (1946), plantea que el daño que realizan las flechillas es muy reducido por el castigo que los animales infligen a las plantas. Luego de sembrado demora en nacer unas tres semanas, presentando crecimiento inicial brevemente débil. El reposo estival es medianamente intenso, haciéndose total durante las secas muy prolongadas (Rosengurt, 1946).

Hay una gran variabilidad en cuanto a su velloidad y aspereza, las estirpes glabras y casi lisas pueden considerarse tiernas pero al aumentar la velloidad y aspereza se va haciendo mas ordinario (Berretta, 1976).

Boggiano (1980) clasifica ambas especies como pastos de lento establecimiento y desarrollo inicial poco vigoroso, pero que muestran mayor estabilidad de producción. Este mismo autor obtuvo resultados que indican que ambas son especies persistentes y que mantienen la densidad de plantas en la línea. En *Bromus* se vio concretamente que, al compararlo con otras gramíneas invernales, era la especie de mayor producción de forraje y la más estable en producción anual; por su parte la *Stipa* fue la especie con mejor resiembra si se le permite semillar, teniendo además buena persistencia bajo pastoreos controlados (Boggiano, 1990b).

En un ensayo realizado por Berretta et al. (1990) el *Bromus* presentó la mayor tasa de crecimiento diario respecto a las restantes gramíneas invernales evaluadas durante la estación fría, época en la cual éstas disminuyen marcadamente su crecimiento y en la que las gramíneas estivales lo detienen.

Por su parte, *Stipa setigera* presentó un descenso en la producción diaria de materia seca en el invierno, aunque comparativamente con el resto de las especies mantuvo una actividad superior a la mayoría de ellas (Berretta et al., 1990).

## 2.2. ANÁLISIS DEL CRECIMIENTO DE PLANTAS FORRAJERAS

El proceso de crecimiento de la pastura, entendido como producción de tejido foliar, puede evaluarse analizando el resultado de dos procesos que interactúan (Lemaire y Agnusdei, 1999):

- la producción de asimilados por las plantas a partir de la intercepción de luz y posterior fotosíntesis que se lleva a cabo en las hojas, y
- la utilización de estos asimilados por parte de los meristemas de hojas para la producción de nuevas células y crecimiento de las ya existentes, provocando un aumento del área foliar.

El uso de los asimilados por los meristemas foliares está directamente determinado por la temperatura, la cual gobierna la tasa de división y expansión celular (Ben-haj-Salah y Tardieu, citados por Lemaire y Agnusdei, 1999), y crea una demanda de carbono y nitrógeno para proveer energía y material para la expansión de tejido foliar (Lemaire y Agnusdei, 1999).

La existencia de una variedad de especies de gramíneas implica una gran amplitud de características morfogenéticas dentro de las que pueden citarse el hábito de crecimiento, ubicación de los meristemas y órganos de reserva, tipo de hojas, etc. Estas características inciden directamente sobre la capacidad de producir forraje de las plantas y también en la capacidad de producción de biomasa cuando se realizan diferentes manejos, como por ejemplo el pastoreo o el uso de fertilizantes (Cruz y Boval, 1999).

Las variables climáticas que determinan el crecimiento potencial de un genotipo en una situación dada son los niveles de radiación y de temperatura. En cambio la disponibilidad hídrica y la nutrición mineral determinan el nivel de crecimiento actual (Lemaire et al., 1987).

Cuando el suministro de asimilados logra cubrir la demanda de los meristemas el crecimiento foliar puede alcanzar el potencial determinado por la temperatura, y el excedente de asimilados es acumulado por la planta como

carbohidratos de reserva. Si la tasa de suministro de asimilados es menor que la demanda para el crecimiento foliar entonces las plantas limitan el número de meristemas activos (reduciendo la densidad de macollos) para mantener el potencial de crecimiento foliar del macollo principal. Es por eso que, mientras la tasa de expansión foliar de los macollos maduros se ve poco afectada por el suministro de carbohidratos, el macollaje es altamente dependiente de las variaciones en el nivel de radiación (Lemaire y Agnusdei, 1999).

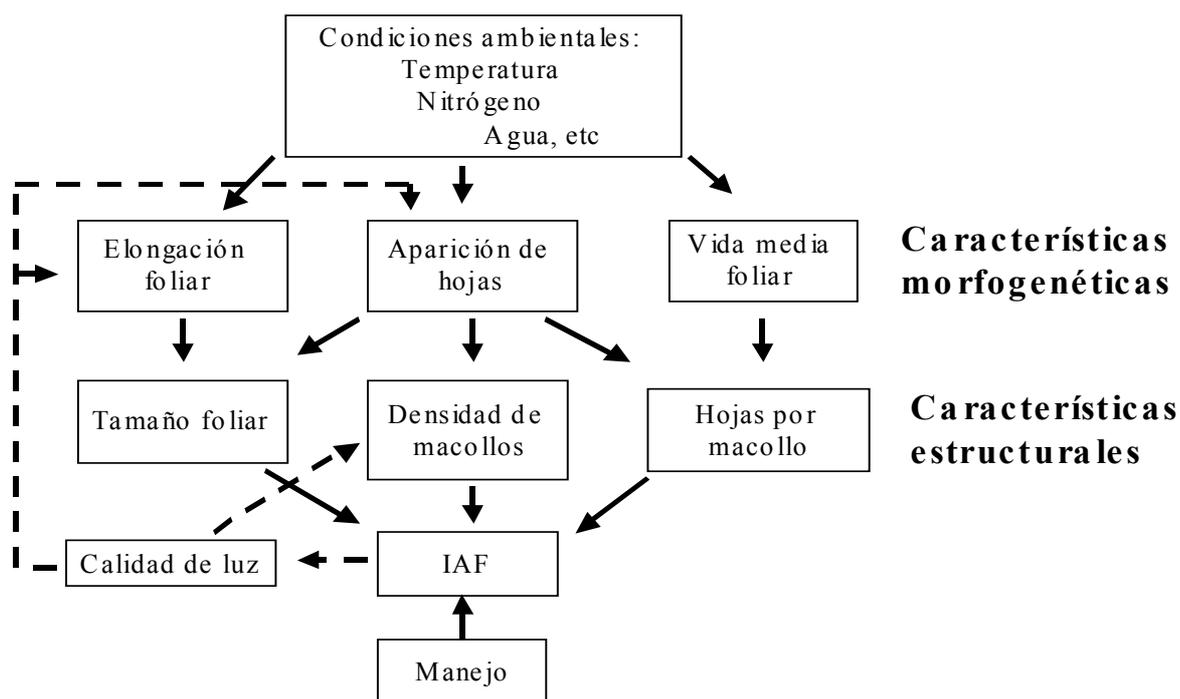
Al estudiar la productividad de una pastura utilizando la altura y el índice de área foliar (IAF) como indicadores del estado de la misma, se observó que la cantidad de materia seca producida por día tiene una relación lineal positiva con éstas variables hasta alcanzar un estado estable, el mismo se logra cuando la pastura se mantiene con un área intermedia de hojas. En este estado ocurren mecanismos compensatorios entre la producción de macollos y su nivel de crecimiento (tamaño), y la senescencia de hojas, generando cambios en la estructura de la cubierta y en la eficiencia fotosintética de la población foliar (Hodgson, 1985).

La respiración y la senescencia dan lugar a pérdidas del carbono fijado por las hojas, estando regulados por distintos factores (Lemaire y Chapman, 1996). La tasa de senescencia de hojas expresada como flujo, al inicio del período de rebrote, es menor que la tasa de producción de nuevo tejido, esto se debe a que las primeras hojas que mueren son las producidas al inicio del rebrote y de menor tamaño, por lo que la tasa de acumulación neta de forraje alcanza un máximo; posteriormente esta tasa se reduce hasta que la tasa de senescencia se equipara con la tasa de producción de nuevo tejido foliar alcanzándose el rendimiento techo o “ceiling yield” (Lemaire y Chapman, 1996).

### 2.2.1. Características morfogénicas de las plantas

La morfogénesis se define como la dinámica de generación y expansión de órganos en el espacio (Chapman y Lemaire, 1993), comprendiendo el origen y desarrollo de diferentes órganos en una planta, es decir mecanismos como la aparición y posterior expansión en tamaño de órganos de la planta y luego su desaparición por senescencia (Lemaire y Agnusdei, 1999). Dicha dinámica de crecimiento esta basada en la producción secuencial de fitómeros. En gramíneas templadas este se compone por una hoja con nudo, entrenudo y meristemo axilar; en estas especies el crecimiento del entrenudo se da exclusivamente durante el estado reproductivo (Cruz y Boval, 1999).

En la siguiente figura se presenta la relación entre las variables morfogénéticas: tasa de aparición de hojas, tasa de elongación y vida media foliar, y la estructura de la pastura.



**Figura No. 1.** Relación entre las variables morfogénéticas y las características estructurales de la pastura (Chapman y Lemaire, 1993)

Como muestra la figura No. 1, el crecimiento foliar en una gramínea en estado vegetativo puede ser cuantificado por tres parámetros: la tasa de elongación foliar (TEF), la tasa de aparición foliar (TAF) y la vida media foliar (VMF). Estas características están genéticamente determinadas, pero son posteriormente influenciadas por variables ambientales tales como temperatura, radiación, suministro de nutrientes y suministro de agua por el suelo. La tasa de elongación foliar mide los incrementos diarios en longitud de hojas individuales (mm/día), lo cual es consecuencia del tamaño de la zona de crecimiento y la tasa promedio de crecimiento relativo de los tejidos de esta zona. La tasa de aparición foliar mide el tiempo que transcurre entre la aparición de dos hojas

sucesivas en un macollo. La vida media foliar se entiende como el período durante el cual, los macollos adultos individuales acumulan tejidos verdes y permanecen de esta forma (sin senescer) luego de haber sido defoliadas completamente. Luego de dicho período comienza la acumulación de material senescente, alcanzándose un balance entre la aparición y desaparición de material foliar (Chapman y Lemaire, 1996).

En las gramíneas templadas la tasa de aparición de hojas es afectada directamente por la temperatura y en cambio no sucede lo mismo con el suministro de nitrógeno, del cual no depende sustancialmente. Las variaciones que existen en esta tasa entre las distintas especies, determinan la estructura de la pastura: especies con alta tasa de aparición de hojas se corresponden con una mayor densidad de macollos pequeños, y en contraposición especies con baja tasa llegan a poblaciones menos numerosas de macollos grandes. Luego de someter al tapiz a una defoliación severa, durante el período de rebrote la tasa de aparición foliar tiende a disminuir levemente al ir desarrollándose el dosel, como consecuencia del aumento del tamaño de las vainas de las sucesivas hojas. Esto explica por que las pasturas que son defoliadas frecuentemente, a las cuales se las mantiene con niveles bajos de IAF no permitiendo que acumulen demasiado forraje, presentan una tasa de aparición de hojas mayor que pasturas defoliadas intermitentemente (Lemaire y Chapman, 1996).

La tasa de elongación foliar es modificada en función del número de células que madura por día en los meristemas basales y del cambio en el largo de las células que se da entre la producción por división y la maduración; es decir que esta tasa depende de la tasa de división y de la tasa de elongación celular que sufren las hojas. La elongación de la lámina de hoja culmina cuando la lígula es expuesta y la hoja se encuentra completamente expandida, denominándose hoja adulta (Gomide, 1997). La hoja mientras está en crecimiento se conoce como hoja en elongación; una vez que alcanza su tamaño definitivo, permanece verde durante un período de tiempo cuya duración está determinada por la vida media foliar (Lemaire y Agnusdei, 1999). Posteriormente, comienza la etapa de senescencia de hoja, la misma varía en intensidad de acuerdo a la estación del año y a las condiciones ambientales en las que transcurra (Gomide, 1997). La muerte de tejido foliar se da desde el ápice hacia la base de la hoja (Lemaire y Agnusdei, 1999).

La tasa de elongación foliar, puede expresarse también como el incremento en el largo foliar por unidad de incremento térmico ( $\text{mm}/^{\circ}\text{Celsius}$ )

(Volenc y Nelson 1983, Mac Adam et al. 1989, Gastal et al. 1992). La elongación foliar es proporcional al intervalo de aparición de hojas (Lemaire y Agnusdei, 1999), y varía de acuerdo al genotipo, nivel de inserción de hoja, estrés hídrico, temperatura, luz, estación del año y nutrición mineral. Las tasas de aparición y elongación foliar están correlacionadas negativamente, determinando el peso de los macollos (Gomide, 1997).

La vida media foliar permite conocer cual es la aptitud de una especie para acumular tejido de hojas verdes, determinando el máximo número de hojas vivas que un macollo puede tener cuando se alcanza el rendimiento "techo". Su medición puede hacerse directamente en macollos marcados ya que es el tiempo que transcurre entre la aparición de la porción nueva de tejido de hoja y cuando esta comienza a senescer (Lemaire y Agnusdei, 1999). Puede también ser indirectamente estimado como el producto entre el número máximo de hojas vivas por individuo y el intervalo de aparición de hojas (Chapman y Lemaire, 1993).

La duración de vida de las hojas determina el número máximo de hojas vivas que puede tener un macollo, permitiendo determinar dos características esenciales de la dinámica del crecimiento de una pastura después de un corte:

- La duración de la fase corte - inicio de la senescencia foliar, a partir de la cual se establece que la producción cosechable es igual a la producción bruta menos la senescencia.
- La máxima cantidad de biomasa viva, que es el equivalente al rendimiento "techo" (Lemaire y Chapman, 1996).

El conocer la duración de la vida media foliar para diferentes especies permite hacer un manejo más eficiente de los tapices bajo pastoreo, ya que al determinar la cantidad de forraje producido puede saberse el que efectivamente puede ser cosechado por el animal cuando se hace un manejo programado del pastoreo (Lemaire y Chapman, 1996).

Las hojas que senescen en primer lugar, son aquellas que se produjeron también al principio del período de rebrote; estas hojas son en general más chicas que aquellas producidas en forma sucesiva, por lo tanto la tasa de senescencia de hojas en términos de flujo de masa inicialmente se retrasa respecto a la tasa de producción de nuevo tejido (Robson et al., 1988). Pero la diferencia gradual desaparece cuando el tamaño de las hojas siguientes se vuelve más o menos constante; es por esto que luego del período inicial de

expansión de hojas, la producción neta de tejido declina y se vuelve cero cuando la senescencia iguala al crecimiento de hoja.

### 2.2.2. Características estructurales de la pastura

Las tres variables morfogénicas anteriormente mencionadas (TEF, VMF y TAF) son quienes principalmente están determinando la estructura de la pastura (Lemaire y Agnusdei, 1999), siendo esta muy dependiente de las especies que la componen y del manejo que se hace de la misma. Las características estructurales de una pastura están dadas por el tamaño foliar maduro, el número máximo de hojas verdes por macollo, y el número potencial de macollos que determina la densidad de los mismos (Lemaire y Chapman, 1996). El modificar la estructura de la pastura puede provocar cambios en la producción de materia seca, el grado de utilización y el valor nutritivo del forraje (Davies, 1977).

Es fundamental, al momento de determinar la estructura de la pastura, la tasa de aparición foliar (TAF) (Lemaire y Agnusdei, 1999). Esto se ejemplifica al comparar especies con diferente TAF. Especies como el raigrás perenne, con una alta TAF tienden a producir hojas pequeñas, pero en gran número por macollo, y estos últimos se disponen en forma densa, lo que da una pastura de estructura corta y densa; en cambio especies de baja TAF, como es el caso de la festuca alta, generalmente producen una menor densidad de macollos pero estos están conformados por hojas más largas y menos numerosas, generando una pastura de estructura potencialmente más alta. Además si a esta baja TAF le sumamos especies con larga VMF (por ejemplo la *Festuca arundinacea*), es esperable que acumulen hojas de mayor tamaño y muestren una mayor capacidad de “ceiling yield” o rendimiento potencial (Lemaire y Agnusdei, 1999).

La densidad de macollos en tapices pastoreados resulta de un equilibrio entre las tasas de aparición y muerte de macollos. En pasturas densas la tasa potencial de aparición de macollos solo será alcanzada cuando el IAF de la pastura es bajo, pues la tasa de aparición de macollos disminuye mientras el IAF se desarrolla y se detiene para valores de IAF mayores de 3-4 (Simon y Lemaire, 1987).

La muerte de macollos puede presentar distintos orígenes (Ong et al. 1978b, Chapman et al. 1984, Woodward 1998), La principal causa de muerte de macollos se debe a la remoción de los ápices por el pastoreo animal. Este

fenómeno afecta principalmente a las pasturas cuando se encuentran en estado reproductivo, ya que se alargan los entrenudos de los tallos, dejando expuestos los ápices al horizonte de cosecha por el animal. Otra causa de muerte de macollos en pasturas densas es debida a la economía del carbono. Davies et al. (1983), demostraron que cuando las plantas son sombreadas, más materia seca se destina para el crecimiento de los macollos existentes, y menos para el desarrollo de nuevos macollos. El equilibrio entre la aparición y muerte de macollos depende del régimen de defoliación, el cual determina la evolución del IAF, que es el factor clave en gobernar la aparición y muerte de macollos (Lemaire y Chapman, 1996).

### 2.2.3. Plasticidad morfogénica

Existe a nivel de cada planta un fenómeno conocido como “plasticidad fenotípica” (Bradshaw, citado por Lemaire y Agnusdei, 1999), que es la capacidad de éstos individuos de captar las condiciones ambientales y en función de esto adaptar su morfogénesis foliar a través de una respuesta plástica (Lemaire y Agnusdei, 1999), esto sucede con las especies forrajeras que se someten a diferentes cargas y frecuencias de pastoreo y que responden modificando la estructura de la pastura en si misma.

A nivel de la cubierta, la plasticidad fenotípica se expresa por la relación entre la densidad poblacional y el tamaño de los individuos, en una comunidad bajo pastoreo (Davies 1988, Lemaire y Chapman 1996, Boggiano et al. 1999).

La plasticidad puede manifestarse morfológicamente y fisiológicamente en las plantas, pero todos los cambios son fisiológicos en origen, por esto la plasticidad es fisiológica. Los cambios morfológicos ocurrirán durante el desarrollo, siendo permanentes para el órgano involucrado. Por el contrario, cambios puramente fisiológicos pueden ocurrir en cualquier momento, hasta en órganos maduros, pudiendo ser reversibles y no permanentes (Chapman y Lemaire, 1993).

## 2.3. FACTORES QUE DETERMINAN EL CRECIMIENTO DEL FORRAJE

### 2.3.1. Efecto de la cantidad y calidad de la luz

La presencia de más biomasa foliar permite captar una mayor cantidad de la luz solar disponible; es por esto que la acumulación de biomasa en las

pasturas suele verse favorecida en plazos cortos por una baja frecuencia e intensidad de defoliación (Brougham, 1959).

En contraposición de este efecto, la tasa de macollaje responde en sentido inverso, ya que la misma aumenta con la severidad de defoliación de la pastura (Mitchel y Glenda, Brougham, Lambert, Williams, Dovrat et al., Ferro de Beca, Ishida, Grant et al., Derregibus et al., citados por Casal et al., 1984). El incremento en la tasa de macollaje debido al uso más intenso y frecuente de la pastura es consecuencia de un cambio en el ambiente que rodea a la planta, provocado principalmente por el corte de plantas vecinas.

El corte de la pastura permite un ambiente lumínico (cantidad de luz) en la base de la misma más favorable para la aparición de macollos (Voisin, Younger, citados por Casal et al., 1984). Cuando los rayos solares son interceptados por las hojas, disminuye la relación entre los colores rojo (600-700 nm: R) y rojo lejano (700-800 nm: RL) (Scout et al., Smith, Monteith, Holmes y Mc Carteney, Colmes y Smith, Robertson, citados por Casal et al., 1984), a medida que se corta material verde la relación R/RL puede ser captada por las plantas ya que modifican el estado de equilibrio del pigmento fitocromo, generando como consecuencia cambios en la morfogénesis de los mismos. Uno de los cambios es la menor ramificación en dicotiledóneas (Bogorad y Mc Ilrath, Kasperbauer, Tucker y Mansfield, Tucker, Heins y Wilkins, citados por Casal et al., 1984) y una menor tasa de macollaje en raigrás (Derregibus y Sanchez 1981, Casal et al. 1985) a bajas relaciones R/RL de la luz recibida. Los cambios que ocurren desde que el estímulo lumínico es recibido por el sistema fitocromo hasta la respuesta en macollaje de la planta, pueden darse porque la acción del fitocromo sea parte de un mecanismo complementario a nivel energético, a través de una modificación en el balance hormonal que permite liberar yemas y que luego la disponibilidad de energía determine si la yema liberada desarrolla un nuevo macollo. También puede ser que al incrementarse el área foliar por efecto de la luz roja, se provoque una mejor disponibilidad de fotoasimilados que posibilitarían el desarrollo de más macollos (Casal et al., 1984).

Se debe de tener en cuenta que la base de las pasturas reciba luz mediante pastoreos severos, para estimular la actividad de las yemas axilares y aumentar la densidad de las pasturas. Estos pastoreos deberían hacerse en épocas de rápido crecimiento vegetativo siempre que las condiciones ambientales sean favorables.

La radiación interceptada por la pastura aumenta, cuando se incrementa la densidad del canopeo, pero la relación R/RL disminuye en la base de las plantas, por lo tanto a nivel de la pastura es el IAF quien cambia la calidad de luz que llega a la base de las plantas, por esto se reduce la capacidad de producción de nuevos macollos aunque las yemas estén disponibles (Casal et al., 1985). Al observarse el efecto de la calidad de luz en plantas en estado vegetativo y reproductivo, en éstas la baja relación R/RL causó un temprano desarrollo floral y un aumento en el número de tallos florales en plantas reproductivas. Con una menor relación R/RL las láminas, las vainas y los tallos reproductivos se hicieron más largos, por lo tanto disminuye la inversión en nuevos macollos pero existe una mayor inversión en la elongación de macollos ya formados (Casal et al., 1985).

El IAF aparece como el mayor integrante de las características de la estructura de la pastura (Lemaire y Agnusdei, 1999), el mismo, además de modificar el macollaje, debido a que modifica la calidad de luz lo hace también con la tasa de aparición de hojas como lo demostró Agnusdei (1999). Gautier y Varlet - Grancher (1996) demostraron que el efecto del IAF sobre la tasa de aparición foliar podría ser explicado por una respuesta de las plantas a un cambio en la calidad de luz en el ambiente.

### 2.3.2. Efecto de la temperatura

La temperatura y la radiación son los principales factores ambientales no controlables que definen el crecimiento estacional de una pastura, pudiendo considerarse a la primera como el factor determinante de la tasa de crecimiento de la biomasa aérea (Anslow y Green 1967, Guillet et al. 1984).

El flujo de tejido foliar de las plantas se explica por el crecimiento y desarrollo de los órganos foliares (morfogénesis) los que son en primera instancia gobernados por la temperatura. La temperatura manifiesta su efecto principalmente sobre la tasa de aparición de hojas (Thomas y Norris 1981, Anslow 1996), la tasa de elongación foliar (Peacock 1975, Gastal et al. 1992) y la senescencia foliar (Lemaire y Chapman, 1996).

Cuando una hoja emerge, lo hace a una tasa de elongación (TEF) determinada por la temperatura; luego de un período de tiempo que corresponde a la duración de la elongación, el cual es proporcional al intervalo de aparición foliar, la hoja en elongación alcanza su tamaño final (TFM) y

permanece verde durante su vida media foliar (VMF) (Lemaire y Agnusdei, 1999).

Lemaire y Agnusdei (1999) proponen un modelo que simula los flujos de tejido foliar a nivel de la población de macollos asumiendo que la tasa de aparición foliar no está sincronizada entre tallos y que la probabilidad de aparición de una hoja es producto del azar. Lo que, por otra parte, posibilita simular el efecto de los cambios de temperatura en el tamaño foliar y en la dinámica de crecimiento y senescencia de sus tejidos. El modelo mostró que el largo foliar final tiende a disminuir desde el otoño al invierno, y se incrementa progresivamente hacia la primavera cuando la temperatura va aumentando. La tasa de elongación promedio de hojas responde inmediatamente a algún cambio en la temperatura, por lo tanto el flujo de producción de tejido foliar acompaña la variación estacional de la temperatura. En cambio no sucede lo mismo con la tasa de senescencia promedio, ya que esta no responde inmediatamente a las variaciones de la temperatura porque la porción de tejido foliar que muere cada día corresponde a la porción de tejido con una vida media foliar anterior.

En un período de disminución de temperaturas la porción de tejido que senesce es mayor que el que se está produciendo, esto lleva a un balance negativo entre crecimiento y senescencia. Por el contrario, en períodos de incremento de temperatura se obtiene un balance positivo entre ambos flujos (Lemaire y Agnusdei, 1999). Es decir durante el invierno el tejido foliar que muere es el que se produjo durante el otoño, el mismo es reemplazado por hojas de menor tamaño producida durante las condiciones de bajas temperaturas de la estación invernal. El fenómeno inverso tiene lugar en la primavera (Lemaire y Agnusdei, 1999).

En conclusión cualquier evento que aumente la tasa de elongación foliar y el largo final de hoja, tales como aumentos en la temperatura o aplicaciones de nitrógeno, aumentará la tasa de crecimiento de la pastura sin alterar la senescencia, por lo tanto se modificará el balance entre los flujos de tejidos (Lemaire y Agnusdei, 1999).

El efecto de la temperatura en la tasa de aparición foliar es diferente para especies C3 y C4 creciendo en invierno y en primavera. En el caso de las especies C3, la respuesta de la tasa de aparición foliar a la temperatura es lineal con temperatura base aparente entre 3 y 5°C, para especies C4 la

temperatura base es mayor ubicándose entre 8 y 9°C (Lemaire y Agnusdei, 1999). En *Festuca arundinacea* en condiciones templadas, Lemaire, citado por Lemaire y Agnusdei (1999) encontró que la temperatura base es de 0°C y el filocrono constante de 217 grados días, mientras que Davies y Thomas (1983) con la misma temperatura base obtuvieron un valor constante de filocrono de 110 grados días para *Lolium perenne*.

La tasa de elongación foliar, es altamente dependiente de la temperatura y responde a ésta rápidamente; sin embargo, a la misma temperatura y si el nitrógeno no es limitante, la tasa de elongación foliar es mayor en primavera que en otoño (García y Mazzanti, 1993). En varios estudios se han encontrado relaciones lineales (Baker y Younger 1987, Mazzanti et al. 1994a) y exponenciales (Peacock 1975, Thomas y Norris 1981, Lemaire 1985, Gastal et al. 1992) entre la tasa de extensión foliar y la temperatura. Lemaire y Chapman (1996) mencionan que la respuesta en la tasa de elongación foliar a la temperatura es exponencial en el rango de temperatura diaria promedio de 0-12°C y lineal entre 12 y 20 a 25°C, mientras que Lemaire y Agnusdei (1999) indican que la tasa de elongación responde a la temperatura de forma aproximadamente exponencial, en un rango de 5 a 17°C en especies C3 y de 12 a 20°C en C4. En el rango de temperatura entre 12,5 y 17,5°C, el cual corresponde al período primaveral en la región pampeana, la tasa de elongación de las especies C3 es mayor que la de las especies C4.

### 2.3.3. Efecto del agua

La disponibilidad del agua es el factor ambiental de mayor importancia que afecta el crecimiento, la distribución y sobrevivencia de las plantas en los campos naturales en el mundo (Brown, 1995).

El agua es un factor clave en los mecanismos de asimilación de nutrientes. Las raíces interceptan más iones nutrientes cuando crecen en un suelo húmedo que cuando crecen en uno seco, a causa de que su desarrollo es más extenso. La absorción de nutrientes viene afectada directamente por el nivel de humedad del suelo, así como, de modo indirecto, por el agua de la actividad metabólica de la planta, por la aireación del suelo y por la concentración salina de la solución edáfica (Tisdale y Nelson, 1966a).

La adquisición de recursos y la utilización de los mismos por la pastura son dos aspectos básicos a considerar al medir la respuesta de la pastura a

las variables ambientales como agua y nitrógeno, variables estrechamente relacionadas entre sí.

La captación de agua y nitrógeno por las pasturas esta determinada por tres procesos fundamentales e interactivos: la distribución de agua y nitrógeno en el suelo, la distribución de las raíces en términos de profundidad y densidad y la eficiencia de captación de las mismas. El primer proceso resulta del balance de agua-nitrógeno en el sistema suelo-planta-atmósfera; mientras que los dos últimos dependen del funcionamiento de las plantas y de las pasturas.

El volúmen de suelo explorado por las raíces esta limitado por características físicas, particularmente, la resistencia del suelo a la penetración de las raíces. La profundidad de exploración de las raíces varía entre especies, se ha observado que la extracción de agua fue más profunda en festuca alta y raigrás perenne que en pasto italiano y pasto ovillo (Lemaire y Denoix 1987, Durand et al. 1997).

La densidad de raíces (masa o área de raíces por unidad de suelo), el diámetro de raíces y la frecuencia de ramificación es altamente variable entre especies y ecotipos; se considera por otra parte que la densidad de raíces depende del manejo de la pastura, al respecto se indica que manejos intensivos de la misma llevan a una disminución en la densidad de las raíces.

En referencia al agua, la demanda de la misma es determinada por la evaporación en la superficie de la hoja. Esto depende a su vez de la radiación, temperatura y humedad del aire, viento y propiedades de la superficie de la hoja (resistencia cuticular y estomática, rugosidad, forma de la hoja).

La lluvia es la variable primaria que afecta el almacenaje y la disponibilidad de agua en el suelo. Cuando extensos períodos de escasas o nulas precipitaciones coinciden con la estación de crecimiento de las plantas, la disponibilidad de agua para ser almacenada en el suelo se ve limitada durante un largo período. Durante éste período, el agua de almacenaje del suelo es la única que determinará la producción de materia seca, la turgencia, nutrición y palatabilidad de la vegetación en el campo.

Un déficit hídrico producto de una sequía, provoca daños en las plantas; la frecuencia, duración e intensidad de la sequía o del período sin lluvias deben ser tomadas en cuenta para determinar la severidad del daño.

La deficiencia de N y agua en el suelo, afectan severamente la tasa de expansión de área foliar, provocando que el IAF sea limitante para la absorción de luz durante el período de rebrote. Como consecuencia de esto, una parte importante de la reducción de la tasa de crecimiento de una pastura en situaciones de déficit hídrico puede ser explicada a partir de la menor cantidad de energía lumínica interceptada por cultivos carenciados en agua en comparación a situaciones no limitantes (Colabelli et al., 1998).

La sequía, provoca además una fuerte disminución en el área funcional de las hojas o en el IAF, debido a que las hojas se enrollan; por otra parte provoca cambios en la partición de C a las raíces. Esto último sería una consecuencia de la deficiencia de nitrógeno.

En climas sub-húmedos y húmedos los períodos de déficit hídricos son menos comunes que en climas áridos o semiáridos, pero en los primeros es menos predecible la ocurrencia de los mismos (Kramer, 1980).

Los períodos de precipitaciones determinan el tipo de vegetación y la composición relativa de especies del tapiz. Variaciones temporales en la cantidad y distribución de las precipitaciones, pueden afectar severamente la producción y densidad de plantas, lo cual afectaría la cobertura total del tapiz.

A pesar de que durante períodos de óptimas precipitaciones la vegetación nativa generalmente es capaz de mantener una cobertura estable del tapiz y composición de especies, es bajo condiciones de escasez de agua que se pueden dar severos disturbios en la comunidad de plantas y en el ecosistema (Chamrad y Box, Whalley, Schulze, Glantz, citados por Brown, 1995). Es bien conocido que sequías severas pueden provocar la muerte de plantas, incluso llevar a la desaparición de determinadas especies en un área determinada.

Si bien hay especies que son más tolerantes a los déficits hídricos que otras, las pasturas siempre se ven afectadas por la falta de agua. Es por esto

que las condiciones de manejo de las pasturas y de los animales bajo una situación como la descrita pasa a ser un punto relevante; por un lado para darle a la pastura mayores períodos de descanso dado su menor crecimiento por la falta de agua (Hurt 1951, Humphrey 1962) y por otro deberán ser implementadas prácticas de manejo para regular la tasa de crecimiento de las plantas que son comidas por el ganado (Jameson, citado por Brown, 1995).

En varias especies, el efecto negativo de la escasez de agua es proporcionalmente mayor sobre el crecimiento de los tallos que sobre el de las raíces, resultando consecuentemente en un aumento de la proporción raíz/tallo. Dado que los nutrientes son absorbidos desde la solución del suelo la escasez de agua en el suelo podría disminuir la disponibilidad de nutrientes para las plantas y esto afectaría el crecimiento de la parte aérea. Se podría sugerir entonces, que la baja disponibilidad de minerales en condiciones de escasez de agua y las consecuentes deficiencias de las plantas en nutrientes como P y N, incrementarían la relación raíz/parte aérea (Gales, 1979).

Lemaire y Salette (1984), Onillon et al. (1995), demostraron que durante el rebrote de una pastura de festuca en condiciones no limitantes de agua ni de nitrógeno, hubo una relación estable entre la biomasa del tallo y su concentración de N. La deficiencia de nitrógeno, disminuye el potencial de agua de la hoja al mediodía cuando éstas transpiraban intensamente, lo que podría relacionarse a una disminución de la conductancia de agua en las raíces inducida por la deficiencia de nitrógeno. Lemaire y Denoix (1987), también hallaron que esto puede ser debido a una baja disponibilidad de nitrógeno para las plantas cuando el suelo está seco.

La fertilización es utilizada frecuentemente para mejorar la disponibilidad de nutrientes, lo que a su vez puede tener un efecto significativo en la producción de biomasa (De Puit y Coenenberg, Laycock, citados por Brown, 1995). La fertilización es solamente efectiva cuando hay suficiente agua disponible en el suelo. El aumento del crecimiento del área foliar solamente a través del nitrógeno, aumenta significativamente el área de transpiración sin incrementos compensatorios en el desarrollo radicular ni mayor volumen de suelo explorado por las raíces (Ram et al., citados por Brown, 1995). Según Power, citado por Brown (1995) hay claras evidencias de que el nitrógeno agregado puede incrementar la eficiencia de uso del agua en algunas especies forrajeras.

La extracción de nitrógeno y amonio del suelo por la planta requiere de sistemas de transporte específicos. La combinación de diferentes sistemas de transportes en las raíces lleva a una mayor eficiencia de absorción de este nutriente de la solución del suelo. Además de la concentración externa del nitrógeno, su absorción es regulada por el estado fisiológico de la planta en su conjunto.

El nitrógeno es el principal factor que influye en la proporción raíz/ tallo en la estación fría, bajo déficit de agua (Heitholt, citado por Onillon et al., 1995). Cuando las plantas están sometidas a déficit hídrico, la traslocación de fotoasimilados de las hojas-fuente se ve generalmente retrasada. El hecho de que el nitrógeno modifica relativamente la asignación de C 14 a las raíces siempre en la misma proporción tanto bajo condiciones limitantes de agua como en condiciones normales, llevaría a sostener la idea de que el déficit hídrico no afectaría el transporte de fotoasimilados.

En un ensayo realizado en festuca creciendo a diferentes dosis de nitrógeno, se vio que la fertilización nitrogenada fue el principal factor que influyó en la partición de los asimilados (marcados con C14) recientemente formados (Onillon et al., 1995) El mayor coeficiente de partición de C a las raíces (15-30 %) fue medido en pasturas que recibían la menor dosis de nitrógeno.

#### 2.3.4. Efecto del nitrógeno

El nitrógeno es uno de los elementos minerales de vital importancia para la nutrición de la planta y su suministro puede ser controlado por el hombre a través de la fertilización nitrogenada (Tisdale y Nelson, 1966a).

La dependencia de las gramíneas del nitrógeno mineral del suelo es alta, es por esto que es tan importante la fertilización en las mismas.

La eficiencia agronómica de un fertilizante, va a depender del aporte que éste sea capaz de hacer al suelo, lo cual dependerá de las características propias del material, de las condiciones del suelo, del cultivo y del manejo de la fertilización.

En la mayoría de los casos, salvo en las leguminosas, este elemento para ser absorbido por las plantas debe estar en forma inorgánica, las formas más comúnmente absorbidas son los iones amonio ( $\text{NH}_4$ ) y nitrato ( $\text{NO}_3$ ). La urea ( $\text{NH}_2\text{CONH}_2$ ) también puede ser absorbida por las plantas. Independientemente de cómo éstas lo absorban, el nitrógeno es transformado en el interior de las mismas a las formas de  $-\text{N}=\text{NH}-$ , o  $-\text{NH}_2$ . Una vez reducido, este nitrógeno forma compuestos más complejos los que finalmente formarán proteínas, las cuales cumplen en las células vegetales una función principalmente funcional y una estructural. La mayoría de éstas son enzimas que funcionan como catalizadores y directores del metabolismo; el nitrógeno además es parte integral de la molécula de clorofila (Tisdale y Nelson, 1966b).

Un adecuado suministro de nitrógeno está asociado con vigorosos crecimientos vegetativos y un intenso color verde. Cantidades excesivas de éste nutriente, bajo ciertas condiciones (por ejemplo desbalance con otros nutrientes principalmente P y K), puede prolongar el período de crecimiento vegetativo y retrasar la madurez (Tisdale y Nelson, 1966a).

El suministro de nitrógeno se relaciona con la utilización de los hidratos de carbono. Cuando éste es insuficiente, los hidratos de carbono se depositan en las células vegetativas causando un adelgazamiento de las mismas; en cambio, cuando las cantidades de nitrógeno son adecuadas y las condiciones favorables para el crecimiento, se formarán proteínas a partir de éstos compuestos. Cuando las plantas soportan deficiencias de nitrógeno se manifiesta un amarillamiento o clorosis, la cual aparece primero en las hojas inferiores permaneciendo verdes las hojas superiores, lo que indica movilidad del nitrógeno en la planta. En las gramíneas, las hojas inferiores se vuelven marrones comenzando por el ápice, avanzando por el limbo hasta que la hoja entera muere (Tisdale y Nelson, 1966c).

#### 2.3.4.1. Fluctuaciones estacionales del N y respuesta a la fertilización

Las variaciones en N inorgánico son importantes y fácilmente apreciables por su proporción con respecto al contenido total de nitrógeno; en cambio, éstas son despreciables en el caso del nitrógeno orgánico. El nitrógeno inorgánico baja en invierno en relación con las otras estaciones debido a la baja actividad microbiana y al lavado del suelo.

En un suelo sin cultivo, aumenta la tasa de acumulación de nitrógeno al llegar el verano, lográndose un máximo en este sentido en la primera parte de esta estación, mientras que la mayor concentración de N inorgánico se produce al finalizar el verano. La temperatura y la humedad, son dos variables que interaccionan en el ciclo estacional del N inorgánico.

La temperatura es un factor clave que afecta la nitrificación. Según varios estudios realizados por diferentes universidades de EEUU, el rango de temperatura dentro del cual se da la nitrificación es entre 16 y 30°C.

Si acontecen temperaturas altas que precedan a temperaturas bajas, el resultado de la nitrificación será mayor que si sucediera lo contrario (Tisdale y Nelson, 1966a).

Si las condiciones climáticas determinan un tiempo extremadamente seco, los nitratos se acumulan en las capas superiores del terreno o incluso en la misma superficie. En cambio, cuando las condiciones son de lluvia excesiva, se da la lixiviación del nitrógeno como nitrato, el cual es completamente móvil, por lo que es arrastrado fuera de las capas superiores del suelo (Tisdale y Nelson, 1966a).

Existen trabajos nacionales que estudiaron la respuesta estacional del crecimiento de forraje a la fertilización de campo natural en diferentes suelos del país.

Según Termezana y Carámbula, citados por Castells (1974), al comparar dosis crecientes de aplicación de nitrógeno en suelos de Basalto, se obtuvieron respuestas significativas al agregado a la dosis máxima utilizada, mientras que con 30 UN/ha no hubo diferencias significativas con el tratamiento sin nitrógeno en un suelo negro de Basalto. Para suelos rojos de Basalto si hubo respuesta al agregado de nitrógeno.

Castells (1974) encontró para un Litosol sobre lavas de Arapey, interacción positiva al agregado de N+P en invierno, verano y primavera; siendo significativa al 1 % para las dos primeras estaciones y de 15 % para la última. En las tres estaciones analizadas, se encontró respuesta significativa al N tanto para el coeficiente lineal como para el cuadrático, determinando que

el N, de los tres nutrientes evaluados (N, P, K), es entonces el que más limitó el crecimiento de pasturas en éstos suelos. En cambio, en la pradera negra, la primavera y el verano fueron las estaciones en que ocurrió mayor respuesta por unidad de fertilizante agregado. La interacción N-P fue muy importante en el Litosol, no así en la pradera negra. Se obtuvieron mayores respuestas en el Litosol que, de los dos suelos analizados, es el de menor nivel inicial de fertilidad.

A su vez, Burgos de Anda (1974), en un ensayo realizado sobre dos tipos de suelos de la Estación Experimental "Bernardo Rosengurt", un Grumosol y una pradera parda máxima, observó respuestas a la fertilización diferenciales en los dos tipos de suelos. En la pradera parda máxima no encontró respuesta a la fertilización en el otoño e invierno como consecuencia del efecto de las variables ambientales (déficit hídrico y bajas temperaturas) y obtuvo respuesta a la fertilización con N en primavera. En el suelo grumosol se observó una clara respuesta a la fertilización nitrogenada en otoño e invierno y una ligera respuesta en primavera y verano. En cuanto a la respuesta en producción estimada por unidad de N aplicada para las dosis de N utilizadas (0 UN – 320 UN/ ha) en dicho ensayo, se observó una respuesta decreciente al aumentar la dosis de N/ha aplicado en ambos tipos de suelo.

Por otro lado Bottaro y Zavala (1973) en un ensayo realizado para medir la respuesta al nitrógeno y al fósforo en un litosol y en una pradera negra sobre Basalto, observaron para el primer tipo de suelo, que salvo en el invierno en las restantes estaciones de crecimiento ocurrió alta respuesta a la aplicación de fertilizante nitrogenado, siendo este fertilizante el que más limitó la producción. En la pradera negra también el factor más importante en limitar la producción fue el nitrógeno y salvo en el verano, en las demás estaciones de crecimiento se encontró una respuesta muy alta a este nutriente. En los dos suelos se dió una marcada estacionalidad en la producción de forraje y en la respuesta a la fertilización, alcanzándose los mayores niveles de producción en primavera y otoño.

En un ensayo reportado por Berretta et al. (1998a) realizado en pasturas naturales desarrolladas sobre la Unidad Queguay Chico, la tasa de crecimiento diario en el período otoñal y en el período invernal fue mayor en los tratamientos con fertilización (92 unidades de N/ha/año y 44 unidades de  $P_2O_5$ /ha/año; aplicada fraccionada 50 % en inicio de otoño y 50 % en fin de invierno) que en los no fertilizados, lo que se expresó en una mayor producción de forraje anual.

Como consecuencia de la fertilización nitrogenada se modificó la participación de las especies al recubrimiento del suelo, aumentando la participación de las especies invernales, relacionado con el aumento del nivel trófico del suelo producto de la aplicación de N y P. Además, se logró un significativo aumento de la participación en el tapiz de especies finas y tiernas-finas como *Paspalum dilatatum*, *Poa lanigera*, *Stipa setigera*, que raramente se encuentran en campos sin fertilizar (Berretta et al., 1998a).

Los resultados preliminares de un ensayo de fertilización nitrogenada realizado en un campo natural pampeano de la Provincia de San Luis, indicarían que con la aplicación de 90 kg urea/ha existieron diferencias en producción de forraje. Las especies invernales no forrajeras son la que resultaron más beneficiadas con la fertilización nitrogenada. La producción total del campo natural natural mostró diferencias significativas entre el tratamiento testigo con N=0 y el tratamiento con N=90 (Harrison et al., s. f.).

#### 2.3.4.2. Efecto sobre la tasa de elongación foliar

La tasa de elongación foliar es el principal componente del crecimiento de la unidad morfológica básica de las gramíneas. Altas aplicaciones de nitrógeno incrementan la producción de forraje como consecuencia del aumento en las tasas de crecimiento y elongación, área foliar y densidad de macollos (Laidlaw y Steen, 1989).

Las modificaciones en la tasa de elongación foliar son función de dos características: el número de células que maduran por día (división celular) y el cambio en largo de las células (elongación celular) que ocurre entre la producción vía división y la maduración (Volenc y Nelson 1983, Mac Adam et al. 1989). Los incrementos en la tasa de elongación foliar producto de la adición de fertilizante nitrogenado se asocia con modificaciones en el número de células epidérmicas producidas por día, mientras el largo celular permanece constante (Volenc y Nelson 1983, Mac Adam et al. 1989, Gastal et al. 1992b).

Bajo condiciones de pastoreo continuo, en pasturas mantenidas a un bajo índice de área foliar el efecto del nitrógeno en la tasa de elongación foliar permanece limitado y es en parte contrabalanceado por una reducción del peso específico de la hoja. Debido a esto, la importancia de la tasa de elongación es menor en pastoreos continuos que en rotativos y fue en parte

balanceada por el efecto del nitrógeno en la promoción de la tasa de macollaje (Mazzanti et al., 1994a).

Al comparar 190 y 360 KgN/ha/año, se observó un efecto del nitrógeno sobre la tasa de elongación foliar de cada macollo altamente significativo con respuestas del orden de 15 a 28 % más en la alta dosis de N (Mazzanti et al., 1994a).

#### 2.3.4.3. Efecto del nitrógeno sobre la tasa de aparición de hojas

En condiciones naturales, se ha observado que la aplicación de nitrógeno tiene nulo efecto sobre la tasa de aparición de hojas (Anslow 1966, Davies 1971, Whitehead 1995). Sin embargo, Latanzzi et al. (1997) encontraron que la fertilización nitrogenada aumentó la tasa de aparición de hojas en raigrás anual; pero no en Avena. Otros autores mencionan que el nitrógeno aumenta la tasa de aparición de hojas (Ryle 1964, Davies 1979, Wilman y Mohamed 1980b, Thomas 1983, Marino 1996).

En el trabajo de Lattanzi et al. (1997) la fertilización nitrogenada en raigrás, determinó una tasa de aparición de hojas más rápida con dosis de N50 y N100 en relación a N0, para dosis N150 y N250, no hubo efecto sobre dicha tasa. Cuando se analizaron los resultados obtenidos para avena no se registraron aumentos en dicha tasa para las diferentes dosis utilizadas entre N50 a N250. En los casos en que la fertilización nitrogenada no aumentó la tasa de aparición de hojas en ambas especies, se registraron similares filocronos;  $112 \pm 4,6$  y  $113 \pm 3,6$  GDD hoja<sup>-1</sup> para raigrás y avena respectivamente.

#### 2.3.4.4. Efecto del nitrógeno en la vida media foliar

La deficiencia de nitrógeno reduce levemente la vida media foliar (Gastal y Lemaire, 1988). En cambio, debido al efecto que tiene la nutrición nitrogenada sobre la tasa de elongación foliar y sobre el tamaño de hoja, la tasa de senescencia aumenta en términos absolutos con el nivel de fertilización nitrogenada (Mazzanti y Lemaire, 1994b). Por lo cual, si se aumenta fertilización se deberá adaptar y/o ajustar el manejo del pastoreo para evitar un drástico aumento de la senescencia y una disminución de la acumulación de tejido foliar en las pasturas. La vida media foliar al igual que la

senescencia son afectadas por la temperatura de una manera similar que la tasa de aparición foliar (Lemaire y Chapman 1996, Lemaire 1997).

#### 2.3.4.5. Efecto sobre las características estructurales de la pastura

Existen evidencias que muestran respuestas positivas a la fertilización, aunque éstas pueden variar entre especies, estado fenológico y acumulación de biomasa de las cubiertas (Whitehead, 1995). La fertilización nitrogenada a través de sus efectos sobre la morfogénesis, modifica el conjunto de variables que caracterizan la estructura de la pastura (Chapman y Lemaire, 1993).

Las variables estructurales de la pastura que se modifican son: tamaño final de las hojas (largo, ancho medio, espesor y peso de lámina), largo del pseudotallo y tallo, densidad y peso promedio de los macollos (Ryle 1964, Wilman y Mohamed 1980b, Nelson y Zarrouh 1981, Wilman y Pearse 1984, Laidlaw y Steen 1989, Mazzanti et al. 1994a, Whitehead 1995, Marino et al. 1996).

Mazzanti et al. (1994) reportaron falta de efecto de la fertilización nitrogenada en el ancho de la hoja y en el peso de hoja. La producción de hojas por macollo se redujo un poco con la menor dosis de nitrógeno (Mazzanti et al., 1994a).

La fertilización con nitrógeno incrementa el ancho y espesor de la hoja, con un aumento del volumen por lámina foliar y de la longitud del pseudotallo (Wilman y Mohamed 1980b, Wilman y Wright 1983, Wilman y Pearse 1984, Whitehead 1995).

La fertilización hecha durante el período otoñal incrementa el macollaje de las especies activas en invierno y favorece la obtención de mayores rendimientos en la primavera. El efecto del nitrógeno sobre la densidad de macollos depende del índice de área foliar de la pastura, observándose que a bajos niveles de IAF, el nitrógeno tiene un efecto positivo a través de la tasa de aparición de macollos mediante la maximización del llenado de sitios de crecimiento (Lemaire, 1997). En un ensayo de fertilización nitrogenada en maceta con *Bromus auleticus* se encontró que el N puede ser un factor a utilizar en etapas tempranas del desarrollo y en bajas densidades de siembra,

para regular el número de macollos por planta, incrementándose éste con el agregado del mismo (Davies, 1990).

Rodríguez Palma (1998) en un campo natural donde predominaban la *Stipa setigera*, *Lolium multiflorum* y *Hordeum stenostachys*, obtuvo un aumento del 44 % en la producción de forraje con la aplicación de 100 kg N/ha/año respecto al testigo sin fertilizar. La fertilización nitrogenada en el período otoño-invernal, incrementó el crecimiento bruto y neto de las gramíneas, con un efecto principalmente en el aumento de la densidad de macollos, que en éste caso fue de 40 %.

Mazzanti et al. (1994) observaron en pasturas de festuca bajo pastoreo continuo de lanares durante 2 años que la densidad de macollos aumentó un 22 % con aplicaciones de 360 kg/ha en relación a aplicaciones de 190 kg/ha.

Al medir el efecto del nitrógeno sobre tres diferentes especies y sobre la tasa de crecimiento, densidad de macollos y composición botánica en ellas, se vio que la fertilización con nitrógeno no afectó la densidad de macollos durante el primer año de producción de dos de las especies: cebadilla (*Bromus inermis* Leyss) y timothy (*Phleum pratense*). En el caso del pasto ovillo (*Dactylis glomerata* L.), la densidad de macollos si se vio afectada en el segundo año de producción por la aplicación de nitrógeno (Singer, 2001).

La densidad y masa de macollos aumentaron en el surco con el incremento de la fertilización con N. La respuesta encontrada fue mayor en la producción de biomasa que en la densidad de macollos (Muir et al., 1991).

El número de hojas verdes por macollo es el producto de la vida media foliar y la tasa de aparición de hojas (Lemaire y Chapman, 1996). Esta característica es razonablemente constante de acuerdo al genotipo, condiciones ambientales y de manejo. El progresivo aumento de hojas por macollo y de los macollos por planta determina que el índice de área foliar de la pastura se incremente y subsecuentemente, el rendimiento de forraje por aumentos porcentuales en la intercepción y captura de la radiación lumínica (Gomide, 1997).

En condiciones estables, se alcanza un equilibrio entre aparición y muerte de hojas con un máximo de hojas vivas por macollo. La diferencia en vida media foliar entre especies influye fuertemente en la capacidad de acumular biomasa verde y alcanzar un alto rendimiento “techo” de una pastura, sino la duración de la vida media de la hoja, la cual está muy relacionada con la temperatura (Lemaire y Chapman, 1996)

#### 2.3.4.6. Efecto sobre la composición botánica del tapiz

En pasturas naturales se ha observado que al aplicar nitrógeno ocurren reducciones en la proporción de gramíneas poco productivas, leguminosas y dicotiledóneas no leguminosas (Sandford 1979, Whitehead 1995). En pasturas mezclas de trébol blanco y raigrás perenne, la fertilización nitrogenada provoca una reducción en la proporción y en el rendimiento de la leguminosa (Sandford 1979, Morrison 1987, Betteridge et al. 1989, Davison y Robson 1990, Davies y Evans 1990, Frame 1993a, Whitehead 1995).

#### 2.3.4.7. Efecto residual del nitrógeno

El efecto residual del nitrógeno aplicado externamente en las pasturas fue evaluado por Mott et al. (1970). Cabe aclarar que no se cuenta con suficiente material bibliográfico que permita aclarar éste punto.

Estos autores encontraron que las pasturas que fueron fertilizadas con N a una tasa de 200 kgN/ha/año durante 8 años, y luego no recibieron fertilización durante los siguientes 4 años, lograron mantener los niveles de producción cercanos a los niveles máximos obtenidos anteriormente cuando recibían fertilización nitrogenada. Los resultados obtenidos sugieren que luego de que en el sistema se establece un alto nivel de nitrógeno, se requerirá una menor tasa de nitrógeno para que se mantengan los niveles correspondientes de producción de dicha pastura. Esto se puede tomar en cuenta en la planificación de la fertilización de la pastura, ya que el productor hará un mayor gasto inicial en fertilizante, pero de mantener la constancia en las fertilizaciones a lo largo de los años podrá disminuir las dosis luego de una serie de años, disminuyendo así los costos a largo plazo.

## 2.4. FLUJOS DE TEJIDO FOLIAR BAJO CONDICIONES DE PASTOREO

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

A nivel de planta individual se pueden distinguir dos tipos de respuesta a la defoliación: una fisiológica, que se da de forma inmediata a la defoliación para compensar la restricción de carbohidratos en las plantas en crecimiento, resultado de la remoción del tejido fotosintetizador. La otra, es una respuesta morfológica y se da en el largo plazo resultado de cambios en el suministro de carbono entre órganos en crecimiento permitiendo a la planta adaptar su morfología ante sucesivas defoliaciones y conferir resistencia al pastoreo (Lemaire y Chapman 1996, Lemaire 1997).

En pasturas bajo pastoreo contínuo, la densidad de macollos esta determinada por las condiciones de equilibrio del índice de área foliar. Los pastoreos severos generan mayor densidad de macollos que los pastoreos aliviados. En estas situaciones, el estado de equilibrio de la densidad de macollos es influenciado por el nivel de nutrición nitrogenada si las comparaciones son realizadas a igual índice de área foliar. El estado de equilibrio de la densidad de macollos refleja la capacidad de macollaje de diferentes especies, lo cuál está ligado a la tasa de aparición foliar (Lemaire y Chapman, 1996). Bajo pastoreo continuo o rotativo, modificaciones en la carga animal afectan el balance entre el crecimiento y la utilización de la pastura, así como la estabilidad del pastoreo. En la práctica la interacción entre animales y plantas es muy compleja dependiendo de las variaciones estacionales en las condiciones ambientales (Parsons y Johnson, 1986).

### 2.4.1. Efecto de las características estructurales de la cubierta sobre los flujos de materia orgánica aérea

En estudios efectuados en pasturas cultivadas templadas de composición botánica simple se ha determinado que, en condiciones de pastoreo continuo y de pastoreo rotativo, el crecimiento neto de forraje verde es un parámetro poco sensible a diferentes manejos de la defoliación

(Hodgson y Wade, 1978) y permanece relativamente constante en un amplio rango de biomasa aérea, altura de la cubierta o índice de área foliar (Hodgson et al. 1981, Bircham y Hodgson 1983, Grant et al. 1983, Cordero et al. 1996). Ello se atribuye a los mecanismos homeostáticos de la cubierta, generados por ajustes internos entre la producción de macollos y su nivel de crecimiento y senescencia foliar (Hodgson et al. 1981, Bircham y Hodgson 1983, Hodgson 1990) y cambios asociados en la estructura del dosel y en la eficiencia fotosintética de las poblaciones de hojas (Hodgson et al. 1981, Parsons 1988). Estos efectos reflejan la influencia de los patrones de defoliación en la morfología de los macollos y en el recambio de hojas y macollos (Hodgson, 1985) y confirman la fuerte relación entre el crecimiento bruto aéreo y el índice de área foliar de la cubierta (King et al., 1984).

En cubiertas de raigrás perenne se ha observado que a valores muy bajos de índice de área foliar (inferiores a 1) existe una insuficiente asimilación de carbono que determina una marcada reducción en la producción por macollo (Parsons et al., 1983), que es acompañada por una disminución en la densidad poblacional de individuos, provocando reducciones en la tasa de crecimiento de forraje (Bircham y Hodgson, 1983, 1984). En el otro extremo, con índices de área foliar superiores a 5 se reduce marcadamente la población de macollos (Bircham y Hodgson 1983, King et al. 1984) como consecuencia de la falta de estímulo de los sitios potencialmente productores de macollos provocada por reducción de la luz en el dosel (Casal et al. 1985, Deregibus et al. 1985).

El peso del individuo continúa aumentando por una mayor tasa de crecimiento individual (Bircham y Hodgson, 1983, 1984, Grant et al. 1983, Binnie y Chestnutt 1994); no obstante, al aumentar el área foliar, la cantidad de forraje producido que es cosechado por el animal, se reduce, aumentando la pérdida de material por senescencia (Stuth et al. 1981, Bircham y Hodgson 1983). De ésta manera, la tasa de crecimiento neto de pasturas de raigrás se estabiliza en índices de área foliar inferiores al valor crítico y se mantiene relativamente constante en un rango de índice de área foliar de 2 a 4.5 y alturas de la cubierta de 2.5 a 6 cm (Bircham y Hodgson, 1983, 1984, Grant et al. 1983, Grant y King 1984, Binnie y Chestnutt 1994). En este rango de estados de la cubierta de raigrás se tiene una población de macollos jóvenes de hábito de crecimiento más postrado, en asociación con una disposición horizontal de las hojas y un incremento de la proporción de tejido inmaduro respecto al maduro (Hodgson y Maxwell 1982, Hodgson 1990). Estas características determinan una mayor eficiencia en la intercepción de la luz y mayor producción de fotoasimilados (Parsons, 1988).

#### 2.4.2. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre los flujos de materia orgánica aérea

Para analizar el efecto de la fertilización nitrogenada sobre la producción y utilización de las pasturas en situaciones de pastoreo y entender el impacto de distintas estrategias de manejo sobre la dinámica de crecimiento (intensidad de los flujos de tejido foliar en términos de crecimiento y senescencia) y sobre el consumo por el animal, es indispensable caracterizar precisamente el estado de las cubiertas vegetales y realizar las comparaciones en similares estados (Gordon 1982, Hodgson 1985, Large et al. 1985).

La constante defoliación limita las diferencias de evolución del área foliar en función de la fertilización nitrogenada, con reducciones en las respuestas en términos de tasa de elongación foliar y producción de forraje, determinando que el principal componente que se modifica en respuesta al nitrógeno sea la densidad de individuos (Mazzanti et al., 1994a). De ésta manera, la fertilización nitrogenada modifica la estructura de la cubierta vegetal, cambiando la distribución horizontal de la biomasa aérea (Davies 1977, Whitehead 1995) y aumentando la densidad de macollos (Mazzanti, 1990), parámetros que pueden afectar el consumo de forraje por los animales (Hodgson, 1985). La densidad de macollos en pasturas bajo pastoreo es el resultado del equilibrio dinámico entre tasa de aparición y muerte de macollos. El efecto de la nutrición nitrogenada en la densidad de macollos depende del índice de área foliar de la pastura. A bajos niveles de área foliar el nitrógeno tiene un efecto positivo en la densidad de macollos a través de la tasa de aparición maximizando el "site filling". Este efecto no persiste al aumentar el desarrollo del área foliar, debido a que la nutrición nitrogenada lleva a una severa extinción de la luz asociada a un cambio en calidad lumínica inhibiendo el desarrollo de yemas axilares con nuevos macollos (Lemaire, 1997).

El conocimiento de los flujos de tejido foliar, los patrones de defoliación, las tasas de aparición y desaparición de hojas en respuesta a la fertilización nitrogenada contribuyen a elaborar estrategias racionales de utilización del nitrógeno para aumentar la producción invernal de forraje de las principales especies que componen el campo natural. Con suministros de nitrógeno medios a altos e intervalos entre cortes moderadamente largos, las tasas de emergencia y senescencia foliar fueron parcialmente aumentadas. En cambio, el número de macollos puede reducirse debido a que se incrementa la competencia por luz impidiendo una alta tasa de macollaje; sin embargo, el número de hojas emergidas no es afectado (Wilman y Wright, 1983).

#### 2.4.3. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre la eficiencia de utilización del crecimiento de forraje

La utilización de forraje se define como la proporción de la biomasa presente que es cosechada, y se calcula como la relación entre el forraje cosechado y el forraje presente al momento de la defoliación (Speeding, 1971). Esta puede analizarse a través del estudio de los patrones de defoliación (frecuencia e intensidad) a nivel de individuo y de categoría de edad de las hojas (Mazzanti y Lemaire, 1994b).

Los patrones de defoliación dependen principalmente del manejo del pastoreo; en pasturas mantenidas en un estado de la cubierta estable, donde el forraje potencialmente utilizable por el animal es el crecimiento neto, el cual resulta de la diferencia entre crecimiento bruto y senescencia; la eficiencia de utilización potencial se expresa por la relación entre el crecimiento neto y el crecimiento bruto (Bircham y Hodgson, 1983). En cambio, si el consumo por el animal puede estimarse de manera simultánea e independiente del crecimiento y senescencia, la eficiencia de utilización real o actual puede expresarse por la relación entre el forraje consumido y el crecimiento bruto (Mazzanti y Lemaire, 1994b).

En cubiertas de festuca y en patizales se ha observado que la mayor tasa de crecimiento de forraje consecuencia de la fertilización nitrogenada (Laidlaw y Steen 1989, Mazzanti 1994, Rodríguez Palma 1998) permite capacidades de carga animal contrastantes, para mantener similares estados entre distintos niveles de fertilización nitrogenada. Esto se refleja en diferentes tasas de defoliación de los individuos, con una mayor frecuencia de defoliación en los tratamientos no carentes en nitrógeno (Mazzanti y Lemaire 1994b, Rodríguez Palma 1998, Rodríguez Palma et al. 2004c); como resultado se obtiene una mayor eficiencia de utilización de forraje (Rodríguez Palma, 1998) con menores pérdidas relativas por senescencia (Laidlaw y Steen 1989, Mazzanti y Lemaire 1994b).

La mayor capacidad de carga se expresa en mayores kg de producto animal por unidad de superficie (Mazzanti y Lemaire 1994b, Risso et al. 1998, Rodríguez Palma 1998, Rodríguez Palma et al. 2004a, 2006, 2007a).

## 2.5. HIPÓTESIS

- En una pastura natural mantenida a un nivel relativamente estable de altura de la cubierta mediante pastoreo continuo con carga animal variable la fertilización nitrogenada realizada en otoño-fin de invierno realizadas el año anterior incrementará el crecimiento de forraje en el período otoñal, principalmente por su efecto en la densidad de individuos de las especies de ciclo invernal.
- Este aumento permitirá incrementar la carga animal, lo que modificará principalmente la frecuencia de la defoliación, resultando en un aumento de la eficiencia de utilización del crecimiento de forraje y de los niveles de productividad secundaria.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. CONDICIONES EXPERIMENTALES GENERALES

##### 3.1.1. Ubicación

El ensayo se realizó en la Estación Experimental de la Facultad de Agronomía en Salto, en el paraje de San Antonio, departamento de Salto, latitud 31° 25'5", longitud 57° 55' W Altitud 47m, en una superficie de 8 ha del potrero No. 46 de dicha Estación Experimental.

##### 3.1.2. Suelos

El sitio experimental se encuentra en una zona de contacto entre la formación Fray Bentos y Arapey.

Del área experimental se tomaron muestras de suelo con el taladro para determinar que tipos y perfiles de suelos presentaba el potrero 46. Debe remarcarse que este muestreo no se realizó de manera sistematizada, por lo que no representa el porcentaje de cada tipo de suelos en el área experimental, pero muestra un panorama general de los suelos en los que transcurrió el ensayo.

En las muestras realizadas los suelos predominantes son los Brunosoles éutricos típicos y haplicos, y en menor proporción los Litosoles. Los primeros se caracterizan por su alto contenido de materia orgánica, drenaje bueno a moderadamente bueno, de color oscuro; en cambio los Litosoles pueden presentar una gama más amplia de colores que va desde el pardo a los negros, éstos últimos característicos de la región de Basalto.

##### 3.1.3. Material vegetal

La vegetación presente en el sitio experimental se correspondería a la de un campo virgen del área de Basalto, dominada durante el invierno y primavera por especies de gramíneas invernales como *Stipa setigera*, *Bromus auleticus*, *Piptochaetium stipoides*, *Piptochaetium montevidense* y *Briza subaristata*; y especies estivales como *Aristida uruguayensis*, *Paspalum notatum*, *Paspalum plicatulum*, *Paspalum dilatatum*, *Coelorhachis selleana*, *Schizachyrium microstachyum*, *Sporobolus indicus*, *Axonopus affinis*,

*Panicum milloides*, *Bothriochloa laguroides* y *Andropogon ternatus*. Las leguminosas nativas halladas en el área experimental fueron *Desmodium incanum*, *Lathyrus sp.* El grado de enmalezamiento era bajo y estaba compuesto principalmente por cardilla (*Eryngium horridum*) y carqueja (*Baccharis trimera*).

#### 3.1.4. Información meteorológica

La información meteorológica del año 2004 proviene del Parque Agrometeorológico instalado en la Estación Experimental, ubicado a 3 km del sitio experimental.

Las temperaturas medias mensuales registradas durante los meses en los que se llevó a cabo el ensayo fueron similares a las normales climatológicas.

En cambio, se observa que las precipitaciones ocurridas son menores a las normales meteorológicas. Cabe destacar que durante el mes de marzo (mes donde se concentró mayormente el ensayo) las precipitaciones ocurridas equivalen a un 37 % de las registradas como normales climatológicas.

En relación a las precipitaciones ocurridas en el mes de abril, en la primera quincena fueron de 52,5 mm, mientras que en la segunda quincena acumularon 118,9 mm.

**Cuadro No. 2.** Datos meteorológicos del sitio experimental en los meses de enero a abril de 2004 e información climática para Salto

Mes /Fecha	Temperatura media mensual (°C)		Precipitación mensual (mm)	
	2004	1961-1990(*)	2004	1961-1990(*)
Enero	25,0	25,0	39,8	116
Febrero	22,8	23,9	72,4	132
Marzo	22,7	21,6	56,9	153
Abril	19,2	18,1	171,4	125

(\*) URUGUAY. MDN. DNM (1996)

El balance hídrico climático y seriado se realizó empleando la metodología de Thornthwite y Mather (1995), la misma es igualmente válida para los balances mensuales, decádicos y semanales.

### 3.2. TRATAMIENTOS Y PERÍODO EXPERIMENTAL

Sobre la base de un diseño en parcelas completamente aleatorizadas, con 2 repeticiones en el espacio se compararon 2 niveles de fertilización nitrogenada: 0 Kg N/ha (N0) y 100 Kg N/ha (N100). La fertilización se fraccionó en 2 aplicaciones en otoño y fines de invierno. El 5 de mayo de 2003 se aplicaron 100 Kg/ha de un fertilizante binario (20-40-40-0) y 57 Kg/ha de Urea. El 12 de septiembre del mismo año se fertilizó con 100 Kg/ha de Urea. En total en el año 2003 los tratamientos fertilizados recibieron una dosis de 40 Unidades de P/ha y 92 Unidades de N/ha. El efecto residual de dicha fertilización es el que se evaluó en el período experimental.

La superficie total del sitio experimental (potrero 46) esta dividida en 4 parcelas o repeticiones con una superficie promedio de 2 ha cada una, y a su vez cada una de estas fraccionadas en 2 subparcelas.

Se realizó un período experimental de mediciones intensivas llevadas a cabo desde el 4/3/2004 al 16/4/2004, período que según el calendario definido para pasturas, se corresponde con el otoño.

Previo al inicio del experimento se realizó la elección de las gramíneas perennes invernales dominantes en el potrero, sobre las que se realizaron las determinaciones de los flujos de tejido foliar y de las principales variables morfogénicas y estructurales. Para dicha elección se utilizó la información del muestreo realizado en invierno de 2002, en el cual se analizó la contribución específica por presencia, estimando el aporte visual de cada especie a la biomasa aérea. Se trabajó con las siguientes especies: *Bromus auleticus*, *Stipa setigera*, que en conjunto aportaron en dicho muestreo el 33% de la biomasa verde <sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup>. Saldanha, S. 2002. Com. personal

### 3.2.1. Marcación de los individuos

La marcación de los individuos se realizó mediante la utilización de un anillo efectuado con cable telefónico coloreado que se sujetó al suelo mediante un pequeño gancho de alambre. Se trabajó con 16 transectas para cada especie con 10 individuos cada una, totalizando 320 macollos. En el total del período (4/3 al 16/4/2004) se trabajó con 160 individuos de *Stipa setigera* y 160 individuos de *Bromus auleticus*.

## 3.3. DETERMINACIÓN EN PASTURAS

### 3.3.1. Forraje disponible

Previo al inicio y un mes luego de la finalización del período de mediciones intensivas se midió el forraje disponible (Kg MS/ha) mediante el método de rendimientos comparativos (Haydock y Shaw, 1975).

### 3.3.2. Crecimiento

En el período 12/1 al 20/5/2004 se midió el crecimiento del forraje a intervalos de aproximadamente 45 días, utilizando dos jaulas móviles de exclusión al pastoreo por repetición. En cada una se cortaron al ras del suelo cuatro marcos de 20 por 50 centímetros, secando el material en estufa a 63°C y determinando el peso seco (Frame, 1993b).

### 3.3.3. Altura de la cubierta

Durante el período experimental de mediciones detalladas, con una frecuencia semanal, se realizaron en cada repetición 50 mediciones de altura de la pastura. Para registrar la altura de la cubierta vegetal se utilizó un bastón graduado cada 0,5 cm, sobre el cual se desplaza una ventana de 1\*1 cm en sentido vertical, hasta alcanzar el primer toque con el tejido verde de la pastura sin disturbar (Barthram, 1986).

### 3.3.4. Mediciones detalladas en el campo

Durante el período experimental con intervalos de 3 a 4 días entre determinaciones sucesivas se hicieron las siguientes mediciones en *Stipa* y

Bromus: longitud de lámina verde, en hojas expandidas desde la lígula hasta la punta de la lámina o hasta el borde del área senescente o consumido, en hojas en expansión desde la punta hasta la lígula de la hoja expandida anterior (Arosteguy 1982, Davies 1993), aparición de macollos y de hojas.

Cuando la hoja había sido defoliada, se le realizaba una pequeña incisión longitudinal como forma de detectar futuras defoliaciones.

Se utilizaron códigos que hacían referencia a si la hoja se encontraba en estado senescente, consumida, en elongación o madura (lígula visible).

### 3.3.5. Muestreos destructivos

#### 3.3.5.1. Densidad y peso de individuos

Durante el período experimental se extrajeron 16 panes de suelo de 20\*20 cm de lado y 15 cm de profundidad en cada una de las cuatro repeticiones.

En cada pan se realizó una clasificación de los componentes, contando el número de macollos de las diferentes gramíneas, agrupadas en Stipa, Bromus, otras gramíneas invernales, gramíneas estivales, e individuos de malezas y leguminosas. En el caso de éstos dos últimos componentes se decidió agruparlos en una sola categoría dado el bajo número de leguminosas encontradas en el experimento.

El material se secó en estufa a 63°C durante 48 horas y se peso el material seco, para poder luego determinar el peso promedio de un individuo de cada especie en estudio.

Para las especies evaluadas se determinó la cantidad de individuos por superficie (individuos/m<sup>2</sup>) en cada repetición.

#### 3.3.5.2. Tipo de individuo, peso específico y ancho foliar

Adicionalmente se cosecharon individuos al azar de las especies evaluadas en cada repetición, los mismos se agruparon en función del tamaño y se determinó la proporción de cada tipo y el peso promedio del individuo según su tamaño. Sobre una submuestra del material colectado se midió, el largo de lámina en hojas maduras, lo mismo se realizó en hojas en elongación, en ambos casos se midieron 30 metros de hoja, para determinar el peso específico de la hoja (mg/mm), también se midió el ancho foliar máximo (mm) en la parte media de la lámina en 50 hojas en elongación.

### 3.4. MEDICIONES EN ANIMALES Y CONDUCCIÓN DEL PASTOREO

Se buscó mantener los tratamientos a niveles similares y relativamente estables de altura mediante pastoreo con presencia continua de animales alternando entre 2 subparcelas y carga animal variable. Para ello se utilizaron las mediciones semanales de altura efectuadas en cada repetición, ajustando periódicamente la carga animal, agregando o sacando animales volantes para mantener la altura de la cubierta vegetal dentro de determinado rango (5 a 12 cm) en las diferentes repeticiones.

#### 3.4.1. Animales

Se utilizaron terneras en crecimiento de raza Hereford (raza británica) que ingresaron al experimento en abril de 2003 haciendo una estratificación de peso vivo e identificándolos individualmente mediante caravanas. El día 12 de febrero de 2004, previo al inicio del ensayo, los animales tenían un peso promedio de  $280 \pm 19,2$  kg. En ese momento se definió el número de animales fijos mínimo (3) que podía sostener la pastura durante dicho período, utilizándose además animales volantes para mantener la pastura en niveles similares de altura entre tratamientos.

#### 3.4.2. Determinaciones en animales

Cada 20-30 días, se realizaron pesadas sin desbaste y en el mismo horario de los animales fijos, mientras que los animales volantes se pesaron al ingreso y salida de la respectiva subparcela. Dentro del período experimental las fechas de las pesadas de los animales fijos fueron las siguientes: 12/2/04, 10/3/04, 26/3/04.

La ganancia diaria de peso por individuo se estimó por regresión lineal del peso vivo en el tiempo, en los animales fijos.

La carga animal se expresó en animales/ha y en Kg de peso vivo/ha. A partir de la ganancia diaria de peso por individuo y la carga total en animales por hectárea se calculó los kilogramos de peso vivo producidos por unidad de superficie.

Durante el período experimental se realizaron dosificaciones contra parásitos internos y externos y control de enfermedades (ver calendario sanitario en anexos).

### 3.5. ESTIMACIÓN DE FLUJOS DE TEJIDO FOLIAR

#### 3.5.1. Tasa de elongación foliar

La tasa de elongación foliar (cm/macollo/día) se determina a partir de los incrementos positivos en el largo foliar de los individuos entre dos mediciones sucesivas.

Para este cálculo se excluye las hojas en crecimiento que fueron defoliadas en el intervalo entre dos mediciones.

#### 3.5.2. Tasa de senescencia foliar

Para cada una de las especies evaluadas se calculó la tasa de senescencia foliar (cm/macollo/día) a partir de las variaciones negativas en el largo foliar de los individuos en el intervalo de tiempo entre dos medidas sucesivas. Se excluye la pérdida de material foliar por defoliación.

#### 3.5.3. Elongación neta foliar

La elongación neta foliar diaria (cm/macollo/día) se estimó a partir de la diferencia entre la tasa de elongación foliar y la tasa de senescencia foliar.

#### 3.5.4. Consumo foliar

El consumo foliar diario (cm/macollo/día) se estimó a partir de la pérdida de material foliar en las hojas que fueron consumidas.

#### 3.5.5. Estimación del flujo de tejido por individuo y por unidad de superficie

Con los valores de tasa en términos de largo foliar y el peso seco del centímetro de lámina se calcularon las tasas en términos de peso (crecimiento bruto, senescencia, crecimiento neto y consumo individual, expresados en mg MS/macollo/día). Para el crecimiento bruto se utilizó el peso gravimétrico de las hojas en elongación, para el cálculo de senescencia, el peso gravimétrico de las hojas maduras y para el consumo se determinó que porcentaje de las hojas consumidas se encontraban en elongación y cuantas maduras y se multiplicó por el peso gravimétrico correspondiente a cada una de ellas. Posteriormente en función de la densidad de macollos se determinó para cada especie las tasas diarias por unidad de superficie (kg MS/ha/día) en términos de crecimiento bruto, senescencia, crecimiento neto y consumo.

### 3.6. PATRONES DE DEFOLIACIÓN

Se establecieron los patrones de defoliación para cada especie evaluada, estimando la frecuencia e intensidad de la defoliación a nivel de individuo y por categoría de edad de la hoja.

#### 3.6.1. Frecuencia

La frecuencia de defoliación a nivel del individuo y a nivel de cada hoja en función de su edad se calculó a través de la tasa de defoliación promedio, que se estimó como el número de eventos de defoliación (en el macollo ó en cada hoja) ocurridos durante el período de mediciones, dividido el total de macollos-días u hojas-días medidos. A nivel del individuo la inversa de la frecuencia de defoliación corresponde al intervalo de defoliación promedio por individuo, expresado en días (Hodgson, 1966).

#### 3.6.2. Intensidad

La intensidad de defoliación a nivel de individuo se expresó por el porcentaje promedio de defoliación por individuo, calculado por la relación

entre la longitud de las hojas cosechadas en un evento de defoliación y la longitud total del individuo antes de la defoliación (Hodgson y Ollerenshaw, 1969).

La intensidad de defoliación a nivel de hoja se expresó por el porcentaje promedio de defoliación calculado como la proporción de hoja cosechada en cada evento de defoliación respecto a la longitud de la hoja previo a la defoliación (Mazzanti y Lemaire, 1994b).

### 3.7. EFICIENCIA DE LA UTILIZACIÓN DE FORRAJE

La eficiencia de utilización del crecimiento del forraje se expresa en porcentaje y se calcula para cada especie evaluada.

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

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

EPUF: eficiencia potencial de utilización de forraje

CBF: crecimiento bruto de forraje

FS: forraje senescente

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

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

EAUF: eficiencia actual de utilización de forraje

CBF: crecimiento bruto de forraje

CON: consumo de forraje

### 3.8. ESTIMACIÓN DE LAS VARIABLES MORFOGENÉTICAS

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

### 3.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

A partir de la información generada de las mediciones realizadas en el campo para la determinación de las tasas de los distintos flujos y las variables morfogénicas y estructurales se utilizó un programa desarrollado en el paquete estadístico SAS por el Grupo de Producción y Utilización de Pasturas de la Unidad Integrada de Balcarce.

Los análisis estadísticos se realizaron mediante el paquete SAS (1989), por medio del análisis de varianza, comparando las medias por el test de Tukey, testeando el efecto del tratamiento y la especie y la interacción entre ambos.

Para la evaluación de las variables morfogénicas y estructurales de la pastura, los flujos de tejido foliar, consumo animal y sus componentes y la eficiencia de utilización de forraje, se utilizó el siguiente modelo:

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

Donde:

$Y_{ijk}$  = variable evaluada

$\mu$  = media general

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

$\alpha_j$  = efecto del nitrógeno  $j = 1$ : 0 kg N/ha;  $2$ : 100 kg N/ha

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

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

Para las variables de producción animal (ganancia media diaria, carga animal, productividad secundaria) y para las variables de la pastura (crecimiento, disponibilidad de forraje y altura) se utilizó el siguiente modelo:  
$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij}$$

Donde:

$Y_{ij}$  = variable evaluada

$\mu$  = media general

$\alpha_i$  = efecto del nitrógeno  $i = 1: 0 \text{ kg N/ha}; 2: 100 \text{ kg N/ha}$

$\epsilon_{ij}$  = error experimental

También se realizó análisis de regresión lineal simple entre la tasa de consumo por superficie y porcentaje de hoja promedio defoliada por individuo. Los parámetros de los modelos de regresión se compararon utilizando variables Dummy (Berenson et al., 1983). La relación entre intervalo de defoliación por individuo con la carga animal (en Kg PV/ha) se analizó mediante un modelo exponencial.

Se utilizó el siguiente criterio para las diferencias entre medias: si  $p \leq 0,01$  se indica diferencias muy significativas, si  $0,01 < p \leq 0,05$  se indica diferencias significativas, si  $0,05 < p \leq 0,10$  se indica diferencias significativas al 10 %, si  $p > 0,10$  las diferencias no son significativas.

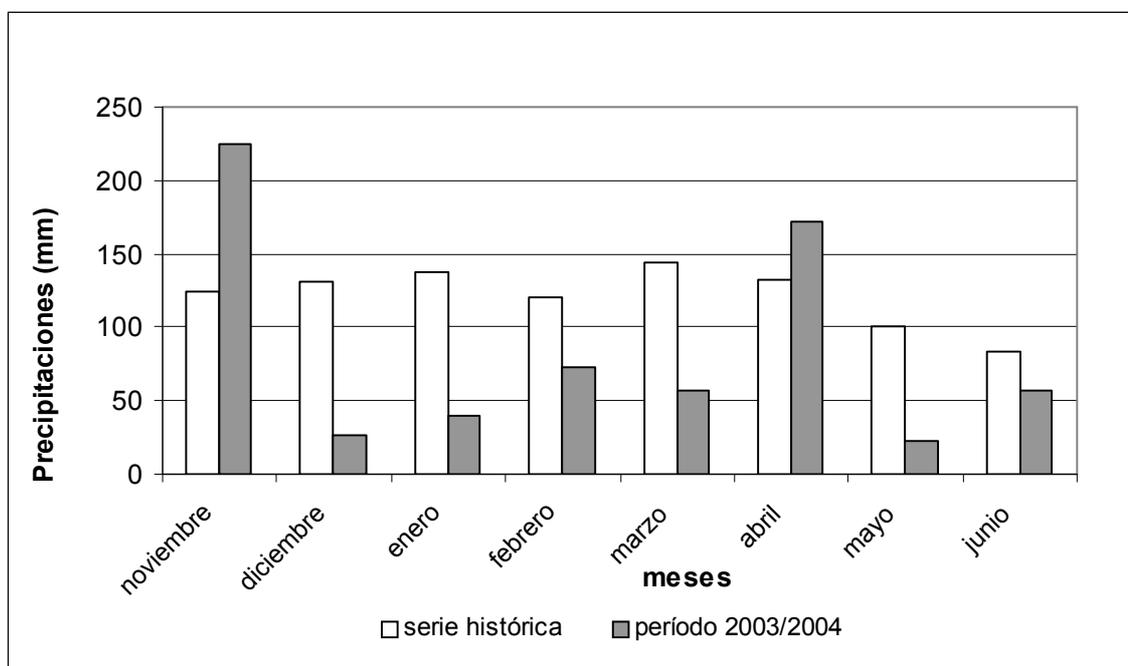
## 4. RESULTADOS

### 4.1. CONDICIONES EXPERIMENTALES GENERALES

#### 4.1.1. Condiciones meteorológicas

Durante el período de tiempo en que transcurre el ensayo las temperaturas registradas no difieren de los valores medios para la zona y el momento del año.

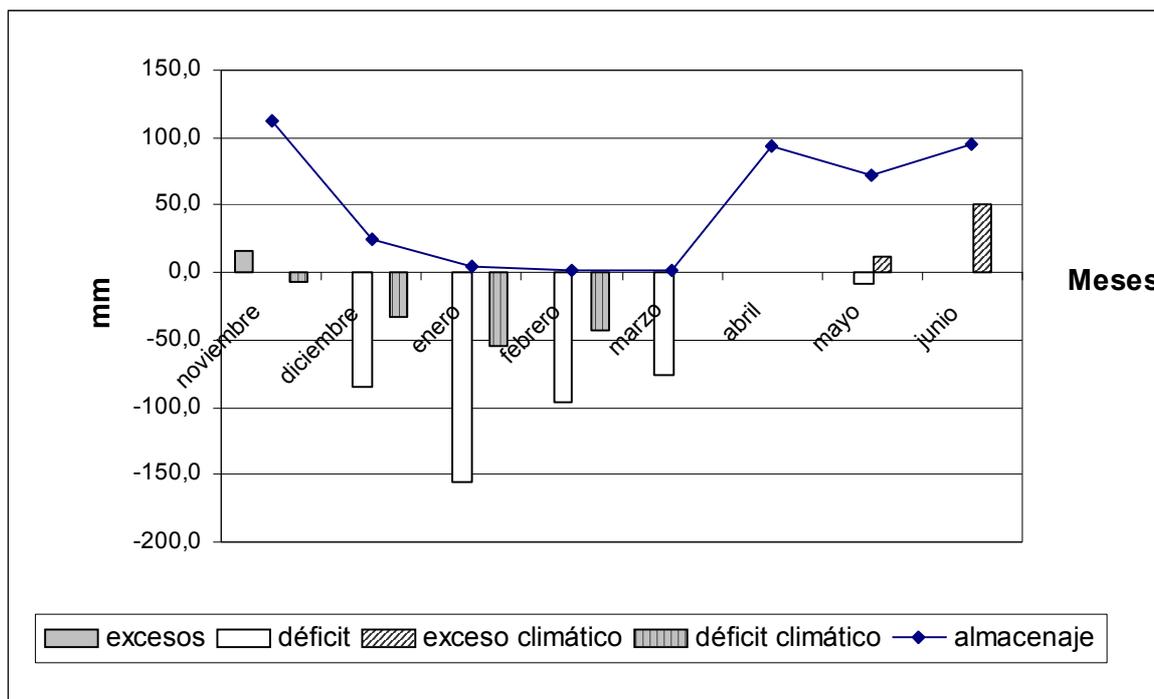
Al comparar las precipitaciones del período noviembre 2003 a junio 2004 se observa que los niveles registrados fueron 30 % menores. Sólo se registraron valores superiores al promedio histórico en el mes de noviembre (45%) y abril (37 %). A partir de noviembre y hasta el mes de marzo, mes en que se inicia el ensayo, las precipitaciones son 62 % menores al promedio de 30 años. Esta situación de escasas precipitaciones no se revierte totalmente inclusive luego de finalizado el experimento. Si bien en el mes de abril los valores de lluvia superaron al promedio histórico, posteriormente en mayo y junio volvieron a ser 55 % inferiores al mismo.



**Gráfico No. 1.** Registro mensual de precipitaciones para el período noviembre 2003-junio 2004 y el registro promedio de 30 años

La comparación entre los balances hídricos climático y seriado comienza a hacerse a partir del mes de noviembre de 2003, dado que es el primer mes previo a comenzar el ensayo en que el suelo logra cubrir la lámina o alcanzar niveles de agua a capacidad de campo, el valor de la misma se toma como 112,5 mm y 53,0 mm para el brunosol y litosol respectivamente, valor que se obtiene a partir de los muestreos de suelo realizados en el sitio experimental.

En el caso del brunosol a partir de las precipitaciones registradas y de la ETP resulta que la diferencia entre P-ETP es positiva y de 63,7 mm en noviembre y desde diciembre a marzo los valores son negativos, llegando a un desbalance de 174,2 mm.

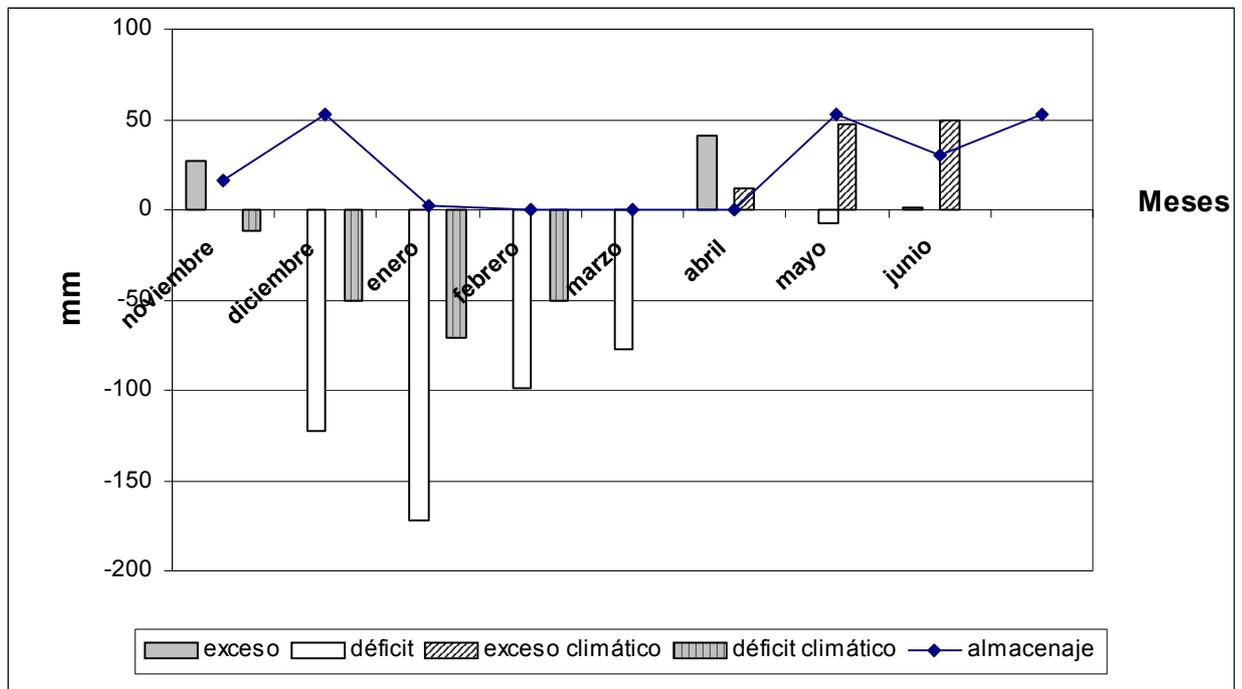


**Gráfico No. 2.** Comparación de déficit y excesos a partir del balance hídrico climático y balance hídrico seriado, y el almacenaje para este último en un Brunosol eútrico

En el mes de noviembre el suelo logra almacenar 112,5 mm de agua a partir de las precipitaciones registradas y tener excesos de 15,9 mm, estos valores superan los del promedio de 30 años.

En el promedio histórico en los meses de verano y hasta el mes de marzo existe déficit hídrico, comenzando a haber excesos a partir del mes de mayo. En el período analizado, luego de completarse la lámina en noviembre, se generan déficit desde diciembre y hasta mayo, llegando a valores de almacenaje de tan solo 1,1 mm en plena etapa de medición.

En el gráfico se visualiza para un litosol las variables déficit, exceso y almacenaje en las condiciones del experimento y el comportamiento según el Balance Climático.



**Gráfico No. 3.** Comparación de déficit y excesos a partir del balance hídrico climático y balance hídrico seriado, y el almacenaje para este último en un Litosol

Para este suelo en el mes de noviembre las precipitaciones superan lo que se pierde por evapotranspiración, permitiendo que la lámina de 53 mm se complete.

Durante los cuatro meses que le sucedieron el almacenaje fue nulo, razón por la cual lo realmente evapotranspirado fue de igual magnitud que lo

que llovió, y los valores de déficit hídrico registrados son severos, alcanzando los 123 mm en diciembre y 172 mm en enero. La recuperación de los niveles de agua en el suelo comienza a darse a partir del mes de abril, mes en el cual las precipitaciones posibilitan nuevamente llegar a niveles de capacidad de campo y generar un exceso de 40 mm.

Los balances hídricos climáticos para brunosol y litosol se presentan en anexos.

#### 4.1.2. Tasas de crecimiento

En el cuadro No. 4 se presentan las tasas de crecimiento de forraje durante dos períodos: mediados a fin de verano (Período 1) e inicios del otoño (Período 2), y en el promedio de ambos.

**Cuadro No. 3.** Tasas de crecimiento de forraje (kg MS/ha/día) en el período estival y otoñal y en el promedio de ambos períodos

	N0	N100	P
Crecimiento de forraje Período 1	17,2	16,6	<b>0,614</b>
Crecimiento de forraje Período 2	11,6	9,8	<b>0,082</b>
Crecimiento de forraje Promedio	14,4	13,1	<b>0,278</b>

P = probabilidad

Período 1: 12/1 al 17/3/2004

Período 2: 17/3 al 20/5/2004

La tasa de crecimiento de forraje no presentó diferencias significativas para el período estival (Período 1), en cambio fue significativamente menor al 10% en N100 respecto a N0 en el período otoñal (Período 2).

#### 4.1.3. Forraje disponible

En el cuadro No. 5 se presenta el forraje disponible en dos fechas que corresponderían al momento previo y un mes posterior al desarrollo del período experimental.

**Cuadro No. 4.** Disponibilidad de forraje (kg MS/ha) al inicio y fin del ensayo

	N0	N100	P
Forraje disponible Fecha 1	2282	2453	<b>0,316</b>
Forraje disponible Fecha 2	1769	1672	<b>0,665</b>
Forraje disponible promedio	2026	2062	<b>0,790</b>

P = probabilidad

Fecha 1: 16/2/2004

Fecha 2: 20/5/2004

No se observaron diferencias significativas para ninguna de las dos fechas y en el promedio de las mediciones en la cantidad de forraje disponible (kg MS/ha).

#### 4.1.4. Altura del tapiz

Durante el período del ensayo la variable altura promedio no presentó diferencias significativas entre los tratamientos para ninguna de las 12 fechas consideradas.

**Cuadro No. 5.** Efecto de la fertilización nitrogenada sobre la altura del tapiz (cm) para 12 fechas durante el período de medición

FECHA	N0	N100	P	PROMEDIO
11/02/04	8,5	7,3	<b>0,104</b>	7,9
18/02/04	8,8	8,4	<b>0,564</b>	8,6
25/02/04	8,2	7,6	<b>0,301</b>	7,9
04/03/04	7,1	6,6	<b>0,473</b>	6,8
10/03/04	7,1	7,1	<b>0,888</b>	7,1
17/03/04	6,6	5,9	<b>0,173</b>	6,3
24/03/04	5,6	5,0	<b>0,471</b>	5,3
31/03/04	5,3	5,1	<b>0,779</b>	5,2
7/04/04	5,0	4,9	<b>0,876</b>	5,0
14/04/04	5,2	4,6	<b>0,258</b>	4,9
21/04/04	6,2	5,5	<b>0,462</b>	5,8
28/04/04	7,1	6,8	<b>0,364</b>	6,9

P = probabilidad

En anexos se presenta la evolución de la altura en cada repetición (Anexo No. 7)

A su vez, tampoco se observaron diferencias significativas en el valor de altura promedio para los diferentes tratamientos en el total del período indicado.

**Cuadro No. 6.** Efecto de la fertilización nitrogenada sobre la altura del tapiz promedio (cm) durante el período de mediciones (11/02/04 al 28/04/04)

	N0	N100	P	PROMEDIO
Altura	6,72	6,24	<b>0,271</b>	6,48

P = probabilidad

#### 4.2. EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN LAS TASAS FOLIARES

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

**Cuadro No. 7.** Niveles de significancia de los análisis de varianza para la tasa de elongación foliar, tasa de senescencia foliar, tasa de elongación neta foliar y consumo foliar en función de los factores considerados

Fuente de variación	TEF	TSF	TENF	TCF
Nivel de N	*	*	n.s	n.s
Especie	*	**	n.s	n.s
Nivel de N* Especie	n.s	n.s	n.s	n.s

TEF = tasa de elongación foliar en cm/macollo/día

TSF = tasa de senescencia foliar en cm/macollo/día

TENF = tasa de elongación neta foliar en cm/macollo/día

TCF = tasa de consumo foliar en cm/macollo/día

n.s=  $p > 0,10$

\* =  $p \leq 0,10$

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

En la tasa de elongación foliar y tasa de senescencia foliar existió efecto significativo del nivel de nitrógeno y la especie, sin interacción entre ambos.

Para la tasa de elongación neta foliar y la tasa de consumo foliar no se registraron efectos significativos del nivel de nitrógeno o especie, ni interacción entre ambas.

#### 4.2.1. Tasa de elongación foliar

En el promedio de ambas especies la tasa de elongación foliar fue significativamente superior al 10 % en N100 sobre N0, en una magnitud del 12,3 %.

La tasa de elongación foliar para *Bromus auleticus* presentó diferencias significativas entre N0 y N100, en cambio no ocurrió lo mismo en el caso de *Stipa setigera*.

En el promedio de ambos niveles de fertilización, la tasa de elongación foliar difirió significativamente al 10 %, siendo un 12,9 % mayor en *Bromus* que en *Stipa*; sin embargo no existieron diferencias significativas en la tasa de elongación foliar entre *Bromus auleticus* y *Stipa setigera* dentro de los tratamientos de fertilización.

**Cuadro No. 8.** Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre la tasa de elongación foliar (cm/macollo/día).

Especie/ Tratamiento	N0	N100	P	Promedio de los niveles de N por especie
<i>B. auleticus</i>	0,17	0,20	<b>0,049</b>	0,18
<i>S. setigera</i>	0,16	0,17	<b>0,604</b>	0,12
P	<b>0,133</b>	<b>0,212</b>		<b>0,075</b>
Promedio de las especies por nivel de N	0,16	0,18	<b>0,091</b>	

P = probabilidad

##### 4.2.1.1. Relación entre la tasa de elongación foliar y la suma térmica

En el cuadro No. 10 se presenta las ecuaciones de regresión entre la tasa de elongación foliar y la suma térmica.

**Cuadro No. 9.** Efecto de la fertilización nitrogenada y la especie en la relación entre la tasa de elongación foliar y la suma térmica

Especie/ Tratamiento	Ecuación lineal	Coefficiente de determinación	P
N0 <i>B. auleticus</i>	TEF = 2,814 + 0,006 * ST	0,71	<b>0,0004</b>
N0 <i>S. setigera</i>	TEF = 2,319 + 0,006 * ST	0,72	<b>0,0002</b>
N100 <i>B. auleticus</i>	TEF = 3,106 + 0,007 * ST	0,71	<b>0,0004</b>
N100 <i>S. setigera</i>	TEF = 2,752 + 0,006 * ST	0,69	<b>0,0004</b>

TEF = tasa de elongación foliar en cm/macollo/día

P = probabilidad

Las ecuaciones de regresión lineal entre la tasa de elongación foliar y la suma térmica no difirieron entre ambos tratamientos de fertilización nitrogenada en *B. auleticus*, tanto en la ordenada al origen ( $p=0,6189$ ) como en la pendiente ( $p=0,8144$ ); en *S. setigera* tampoco difirieron en la ordenada ( $p=0,4600$ ) y en la pendiente ( $p=0,8578$ ).

#### 4.2.2. Tasa de senescencia foliar

La tasa de senescencia foliar fue 15,3 % superior en N100 respecto a N0 en el promedio de ambas especies, no registrándose diferencias significativas entre tratamientos de fertilización dentro de cada especie.

La tasa de senescencia foliar fue 30 % superior en Bromus respecto a Stipa en el promedio de ambos niveles de fertilización, también fue significativamente superior al 10 % en *B. auleticus* respecto a *S. setigera* en N0 y no difirió entre especies en N100.

**Cuadro No. 10.** Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre la tasa de senescencia foliar (cm/macollo/día)

Especie/ Tratamiento	N0	N100	P	Promedio de los niveles de N por especie
<i>B. auleticus</i>	0,2	0,3	<b>0,177</b>	0,3
<i>S. setigera</i>	0,2	0,2	<b>0,361</b>	0,2
P	<b>0,062</b>	<b>0,109</b>		<b>0,012</b>
Promedio de las especies por nivel de N	0,2	0,3	<b>0,089</b>	

P = probabilidad

#### 4.2.2.1. Relación entre la tasa de senescencia foliar y la suma térmica

En el cuadro No. 12 se presenta las ecuaciones de regresión entre la tasa de senescencia foliar y la suma térmica.

**Cuadro No. 11.** Efecto de la fertilización nitrogenada y la especie en la relación entre la tasa de senescencia foliar y la suma térmica

Especie/ Tratamiento	Ecuación lineal	Coefficiente de determinación	P
N0 <i>B. auleticus</i>	$TSF = - 0,031 + 0,011 * ST$	0,99	<b>0,0001</b>
N0 <i>S. setigera</i>	$TSF = - 0,234 + 0,009 * ST$	0,96	<b>0,0001</b>
N100 <i>B. auleticus</i>	$TSF = - 0,436 + 0,012 * ST$	0,99	<b>0,0001</b>
N100 <i>S. setigera</i>	$TSF = - 0,194 + 0,009 * ST$	0,95	<b>0,0001</b>

TSF = tasa de senescencia foliar en cm/macollo/día

P = probabilidad

Las ecuaciones de regresión lineal entre la tasa de senescencia foliar y la suma térmica no difirieron entre ambos tratamientos de fertilización nitrogenada en *S. setigera*, tanto en la ordenada al origen ( $p=0,2382$ ) como en la pendiente ( $p=0,4244$ ); en *B. auleticus* no hubieron diferencias en la ordenada ( $p=0,1197$ ) pero si en la pendiente ( $p=0,0479$ ).

#### 4.2.3. Tasa de elongación neta foliar

La tasa de elongación neta foliar fue negativa, no presentó diferencias entre tratamientos de fertilización en el promedio de ambas especies o entre especies en el promedio de los niveles de fertilización. Sólo se dieron diferencias significativas entre Bromus y Stipa para N0.

**Cuadro No. 12.** Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre la tasa de elongación neta foliar (cm/macollo/día)

Especie/ Tratamiento	N0	N100	P	Promedio de los niveles de N por especie
<i>B. auleticus</i>	-0,10	-0,09	<b>0,646</b>	-0,08
<i>S. setigera</i>	-0,03	-0,05	<b>0,721</b>	-0,04
P	<b>0,035</b>	<b>0,412</b>		<b>0,119</b>
Promedio de las especies por nivel de N	-0,05	-0,07	<b>0,575</b>	

P = probabilidad

#### 4.2.3.1. Relación entre la tasa de elongación neta foliar y la suma térmica

En el cuadro No. 14. se presenta las ecuaciones de regresión entre la tasa de elongación neta foliar y la suma térmica.

**Cuadro No. 13.** Efecto de la fertilización nitrogenada y la especie en la relación entre la tasa de elongación neta foliar y la suma térmica

Especie/ Tratamiento	Ecuación lineal	Coefficiente de determinación	P
N0 <i>B. auleticus</i>	TENF = 2,845 - 0,005 * ST	0,61	<b>0,0014</b>
N0 <i>S. setigera</i>	TENF = 2,552 - 0,003 * ST	0,41	<b>0,0176</b>
N100 <i>B. auleticus</i>	TENF = 3,542 - 0,005 * ST	0,57	<b>0,0028</b>
N100 <i>S. setigera</i>	TENF = 2,946 - 0,004 * ST	0,44	<b>0,0138</b>

TENF = tasa de elongación neta foliar en cm/macollo/día

P = probabilidad

Las ecuaciones de regresión lineal entre la tasa de elongación neta foliar y la suma térmica no difirieron entre ambos tratamientos de fertilización nitrogenada en *B.auleticus*, tanto en la ordenada al origen ( $p=0,7002$ ) como en la pendiente ( $p=0,7803$ ); en *S. setigera* tampoco difirieron en la ordenada ( $p=0,9115$ ) y en la pendiente ( $p=0,8112$ ).

#### 4.2.4. Consumo foliar

En el consumo foliar (cm/macollo/día) no se encontraron diferencias significativas en la tasa de consumo foliar en el promedio de las especies o en el promedio de los niveles de fertilización.

Tampoco existieron diferencias significativas entre tratamientos de fertilización dentro de cada especie o entre especies dentro de cada nivel de nitrógeno.

**Cuadro No. 14.** Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el consumo foliar (cm/macollo/día)

Especie/ Tratamiento	N0	N100	P	Promedio de los niveles de N por especie
<i>B. auleticus</i>	0,1	0,2	<b>0,429</b>	0,2
<i>S. setigera</i>	0,2	0,2	<b>0,861</b>	0,2
P	<b>0,689</b>	<b>0,884</b>		<b>0,778</b>
Promedio de las especies por nivel de N	0,2	0,2	<b>0,478</b>	

P = probabilidad

#### 4.3. EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN LAS TASAS POR INDIVIDUO

En el cuadro se presenta el nivel de significancia de los principales efectos y su interacción para las tasas por individuo (mg MS/macollo/día).

No se encontraron efectos significativos ni del nivel de N ni de la especie en las características evaluadas.

**Cuadro No. 15.** Significancia de los análisis de varianza para el crecimiento bruto, senescencia, crecimiento neto y consumo individual en función de los factores considerados

Fuente de variación	TCR	TS	TCN	TCON
Nivel N	n.s	n.s	n.s	n.s
Especie	n.s	n.s	n.s	n.s
Especie * Nivel N	n.s	n.s	n.s	n.s

TCR = tasa de crecimiento bruto en mg MS/macollo/día

TS = tasa de senescencia en mg MS/macollo/día

TCN = tasa de crecimiento neto en mg MS/macollo/día

TCON = tasa de consumo en mg MS/macollo/día

n.s=  $p > 0,10$

#### 4.3.1. Crecimiento bruto individual

No hubo diferencias significativas entre tratamientos de fertilización en el crecimiento bruto individual en el promedio de ambas especies. El crecimiento bruto individual para Bromus fue significativamente mayor (37 %) en N100 que en N0, no ocurriendo lo mismo para Stipa.

El crecimiento bruto individual no difirió entre especies en ambos niveles de fertilización y en el promedio entre ellos.

**Cuadro No. 16.** Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el crecimiento bruto individual (mg MS/macollo/día)

Especie/ Tratamiento	N0	N100	P	Promedio de los niveles de N por especie
<i>B. auleticus</i>	0,2	0,3	<b>0,053</b>	0,3
<i>S. setigera</i>	0,2	0,3	<b>0,747</b>	0,3
P	<b>0,207</b>	<b>0,932</b>		<b>0,322</b>
Promedio de las especies por nivel de N	0,2	0,3	<b>0,169</b>	

P = probabilidad

#### 4.3.2. Senescencia individual

La tasa de senescencia individual no difirió entre tratamientos de fertilización en el promedio de ambas especies. La senescencia individual difirió significativamente al 10 % entre tratamientos en Stipa, siendo 3 % superior en N100 respecto a N0, pero no difirió en Bromus.

La tasa de senescencia individual no difirió entre especies en ambos niveles de fertilización y en el promedio entre ellos.

**Cuadro No. 17.** Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre la senescencia individual (mg MS/macollo/día)

Especie/ Tratamiento	N0	N100	P	Promedio de los niveles de N por especie
<i>B. auleticus</i>	0,4	0,5	<b>0,560</b>	0,5
<i>S. setigera</i>	0,4	0,4	<b>0,075</b>	0,4
P	<b>0,648</b>	<b>0,181</b>		<b>0,216</b>
Promedio de las especies por nivel de N	0,4	0,5	<b>0,449</b>	

P = probabilidad

#### 4.3.3. Crecimiento neto individual

El crecimiento neto individual no presentó diferencias significativas entre tratamientos de fertilización en cada especie y en el promedio de ambas. Tampoco se encontraron diferencias significativas en el crecimiento neto individual entre especies en ambos niveles de fertilización y en el promedio entre ellos.

**Cuadro No. 18.** Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el crecimiento neto individual (mg MS/macollo/día)

Especie/ Tratamiento	N0	N100	P	Promedio de los niveles de N por especie
<i>B. auleticus</i>	-0,2	-0,2	<b>0,894</b>	-0,2
<i>S. setigera</i>	-0,1	-0,1	<b>0,907</b>	-0,1
P	<b>0,405</b>	<b>0,328</b>		<b>0,183</b>
Promedio de las especies por nivel de N	-0,2	-0,2	<b>0,854</b>	

P = probabilidad

#### 4.3.4. Consumo a nivel de individuo

El consumo a nivel de individuo no presentó diferencias significativas entre tratamientos de fertilización en cada especie y en el promedio de ambas.

Tampoco se encontraron diferencias significativas en el consumo a nivel de individuo entre especies en ambos niveles de fertilización y en el promedio entre ellos.

**Cuadro No. 19.** Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el consumo a nivel de individuo (mg MS/macollo/día)

Especie/ Tratamiento	N0	N100	P	Promedio de los niveles de N por especie
<i>B. auleticus</i>	0,2	0,2	<b>0,335</b>	0,2
<i>S. setigera</i>	0,3	0,3	<b>0,986</b>	0,3
P	<b>0,355</b>	<b>0,623</b>		<b>0,264</b>
Promedio de las especies por nivel de N	0,3	0,3	<b>0,555</b>	

P = probabilidad

#### 4.4. EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN LOS FLUJOS DE TEJIDO POR UNIDAD DE SUPERFICIE

En el cuadro se presenta el nivel de significancia de los principales efectos y su interacción para las tasas por unidad de superficie (kg MS/ha/día). Sólo se encontraron efectos significativos de la interacción nivel de N\* especie y del nivel de N en la tasa de crecimiento bruto por unidad de superficie.

**Cuadro No. 20.** Significancia de los análisis de varianza para crecimiento bruto, senescencia, crecimiento neto y consumo por superficie en función de los factores considerados (Kg MS/ha/día)

Fuente de variación	TCBha	TSha	TCNha	TCONha
Nivel N	*	n.s	n.s	n.s
Especie	n.s	n.s	n.s	n.s
Especie *Nivel N	*	n.s	n.s	n.s

TCBha = tasa de crecimiento bruto por hectárea en Kg MS/ha/día

TSha = tasa de senescencia por hectárea en Kg MS/ha/día

TCNha = tasa de crecimiento neto por hectárea en Kg MS/ha/día

TCONha = tasa de consumo por hectárea en Kg MS/ha/día

n.s=  $p > 0,10$

\*=  $p \leq 0,10$

#### 4.4.1. Crecimiento bruto diario por superficie

El crecimiento bruto diario por superficie (kg MS/ha/día) para Stipa fue 83% superior en N100 respecto a N0, mientras que no difirió entre tratamientos de fertilización en Bromus.

El crecimiento bruto diario por superficie (kg MS/ha/día) difirió significativamente al 10 % entre especies en N100 siendo 58 % superior en Stipa respecto a Bromus, pero no difirió en N0.

**Cuadro No. 21.** Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el crecimiento bruto por superficie (Kg MS/ha/día)

Especie/ Tratamiento	N0	N100	P	Promedio de los niveles de N por especie
<i>B. auleticus</i>	2,4	2,4	<b>0,960</b>	2,4
<i>S. setigera</i>	2,1	3,8	<b>0,043</b>	3,0
P	<b>0,651</b>	<b>0,088</b>		<b>0,195</b>
Promedio de las especies por nivel de N	2,3	3,1	<b>0,069</b>	

P = probabilidad

#### 4.4.2. Senescencia diaria por superficie

La senescencia diaria por superficie no difirió entre tratamientos de fertilización en el promedio de las especies evaluadas o en cada una de ellas.

La senescencia diaria por superficie no difirió entre especies en el promedio de los tratamientos de fertilización y en N100, presentando diferencias entre especies en N0, siendo 56 % superior en Bromus.

**Cuadro No. 22.** Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre la senescencia por superficie (Kg MS/ha/día)

Especie/ Tratamiento	N0	N100	P	Promedio de los niveles de N por especie
<i>B. auleticus</i>	4,9	4,4	<b>0,722</b>	4,7
<i>S. setigera</i>	3,2	5,8	<b>0,141</b>	4,5
P	<b>0,035</b>	<b>0,494</b>		<b>0,826</b>
Promedio de las especies por nivel de N	4,1	5,1	<b>0,283</b>	

P = probabilidad

#### 4.4.3. Crecimiento neto diario por superficie

En el siguiente cuadro se observa que el crecimiento neto diario por superficie no difirió entre tratamientos de fertilización nitrogenada en el promedio de las especies y en cada una por separado. Tampoco difirió entre especies en el promedio de los tratamientos de fertilización y en cada uno de ellos.

**Cuadro No. 23.** Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el crecimiento neto por superficie (Kg MS/ha/día)

Especie/ Tratamiento	N0	N100	P	Promedio de los niveles de N por especie
<i>B. auleticus</i>	-2,6	-2,0	<b>0,653</b>	-2,3
<i>S. setigera</i>	-1,1	-1,9	<b>0,468</b>	-1,5
P	<b>0,169</b>	<b>0,980</b>		<b>0,358</b>
Promedio de las especies por nivel de N	-1,8	-1,9	<b>0,836</b>	

P = probabilidad

#### 4.4.4. Consumo diario por superficie

No se encontraron diferencias significativas en el consumo diario por superficie entre tratamientos de fertilización en el promedio de las especies y en

Bromus, observándose si en Stipa una diferencia significativa al 10 % en el consumo de la especie, que fue 77 % mayor en N100 que en N0.

No se encontraron diferencias significativas en el consumo diario por superficie entre especies en el promedio de los tratamientos de fertilización o en cada uno de ellos.

**Cuadro No. 24.** Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el consumo por superficie (Kg MS /ha/día)

Especie/ Tratamiento	N0	N100	P	Promedio de los niveles de N por especie
<i>B. auleticus</i>	2,4	2,6	<b>0,925</b>	2,5
<i>S. setigera</i>	2,5	4,4	<b>0,072</b>	3,4
P	<b>0,981</b>	<b>0,205</b>		<b>0,209</b>
Promedio de las especies por nivel de N	2,4	3,5	<b>0,174</b>	

P = probabilidad

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

En el siguiente cuadro se presenta la relación entre el consumo diario por unidad de superficie y la carga animal promedio. Se analizó la información para cada especie en particular y en la sumatoria de ambas; esta última variable se denominó consumo general.

**Cuadro No. 25.** Relación entre el consumo diario por superficie y la carga promedio para cada especie evaluada y la sumatoria entre ambas

Especie	Ecuación lineal	Coefficiente de determinación	P
<i>B. auleticus</i>	$C = -2,981 + 0,008 * \text{carga}$	0,29	<b>0,4603</b>
<i>S. setigera</i>	$C = -6,051 + 0,013 * \text{carga}$	0,50	<b>0,2929</b>
General	$CG = -9,033 + 0,021 * \text{carga}$	0,99	<b>0,0049</b>

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

CG = consumo general por superficie (Kg MS/ha/día)

Carga = carga promedio (Kg PV/ha)

P = probabilidad

La asociación fue significativa sólo cuando se analiza la información de las especies en conjunto, explicando las variaciones de carga el 99 % del consumo de materia seca de la sumatoria de las especies.

#### 4.5. EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA SOBRE LOS PATRONES DE DEFOLIACIÓN POR CATEGORÍA DE EDAD DE LA HOJA

##### 4.5.1. Porcentaje de defoliación por categoría de edad de la hoja

En el cuadro 27 se presenta el nivel de significancia de los principales efectos y su interacción para el porcentaje de defoliación en función del tipo de hoja. No existieron efectos significativos de los factores nivel de nitrógeno y especie y su interacción para la variable considerada.

**Cuadro No. 26.** Significancia de los análisis de varianza para porcentaje de defoliación por categoría de hoja en función de los factores considerados

Fuente de variación	Porcentaje de defoliación			
	H1	H2	H3	H4
Nivel N	n.s	n.s	n.s	n.s
Especie	n.s	n.s	n.s	n.s
Especie * Nivel N	n.s	n.s	n.s	n.s

H1, H2, H3, H4 = Hoja 1, 2, 3, 4; desde la más nueva a la más vieja  
n.s=  $p > 0,10$

La severidad (porcentaje de hoja defoliada) por categoría de edad de hoja, dentro de cada nivel de fertilización nitrogenada no presentó diferencias significativas entre especies; tampoco existieron diferencias entre niveles de nitrógeno dentro de cada especie.

**Cuadro No. 27.** Porcentaje de defoliación por categoría de edad de la hoja para cada especie en cada nivel de fertilización nitrogenada

	N0				N100			
	H1	H2	H3	H4	H1	H2	H3	H4
<i>B. auleticus</i>	64	58	69	20	67	64	78	43
<i>S. setigera</i>	65	68	70	50	61	66	81	71
P	<b>0,953</b>	<b>0,166</b>	<b>0,860</b>	<b>0,634</b>	<b>0,332</b>	<b>0,892</b>	<b>0,741</b>	<b>0,643</b>

P = probabilidad

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

#### 4.5.2. Tasa de defoliación por categoría de edad de la hoja

En el cuadro se presenta el nivel de significancia de los principales efectos y su interacción para la tasa de defoliación en función del tipo de hoja. No existieron efectos significativos de los factores nivel de nitrógeno y especie y su interacción para la variable considerada.

**Cuadro No. 28.** Significancia de los análisis de varianza para tasa de defoliación por categoría de hoja en función de los factores considerados

Fuente de variación	Tasa de defoliación			
	H1	H2	H3	H4
Nivel N	n.s	n.s	n.s	n.s
Especie	n.s	n.s	n.s	n.s
Especie * Nivel N	n.s	n.s	n.s	n.s

H1, H2, H3, H4 = Hoja 1, 2, 3, 4; desde la más nueva a la más vieja  
n.s=  $p > 0,10$

La tasa de defoliación por categoría de edad de hoja, dentro de cada nivel de fertilización nitrogenada no presentó diferencias significativas entre especies; tampoco existieron diferencias entre niveles de nitrógeno dentro de cada especie.

**Cuadro No. 29.** Efecto de la especie sobre la tasa de defoliación por categoría de edad de la hoja (hojas/día) en cada nivel de fertilización nitrogenada

	N0				N100			
	H1	H2	H3	H4	H1	H2	H3	H4
<i>B. auleticus</i>	0,0119	0,0161	0,0015	0,0003	0,0110	0,0149	0,0036	0,0003
<i>S. setigera</i>	0,0095	0,0133	0,0200	0,0003	0,0116	0,1430	0,0045	0,0009
<b>P</b>	<b>0,429</b>	<b>0,421</b>	<b>0,769</b>	<b>0,996</b>	<b>0,533</b>	<b>0,701</b>	<b>0,648</b>	<b>0,358</b>

P = probabilidad

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

#### 4.5.3. Consumo por categoría de edad de la hoja en el total consumido

En el cuadro se presenta el nivel de significancia de los principales efectos y su interacción para el nivel de consumo por categoría de edad de la hoja (en porcentaje del total consumido). No existieron efectos significativos de los factores nivel de nitrógeno y especie y su interacción para la variable considerada, excepto para el factor nivel de nitrógeno en la hoja 1.

**Cuadro No. 30.** Significancia de los análisis de varianza para tasa de consumo por categoría de edad de la hoja (en porcentaje del total consumido) en función de los factores considerados

Fuente de variación	Tasa de consumo			
	H1	H2	H3	H4
Nivel N	***	n.s	n.s	n.s
Especie	n.s	n.s	n.s	n.s
Especie * Nivel N	n.s	n.s	n.s	n.s

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

n.s=  $p > 0,10$

\*\*\*= $p \leq 0,01$

El consumo por categoría de edad de la hoja (en porcentaje del total consumido) no mostró diferencias significativas entre especies dentro de cada tratamiento de fertilización nitrogenada. Sólo se encontraron diferencias significativas entre tratamientos de fertilización nitrogenada para *Bromus* en el consumo de hoja 1 ( $p=0,0380$ ).

**Cuadro No. 31.** Efecto de la especie sobre el consumo por categoría de edad de la hoja (en porcentaje del total consumido) en cada nivel de fertilización nitrogenada

	N0				N100			
	H1	H2	H3	H4	H1	H2	H3	H4
<i>B. auleticus</i>	0,382	0,515	0,098	0,0050	0,276	0,556	0,139	0,029
<i>S. setigera</i>	0,348	0,530	0,121	0,0003	0,285	0,537	0,146	0,032
<b>P</b>	<b>0,381</b>	<b>0,800</b>	<b>0,338</b>	<b>0,449</b>	<b>0,685</b>	<b>0,811</b>	<b>0,878</b>	<b>0,941</b>

P = probabilidad

#### 4.6. EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA SOBRE LOS PATRONES DE DEFOLIACIÓN POR INDIVIDUO

En el cuadro se presenta el nivel de significancia de los principales efectos y su interacción para el porcentaje promedio de defoliación, tasa de defoliación promedio e intervalo de defoliación promedio.

No existieron efectos significativos de los factores nivel de nitrógeno y especie para ninguna de las variables consideradas, sí se observa una interacción significativa del nivel de nitrógeno \* especie en el intervalo de defoliación.

**Cuadro No. 32.** Significancia de los análisis de varianza para severidad (porcentaje promedio de defoliación), tasa de defoliación promedio e intervalo de defoliación promedio

Fuente de variación	Severidad	TD Prom	ITD
Nivel N	n.s	n.s	n.s
Especie	n.s	n.s	n.s
Especie *Nivel N	n.s	n.s	*

Severidad: porcentaje promedio de defoliación por individuo

TD Prom: tasa promedio de defoliación del individuo (macollos/día)

ITD: intervalo de defoliación por individuo (días/individuo)

n.s=  $p > 0,10$

\* =  $p \leq 0,10$

##### 4.6.1. Porcentaje promedio de defoliación por individuo

En el siguiente cuadro se observa que el porcentaje promedio de defoliación por individuo no difirió entre tratamientos de fertilización nitrogenada en el promedio de las especies y en cada una por separado. Tampoco difirió entre especies en el promedio de los tratamientos de fertilización y en cada uno de ellos.

**Cuadro No. 33.** Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el porcentaje de hoja\_promedio defoliada por individuo

Especie/ Tratamiento	N0	N100	P	Promedio de los niveles de N por especie
<i>B. auleticus</i>	61	67	<b>0,1296</b>	64
<i>S. setigera</i>	67	66	<b>0,8670</b>	67
P	<b>0,1784</b>	<b>0,9365</b>		<b>0,3638</b>
Promedio de las especies por nivel de N	64	66	<b>0,4544</b>	

P = probabilidad

A continuación se presenta la relación entre el porcentaje promedio de defoliación por individuo y la carga animal promedio para cada una de las especies evaluadas y la ecuación general independientemente de la especie.

**Cuadro No. 34.** Relación entre el porcentaje promedio de defoliación por individuo y la carga animal promedio para cada especie evaluada e independientemente de la especie

Especie/ Tratamiento	Ecuación lineal	Coefficiente de determinación	P
<i>B. auleticus</i>	PD = 26,469 + 0,052 * carga	0,73	<b>0,1448</b>
<i>S. setigera</i>	PD = 53,187 + 0,019 * carga	0,08	<b>0,7253</b>
Ecuación general	PD = 39,828 + 0,035 * carga	0,25	<b>0,2033</b>

P = probabilidad

PD: porcentaje de defoliación por individuo

Carga = carga promedio (Kg PV/ha)

La ecuación de regresión lineal entre el porcentaje promedio de defoliación por individuo y la carga animal promedio no fue significativa en ningún caso.

#### 4.6.2. Tasa de defoliación promedio por individuo

En el siguiente cuadro se observa que la tasa de defoliación promedio por individuo no difirió entre tratamientos de fertilización nitrogenada en cada especie ni entre especies en cada uno de los tratamientos de fertilización.

Tampoco difirió entre especies en el promedio de los tratamientos de fertilización y en cada uno de ellos.

**Cuadro No. 35.** Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre la tasa promedio de defoliación por individuo (hojas/día)

Especie/ Tratamiento	N0	N100	P	Promedio de los niveles de N por especie
<i>B. auleticus</i>	0,02	0,02	<b>0,2554</b>	0,02
<i>S. setigera</i>	0,02	0,02	<b>0,2932</b>	0,02
P	<b>0,2240</b>	<b>0,3462</b>		<b>0,4175</b>
Promedio de las especies por nivel de N	0,02	0,02	<b>0,7950</b>	

P = probabilidad

#### 4.6.3. Intervalo de defoliación promedio por individuo

En el siguiente cuadro se observa que el intervalo promedio de defoliación por individuo no difirió entre tratamientos de fertilización nitrogenada en cada especie ni entre especies en cada uno de los tratamientos de fertilización.

**Cuadro No. 36.** Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el intervalo promedio de defoliación por individuo (días)

Especie/ Tratamiento	N0	N100	P	Promedio de los niveles de N por especie
<i>B. auleticus</i>	41	46	<b>0,231</b>	43
<i>S. setigera</i>	48	43	<b>0,306</b>	45
P	<b>0,219</b>	<b>0,339</b>		<b>0,426</b>
Promedio de las especies por nivel de N	44	44	<b>0,875</b>	

P = probabilidad

A continuación se presenta la relación entre el intervalo de defoliación por individuo y la carga animal promedio para cada una de las especies evaluadas e independientemente de la especie.

**Cuadro No. 37.** Relación entre el intervalo de defoliación y la carga animal a nivel de cada especie evaluada y para el promedio de ellas

Especie/ Tratamiento	Ecuación exponencial	Coefficiente de determinación
<i>B. auleticus</i>	$ITD = 24,512e^{0,0008*carga}$	0,27
<i>S. setigera</i>	$ITD = 97,692e^{0,0011*carga}$	0,62

ITD = intervalo de defoliación (días)  
 carga = carga animal promedio (Kg PV/ha)  
 P = probabilidad

#### 4.7. EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA SOBRE LAS VARIABLES MORFOGENÉTICAS Y CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES DE LAS ESPECIES

En el cuadro se presenta el nivel de significancia de los principales efectos y su interacción para las variables morfogénicas y las características estructurales.

**Cuadro No. 38.** Significancia de los análisis de varianza para las variables morfogénicas y características estructurales en función de los factores considerados

Fuente de variación	Nivel N	Especie	Especie * Nivel N
Intervalo de aparición de hojas	n.s	*	n.s
Tasa de aparición foliar	n.s	*	n.s
Vida media foliar	n.s	n.s	n.s
Longitud de hoja promedio	n.s	***	**
Longitud foliar total	n.s	*	**
Densidad de macollos	n.s	n.s	*
Porcentaje de macollo chico	n.s	n.s	n.s
Porcentaje de macollo mediano	n.s	n.s	n.s
Porcentaje de macollo grande	n.s	n.s	n.s
Peso promedio del macollo	n.s	n.s	n.s
Peso del macollo chico	n.s	n.s	n.s
Peso del macollo mediano	n.s	n.s	n.s
Peso del macollo grande	n.s	n.s	n.s
Peso gravimétrico de la hoja elongando	n.s	**	n.s
Peso gravimétrico de hoja madura	n.s	*	n.s
Ancho Foliar	n.s	n.s	n.s
Número de hojas verdes	***	***	n.s

n.s=  $p > 0,10$

\* =  $p \leq 0,10$

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

\*\*\*= $p \leq 0.01$

#### 4.7.1. Intervalo de aparición de hojas

En el intervalo de aparición de hojas no se dieron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos de fertilización en el promedio de las especies y en cada una de ellas. El intervalo de aparición de hojas difirió significativamente entre especies al 10 % en el promedio de los tratamientos de fertilización y en N0, sin diferencias entre especies en N100. Al respecto, fue 24% superior en Stipa respecto a Bromus en el promedio de los tratamientos de fertilización y 37 % en N0.

**Cuadro No. 39.** Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el intervalo de aparición de hojas (días)

Especie/ Tratamiento	N0	N100	P	Promedio de los niveles de N por especie
<i>B. auleticus</i>	45	47	<b>0,648</b>	46
<i>S. setigera</i>	61	53	<b>0,398</b>	57
P	<b>0,073</b>	<b>0,535</b>		<b>0,070</b>
Promedio de las especies por nivel de N	53	50	<b>0,602</b>	

P = probabilidad

#### 4.7.2. Tasa de aparición foliar

La tasa de aparición foliar (hojas/día) no difirió significativamente entre tratamientos de fertilización nitrogenada en el promedio de ambas especies y en cada una de ellas.

La tasa de aparición foliar fue 22 % superior en Bromus respecto a Stipa difiriendo significativamente al 10 % en el promedio de los niveles de nitrógeno, pero no difirió significativamente en cada uno de ellos.

**Cuadro No. 40.** Efecto de la fertilización nitrogenada y la especie sobre la tasa de aparición foliar (hojas/días)

Especie/ Tratamiento	N0	N100	P	Promedio de los niveles de N por especie
<i>B. auleticus</i>	0,02	0,02	<b>0,624</b>	0,020
<i>S. setigera</i>	0,02	0,02	<b>0,413</b>	0,018
P	<b>0,113</b>	<b>0,557</b>		<b>0,089</b>
Promedio de las especies por nivel de N	0,02	0,02	<b>0,748</b>	

P = probabilidad

#### 4.7.3. Vida media foliar

En el cuadro No. 42 se puede observar que no se dieron diferencias significativas entre tratamientos de fertilización nitrogenada en el promedio de

ambas especies y en cada una de ellas. Al comparar entre las especies evaluadas sólo se observó que la vida media foliar fue un 31 % mayor en la Stipa que en el Bromus en N0 difiriendo significativamente al 10 %, sin diferencias en N100 y en el promedio de los niveles de fertilización nitrogenada.

**Cuadro No. 41.** Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre la vida media foliar (días)

Especie/ Tratamiento	N0	N100	P	Promedio de los niveles de N por especie
<i>B. auleticus</i>	98	108	<b>0,439</b>	103
<i>S. setigera</i>	128	116	<b>0,553</b>	122
P	<b>0,099</b>	<b>0,681</b>		<b>0,122</b>
Promedio de las especies por nivel de N	113	112	<b>0,931</b>	

P = probabilidad

#### 4.7.4. Longitud de hoja promedio

En el siguiente cuadro se observa que para la variable analizada no ocurrieron diferencias significativas entre niveles de fertilización nitrogenada en Bromus, pero en Stipa se observó que la longitud de hoja promedio fue significativamente mayor al 10 % (13 %) cuando esta especie no fue fertilizada.

Al comparar entre las especies evaluadas se observa en N0 que la longitud de hoja promedio fue 35 % superior en Stipa respecto a Bromus, sin diferencias entre especies en N100.

**Cuadro No. 42.** Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre la longitud de hoja promedio (cm/hoja)

Especie /Tratamiento	N0	N100	P	Promedio de los niveles de N por especie
<i>B. auleticus</i>	3,8	4,5	<b>0,156</b>	4,1
<i>S. setigera</i>	5,2	4,6	<b>0,079</b>	4,8
P	<b>0.012</b>	<b>0.727</b>		<b>0.010</b>
Promedio de las especies por nivel de N	4,5	4,5	<b>0.739</b>	

P = probabilidad

#### 4.7.5. Longitud foliar total

En la longitud foliar total no se dieron diferencias significativas entre tratamientos de fertilización en ninguna de las especies evaluadas.

Como se observa en el siguiente cuadro, se dieron diferencias significativas entre especies para el tratamiento testigo, dónde la longitud total foliar del macollo fue 27 % mayor para *Stipa*.

**Cuadro No. 43.** Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre la longitud foliar total del macollo (cm/individuo)

Especie / Tratamiento	N0	N100	P	Promedio de los niveles de N por especie
<i>B. auleticus</i>	8,4	10,2	<b>0,131</b>	9,3
<i>S. setigera</i>	10,7	10,0	<b>0,144</b>	10,3
P	<b>0,018</b>	<b>0,769</b>		<b>0,062</b>
Promedio de las especies por nivel de N	9,6	10,1	<b>0,240</b>	

P = probabilidad

##### 4.7.5.1. Relación entre la longitud foliar total y la suma térmica

Las ecuaciones de regresión lineal entre la longitud foliar total y la suma térmica difirieron significativamente entre ambos tratamientos de fertilización nitrogenada en *B. auleticus*, tanto en la ordenada al origen ( $p=0,0001$ ) como en la pendiente ( $p=0,0106$ ); en *S. setigera* no difirieron ni en la ordenada ( $p=0,7098$ ) ni en la pendiente ( $p=0,4669$ ).

**Cuadro No. 44.** Efecto de la fertilización nitrogenada en la relación entre la longitud foliar total y la suma térmica

Especie/ Tratamiento	Ecuación lineal	Coficiente de determinación	P
N0 <i>B. auleticus</i>	$LFT = 39,915 + 0,341 * ST$	0,97	<b>0,0001</b>
N0 <i>S. setigera</i>	$LFT = 44,207 + 0,441 * ST$	0,97	<b>0,0001</b>
N100 <i>B. auleticus</i>	$LFT = 54,639 + 0,432 * ST$	0,96	<b>0,0001</b>
N100 <i>S. setigera</i>	$LFT = 52,662 + 0,417 * ST$	0,96	<b>0,0001</b>

LFT = longitud foliar total (cm/individuo)

ST = suma térmica

P = probabilidad

#### 4.7.6. Población de macollos

En el siguiente cuadro se observa que la población de macollos no difirió entre tratamientos de fertilización nitrogenada en cada una de las especies. Tampoco difirió entre especies en cada uno de los tratamientos de fertilización nitrogenada.

**Cuadro No. 45.** Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre la población de macollos (número de macollos/m<sup>2</sup>)

Especie /tratamiento	N0	N100	P	Promedio de los niveles de N por especie
<i>B.auleticus</i>	1233	945	<b>0,349</b>	1089
<i>S.setigera</i>	851	1505	<b>0,141</b>	1178
P	<b>0,122</b>	<b>0,234</b>		<b>0,651</b>
Promedio de las especies por nivel de N	1042	1225	<b>0,370</b>	

P = probabilidad

#### 4.7.7. Porcentaje de individuos según tamaño

En el cuadro se observa que no hubo diferencias significativas en el porcentaje de individuos según el tamaño entre especies dentro de cada tratamiento de fertilización ni entre niveles de fertilización en *Bromus*. En *Stipa* sólo se observaron diferencias significativas entre tratamientos de fertilización en la proporción de macollos chicos, con una proporción 25 % superior en N100.

**Cuadro No. 46.** Efecto de la aplicación de nitrógeno sobre el porcentaje por tipo de individuo

	N0			N100			P N0 vs N100	
	<i>Bromus</i>	<i>Stipa</i>	P	<i>Bromus</i>	<i>Stipa</i>	P	<i>Bromus</i>	<i>Stipa</i>
Chico	24	23	<b>0,858</b>	27	28	<b>0,743</b>	<b>0,744</b>	<b>0,049</b>
Mediano	49	45	<b>0,111</b>	41	44	<b>0,679</b>	<b>0,109</b>	<b>0,869</b>
Grande	27	32	<b>0,455</b>	32	28	<b>0,454</b>	<b>0,420</b>	<b>0,492</b>

P = probabilidad

#### 4.7.8. Peso promedio del macollo por tipo de individuo

No se observaron diferencias significativas en el peso promedio del macollo y peso del macollo según tamaño entre tratamientos de fertilización nitrogenada en ambas especies ni entre especies dentro de cada nivel de nitrógeno.

**Cuadro No. 47.** Efecto de la aplicación de nitrógeno sobre el peso promedio del macollo (gramos) según su tamaño

	N0			N100			P N0 vs N100	
	<i>Bromus</i>	<i>Stipa</i>	P	<i>Bromus</i>	<i>Stipa</i>	P	<i>Bromus</i>	<i>Stipa</i>
Peso Promedio	0,02	0,01	<b>0,324</b>	0,02	0,01	<b>0,391</b>	<b>0,919</b>	<b>0,530</b>
Peso Chico	0,02	0,02	<b>0,665</b>	0,02	0,02	<b>0,297</b>	<b>0,747</b>	<b>0,431</b>
Peso Mediano	0,04	0,05	<b>0,304</b>	0,04	0,04	<b>0,681</b>	<b>0,841</b>	<b>0,199</b>
Peso Grande	0,07	0,09	<b>0,442</b>	0,06	0,08	<b>0,112</b>	<b>0,147</b>	<b>0,505</b>

P = probabilidad

#### 4.7.9. Peso gravimétrico de la hoja

El peso gravimétrico de la hoja no difirió entre tratamientos de fertilización en ninguna de las especies.

Entre especies el peso gravimétrico sólo difirió al 10 % en la hoja en elongación en el tratamiento de fertilización N0, donde el peso de la hoja elongando fue 37 % mayor en *Stipa* que en *Bromus*.

**Cuadro No. 48.** Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el peso gravimétrico (mg/cm) en hojas elongando y maduras

	N0		N100		P N0 vs N100	
	H. elong.	H. madura	H. elong.	H. madura	H. elong.	H. madura
<i>B. auleticus</i>	1,14	1,67	1,31	1,62	<b>0,228</b>	<b>0,822</b>
<i>S. setigera</i>	1,56	2,00	1,56	1,83	<b>0,977</b>	<b>0,423</b>
P	<b>0,096</b>	<b>0,179</b>	<b>0,162</b>	<b>0,383</b>		
Promedio	1,35	1,83	1,43	1,72		

H. elong. = hoja elongando

H. madura = hoja madura

P = probabilidad

#### 4.7.10. Ancho foliar

En el cuadro No. 50 se observa que no se encontraron diferencias significativas en el ancho foliar (cm) al aplicar nitrógeno independientemente de la especie, tampoco existieron diferencias entre especies dentro de un mismo nivel de fertilización nitrogenada.

**Cuadro No. 49.** Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el ancho foliar (cm)

Especie /Tratamiento	N0	N100	P
<i>B. auleticus</i>	0,18	0,27	<b>0,589</b>
<i>S. setigera</i>	0,20	0,14	<b>0,121</b>
P	<b>0,361</b>	<b>0,466</b>	

P = probabilidad

#### 4.7.11. Número de hojas verdes por macollo

En el siguiente cuadro se observa que el número de hojas verdes por macollo difirió entre tratamientos de fertilización nitrogenada en el promedio de las especies, pero no difirió dentro de cada especie.

Al comparar entre especies se observan diferencias muy significativas a favor de Bromus en el promedio de los tratamientos de fertilización y en N0, pero sin diferencias en N100.

**Cuadro No. 50.** Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre el número de hojas verdes por macollo

Especie /Tratamiento	N0	N100	P	Promedio de los niveles de N por especie
<i>B. auleticus</i>	2,2	2,3	<b>0,231</b>	2,2
<i>S. setigera</i>	2,1	2,2	<b>0,305</b>	2,1
P	<b>0,008</b>	<b>0,339</b>		<b>0,005</b>
Promedio de las especies por nivel de N	2,2	2,3	<b>0,010</b>	

P = probabilidad

#### 4.8. EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN LA EFICIENCIA DE USO DEL FORRAJE

En el siguiente cuadro se observa el nivel de significancia de los principales efectos y su interacción para la eficiencia de utilización potencial y actual. No se observaron efectos significativos de la aplicación de nitrógeno, de la especie y de su interacción sobre la eficiencia de utilización potencial y actual de forraje.

**Cuadro No. 51.** Significancia de los análisis de varianza para la eficiencia de utilización potencial y actual en función de los factores considerados

Fuente de variación	EUP	EUA
Nivel N	n.s	n.s
Especie	n.s	n.s
Especie *Nivel N	n.s	n.s

EUP = eficiencia de utilización potencial

EUA = eficiencia de utilización actual

n.s=  $p > 0,10$

No se dieron diferencias significativas en la eficiencia de utilización del forraje entre tratamientos de fertilización en cada especie, ni entre especies dentro de cada nivel de nitrógeno.

**Cuadro No. 52.** Efecto de la aplicación de nitrógeno y la especie sobre la eficiencia de utilización potencial y actual (%)

	N0		N100		P N0 vs N100	
	EUP	EUA	EUP	EUA	EUP	EUA
<i>B. auleticus</i>	-116	102	-79	102	<b>0,559</b>	<b>0,991</b>
<i>S. setigera</i>	-55	126	-51	114	<b>0,905</b>	<b>0,822</b>
P	<b>0,358</b>	<b>0,654</b>	<b>0,458</b>	<b>0,629</b>		
Promedio	-85	114	-65	108		

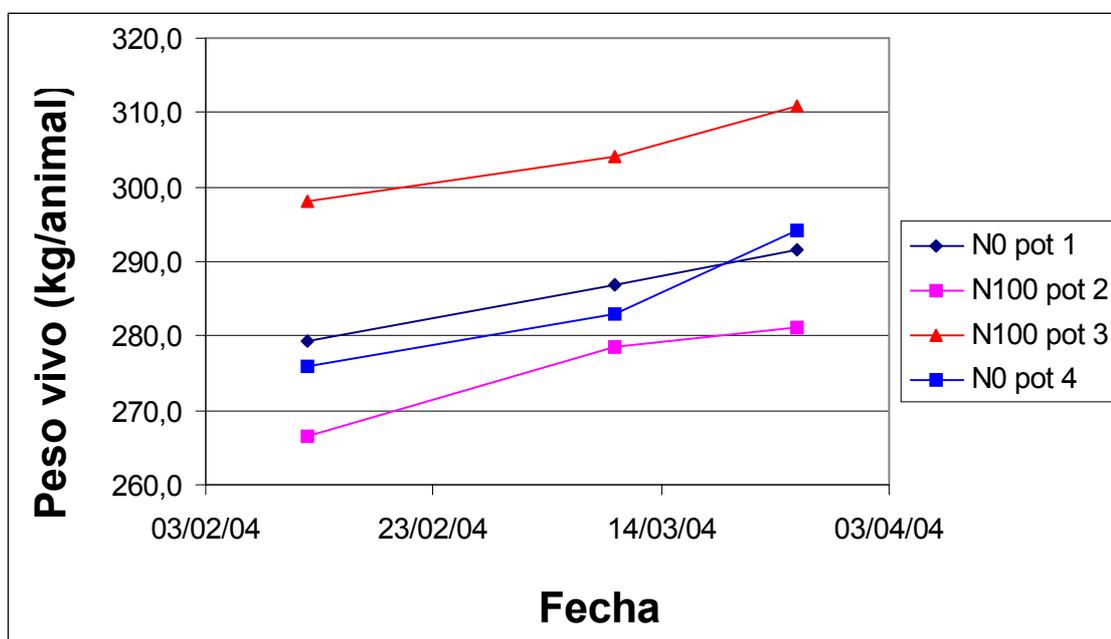
EUP = eficiencia de utilización potencial

EUA = eficiencia de utilización actual

P = probabilidad

#### 4.9. EFECTO DE LA FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN LA PRODUCCIÓN ANIMAL

El peso vivo de los animales al inicio del ensayo (12/02/2004) fue de  $281 \pm 19$  Kg/animal y al final del período en evaluación (26/03/2004) el peso promedio de los mismos fue de  $295 \pm 20$  kg/animal. En la siguiente gráfica se representa la evolución del peso vivo de los animales por repetición entre inicio y fin del período de evaluación.



**Gráfico No. 4.** Evolución del peso vivo en el período del experimento

Entre tratamientos de fertilización nitrogenada se dieron diferencias muy significativas en la carga animal, pero no en la ganancia diaria de peso vivo y en la producción de peso vivo por unidad de superficie.

**Cuadro No. 53.** Efecto de la aplicación de nitrógeno sobre las variables de producción animal

Variable /Tratamiento	N0	N100	P	Promedio
Carga (número de animales /ha)	2,33	2,65	<b>0,010</b>	2,49
GMD (Kg/animal/día) período 1	0,28	0,33	<b>0,676</b>	0,30
GMD (Kg/animal/día) período 2	0,50	0,30	<b>0,526</b>	0,40
GMD (Kg/animal/día) promedio	0,38	0,32	<b>0,573</b>	0,35
Productividad 2ª período 1	17,26	23,41	<b>0,515</b>	20,34
Productividad 2ª período 2	18,11	12,83	<b>0,626</b>	15,47
Productividad 2ª total (kg de carne producidos/ha)	35,36	36,24	<b>0,913</b>	35,81

GMD = ganancia media diaria

P = probabilidad

Período 1: 12/2/2004 al 10/03/2004

Período 2: 10/03/2004 al 26/03/2004

## 5. DISCUSIÓN

### 5.1. CONSIDERACIONES SOBRE EL CONTROL DEL ESTADO DE LA PASTURA

En este ensayo se logró mantener un similar estado de la pastura entre tratamientos de fertilización nitrogenada, lo que puede concluirse a partir de la altura y disponibilidad de forraje. La altura no difirió entre tratamientos de fertilización, presentando un valor promedio de  $6,5 \pm 1,3$  cm. La disponibilidad de forraje promedio previa y posteriormente al desarrollo del período experimental, estimada a partir del método de rendimientos comparativos (Haydock y Shaw, 1975) no difirió significativamente entre tratamientos, siendo ésta de  $2044 \pm 565$  kg MS/ha.

A lo largo del período experimental se observó una disminución de la altura promedio de la pastura, desde 8,6 hasta 4,9 cm, y de la disponibilidad de forraje promedio, desde 2368 a 1721 kg MS/ha. Esto fue consecuencia de la reducción en la tasa de crecimiento de forraje medido en las jaulas de exclusión observada a lo largo del período experimental, desde 16,9 a 10,7 kg MS/ha/día, que no fue acompañada de una disminución en la carga animal; por el contrario la misma pasó, en el promedio de ambos tratamientos de fertilización, de 712 a 728 kg de peso vivo/ha.

Los valores de tasa de crecimiento de forraje promedio de los tratamientos de fertilización nitrogenada, de 16,9 kg MS/ha/día en verano y 10,7 kg MS/ha/día en otoño, son similares a los reportados por Berretta y Bemhaja (1998) para suelos profundos en ambas estaciones (17,2 y 10,9 kg MS/ha/día, respectivamente). Cuando se comparan con las tasas de crecimiento estacional obtenidas en el mismo sitio experimental en el promedio de seis años (24,04 y 16,37 kg MS/ha/día en verano y otoño respectivamente en el tratamiento testigo y 27,93 y 19,37 kg MS/ha/día en verano y otoño respectivamente en el tratamiento fertilizado)<sup>2</sup> se observa que son inferiores.

Esto podría afectar la performance individual de los animales y la productividad secundaria, si se resiente la posibilidad de selección de los animales, aspecto que será analizado posteriormente. Sin embargo, en este trabajo la performance animal individual no se vio severamente afectada, ya que los animales ganaron peso durante este período (Cuadro No. 53).

---

<sup>2</sup>-Rodríguez Palma, R. 2008. Com. Personal.

La tasa de crecimiento de forraje obtenida a partir de los datos de las jaulas de exclusión al pastoreo, no difirió entre tratamientos de fertilización nitrogenada en el período medido (12/1 al 20/5/2004). Esto no coincide con numerosos trabajos que indican que la aplicación de nitrógeno tendería a mejorar la producción de forraje (Ayala y Carámbula 1994, Heady y Child 1994, Bemhaja et al. 1998), especialmente en gramíneas.

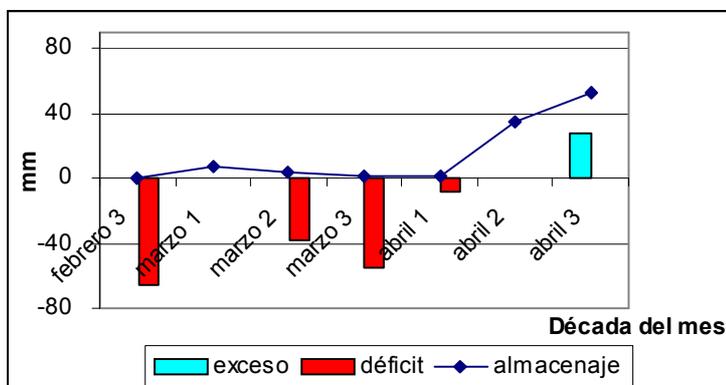
Coincidentemente con lo reportado por estos autores, en la misma pastura en que se realizó este trabajo se observaron respuestas positivas a la aplicación de nitrógeno en el crecimiento de forraje en el período primaveral (Azanza et al., 2004), invernal (Peirano y Rodríguez, 2004) y otoñal-invernal (Rodríguez Palma et al., 2005). La falta de respuesta en este trabajo podría obedecer en primer término al déficit hídrico registrado en el período estival-otoñal del año 2004 (Gráficos No. 5 y 6).

Para ambos suelos puede observarse la situación de déficit hídrico ocurrido desde el inicio del período de mediciones y hasta la primera década del mes de abril. Asimismo, este déficit hídrico venía ocurriendo desde diciembre del año anterior (Gráficas No. 2 y 3).

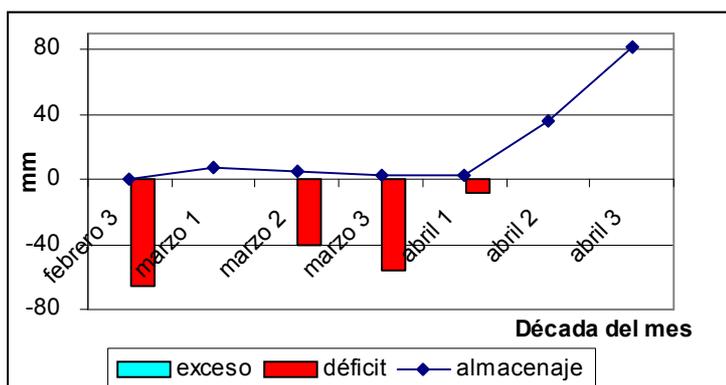
El déficit hídrico afecta negativamente la expansión del área foliar, como consecuencia de esto, una parte importante de la reducción de la tasa de crecimiento de una pastura puede ser explicada a partir de la menor cantidad de energía lumínica interceptada por cultivos carenciados en agua en comparación a situaciones no limitantes (Colabelli et al., 1998).

La disminución de la producción de forraje en situación de déficit hídrico ocurre por reducción del crecimiento foliar, por el cierre de los estomas (Durand, 2007) y por una restricción de la nutrición mineral de las plantas por desecación de los horizontes superficiales del suelo donde está el mayor volumen radical (Lemaire y Denoix, citados por Lemaire y Pflimlin, 2007).

La sequía, provoca además una fuerte disminución en el área funcional de las hojas o en el IAF, debido a que las hojas se enrollan y se reduce el aporte de C a la parte aérea por los cambios provocados en la partición de C a las raíces.



**Gráfico No. 5.** Comportamiento decádico mensual del exceso, déficit y almacenaje para un suelo Litosol para el período 20 de febrero a 30 de abril de 2004



**Gráfico No. 6.** Comportamiento decádico mensual del exceso, déficit y almacenaje para un suelo Brunosol eútrico para el período 20 de febrero a 30 de abril de 2004

## 5.2. CRECIMIENTO BRUTO

En *Bromus* la tasa de elongación foliar fue significativamente mayor (18 %) en el tratamiento fertilizado. Esto coincide con la respuesta observada por Lemaire y Agnusdei (1999), donde aumentos en la temperatura o aplicaciones de nitrógeno generan incrementos en la tasa de elongación foliar y el largo final de hoja y con Mazzanti et al. (1994) quienes encontraron un efecto significativo del nitrógeno sobre la tasa de elongación foliar.

En condiciones de pastoreo con altas aplicaciones de nitrógeno Laidlaw y Steen (1989) observaron incrementos en la tasa de elongación foliar del 19 % en raigrás perenne, Mazzanti et al. (1994) del 23 % en festuca y Boggiano (2000) de 25 a 50 % en *Paspalum notatum*.

Sin embargo, Grant et al. (1989), Mazzanti et al. (1994), reportan que en condiciones de pastoreo continuo hay una menor respuesta a la aplicación de N en esta variable en relación a la observada en condiciones de corte, lo cual puede estar explicado por la defoliación frecuente del animal, la cual limita la expresión del potencial de elongación foliar, producto de la remoción de tejidos. Este último autor revela que la importancia de la tasa de elongación foliar como componente de la respuesta en producción de forraje al nitrógeno en pasturas continuamente defoliadas puede ser menor que en las pasturas defoliadas infrecuentemente.

En *Bromus* el crecimiento bruto individual se incrementó 37 % en N100, esto es resultado de la respuesta observada en la tasa de elongación foliar y en el peso gravimétrico, el cual si bien no difiere significativamente entre tratamientos, pasa de 1,14 en N0 a 1,31 mg/cm en N100 (15 % más). Este comportamiento positivo del nitrógeno no se observa al comparar el crecimiento bruto por unidad de superficie, dado que la densidad de macollos pasó de 1233 en N0 a 945 macollos/m en N100, pero sin llegar a ser significativo, lográndose compensar el efecto positivo sobre el crecimiento individual.

La respuesta en la densidad de macollos no sería la esperada y no coincide con lo reportado por Rodríguez Palma (1998) para un campo natural donde obtuvo aumentos del 44 % en la producción de forraje con la aplicación de 100 kg N/ha/año respecto al testigo sin fertilizar, principalmente por su efecto en el aumento de la densidad de macollos, que fue de 40 %.

Mazzanti et al. (1994) observaron que la densidad de macollos aumentó un 22 % con aplicaciones de 360 vs 190 kg N/ha/año en festuca con pastoreo continuo de lanares, mientras que Laidlaw y Steen (1989) encontraron un aumento en la densidad de macollos del 49 % con aplicaciones de 360 vs 60 kg N/ha/año en pasturas de raigrás perenne y trébol blanco con pastoreo continuo de vacunos.

También en condiciones agronómicas de corte se ha observado un efecto positivo del nitrógeno en el macollaje (Wilman y Pearce 1984, Simon y Lemaire 1987, Gastal y Lemaire 1988), pero en menor grado de respuesta que en condiciones de pastoreo. Al respecto, Muir et al. (2001) observaron que al aumentar el nivel de fertilización nitrogenada aumentó la densidad y masa de macollos, pero la respuesta fue mayor en la producción de biomasa que en la densidad de macollos.

Un comportamiento totalmente distinto frente a la fertilización se observó en la *Stipa*, donde no se encontraron diferencias significativas ni en la tasa de elongación foliar ni en el peso gravimétrico individual en ambos tratamientos, pero si en cambio aparece un aumento significativo del 83 % en el crecimiento bruto por unidad de superficie, explicable por la respuesta observada en la densidad de macollos por superficie, que pasó de 851 en N0 a 1505 en N100, diferencia que no llega a ser estadísticamente significativa.

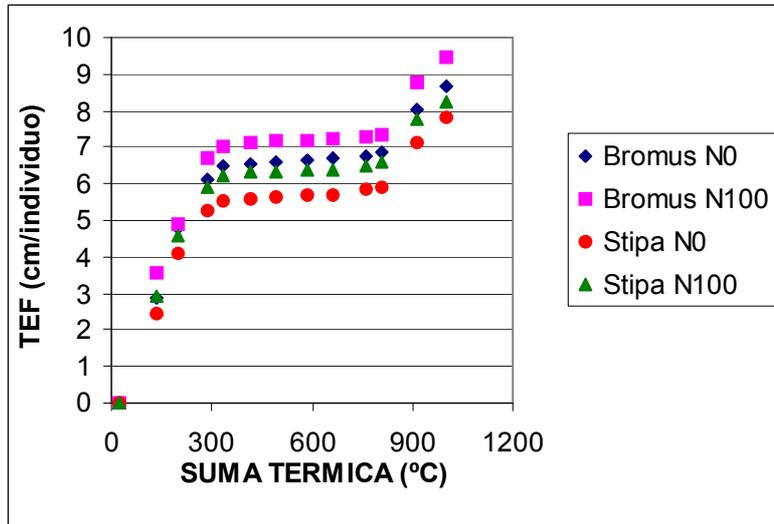
Al comparar entre especies el crecimiento bruto diario por superficie (kg MS/ha/día) fue 58 % superior en *Stipa* respecto a *Bromus* en N100, pero no difirió en N0. Cuando se analizan los componentes del crecimiento bruto diario por superficie se observa que el crecimiento bruto individual, la densidad de macollos y la tasa de elongación foliar no difirieron entre especies en ambos niveles de fertilización nitrogenada, mientras que el peso gravimétrico sólo difirió entre especies en el tratamiento testigo (el peso de la hoja elongando fue 37% mayor en *Stipa* respecto a *Bromus* en N0).

En el promedio de los tratamientos de fertilización nitrogenada el crecimiento bruto diario por superficie y el crecimiento bruto individual no difirieron entre especies. No obstante, la tasa de elongación foliar fue 12,9 % mayor en *Bromus* que en *Stipa*.

Berretta et al. (1990) encontraron que *Bromus auleticus* fue la especie invernal, comparada con el resto de las gramíneas invernales estudiadas, que presentó mayor tasa de crecimiento diaria durante el período frío, cuando éstas disminuyen marcadamente su crecimiento.

Dado que el crecimiento de las especies nativas de ciclo otoño- invierno-primaveral es regulado principalmente por la temperatura; se analizó la

respuesta en la tasa de elongación de hojas con la suma térmica en ambas especies para cada nivel de fertilización nitrogenada (Cuadro No. 10).



**Gráfica No. 7.** Tasa de elongación foliar (TEF) de las especies en función de la suma térmica para ambos niveles de fertilización nitrogenada

La respuesta de la tasa de elongación foliar a la suma térmica fue similar entre niveles de fertilización nitrogenada en cada especie, incrementándose hasta que se acumularon 300°C.día (17 de marzo), posteriormente permaneció constante hasta 800°C.día (7 de abril) y comenzó a aumentar nuevamente pero a una menor tasa que al inicio. La respuesta en Bromus fue levemente superior a la observada en Stipa.

Al comparar el gráfico de respuesta a la suma térmica con los gráficos No. 5 y No. 6 de los balances hídricos decádicos se observa que la tasa de elongación foliar se vuelve constante a partir del 17/03/2004, momento a partir del cual se da el déficit hídrico en ambos tipos de suelo. Cuando el suelo comienza a almacenar agua, a partir de la segunda década de abril, la tasa de elongación foliar comienza a aumentar nuevamente (a partir del 07/04/2004).

### 5.3. SENESCENCIA

La senescencia diaria por superficie (kg MS/ha/día) no difirió entre tratamientos de fertilización en el promedio de las especies evaluadas o en

cada una de ellas. Al analizar los componentes de la tasa de senescencia diaria por superficie observamos que la tasa de senescencia por individuo no difirió entre tratamientos de fertilización nitrogenada en el promedio de las especies y en Bromus, mientras que en Stipa fue superior en N100.

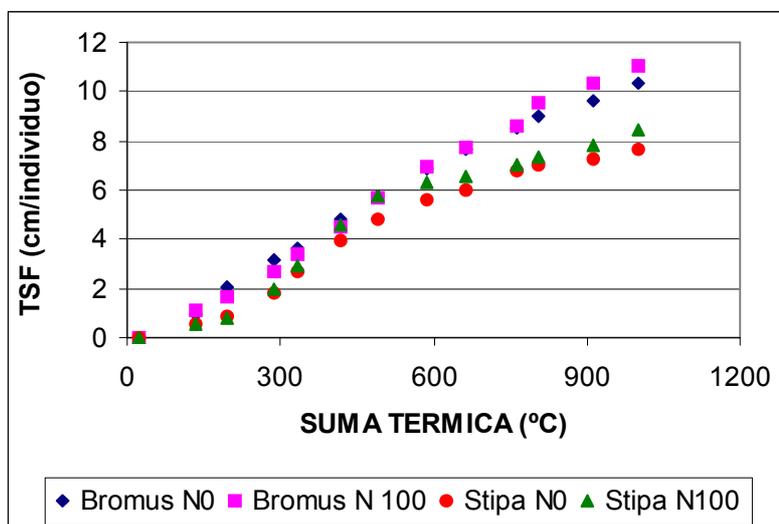
La respuesta observada en Stipa coincide con lo mencionado por Mazzanti y Lemaire (1994), Boggiano (2000), donde la tasa de senescencia aumentó en términos absolutos con el nivel de fertilización nitrogenada, por efecto del nitrógeno en la tasa de elongación foliar y en el tamaño de la hoja.

El componente densidad de individuos ya fue analizado en el ítem anterior.

La tasa de senescencia diaria foliar no difirió entre niveles de fertilización nitrogenada en Bromus y Stipa, pero fue 14 % mayor en N100 en el promedio de las especies.

Los mg/mm de lámina madura no difirieron entre tratamientos de fertilización nitrogenada en ambas especies.

Según Lemaire y Chapman (1996), Lemaire (1997) la senescencia foliar es afectada por la temperatura de forma similar que la tasa de aparición foliar. En la siguiente gráfica se observa que la tasa de senescencia foliar en ambas especies e independientemente del nivel de fertilización nitrogenada se incrementó linealmente hasta aproximadamente 800°C.día acumulados y posteriormente se estabilizó en Stipa y continuó aumentando pero a una menor tasa en Bromus. En Bromus la suma térmica explico el 94 % de la tasa de senescencia diaria foliar, mientras que en Stipa explico el 95 a 96 % de la tasa de senescencia diaria foliar (Cuadro No. 11).



**Gráfico No. 8.** Tasa de senescencia foliar (TSF) de las especies en función de la suma térmica para ambos niveles de fertilización nitrogenada

Al comparar la senescencia diaria por superficie (kg MS/ha/día) entre las especies fue mayor en Bromus en N0, pero no difirió entre ellas en N100; ello fue consecuencia de la superior tasa de senescencia foliar en Bromus en N0 sin diferencias entre especies en N100, ya que el resto de los componentes (tasa de senescencia por individuo, peso del mm de lámina madura y población de macollos) no difirió entre especies en cada nivel de fertilización nitrogenada.

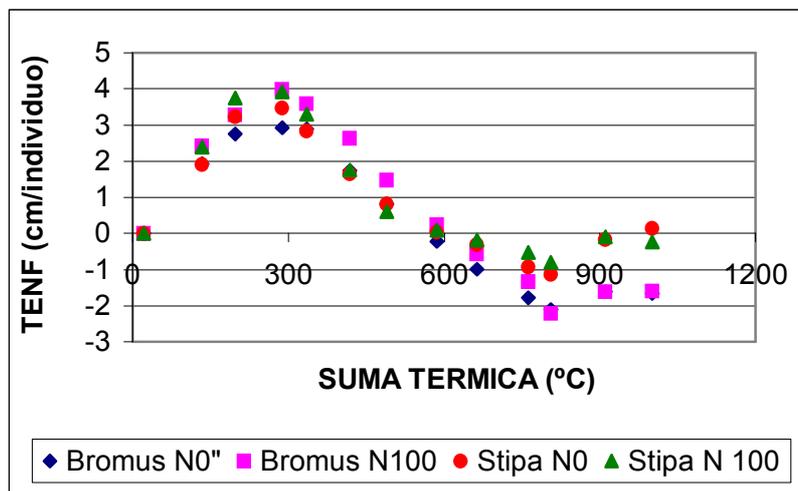
Esta diferencia encontrada entre especies, podría ser explicada por una mayor rusticidad de la Stipa frente a las condiciones climáticas adversas dadas en el período del ensayo. Millot (1989), al comentar los efectos de la seca 1988-1989 indica que dentro de las gramíneas perennes invernales, las flechillas (Stipeae y Aristideae), tuvieron un notorio incremento en todo el país y especialmente en el área basáltica. *Stipa setígera* fue la especie mas representativa del grupo por el aumento que tuvo en la frecuencia de distribución y en el volumen.

#### 5.4. CRECIMIENTO NETO

La tasa de elongación neta foliar (cm.macollo/día) fue negativa en ambas especies, como consecuencia de que la tasa de senescencia fue mayor

que la tasa de elongación foliar. Sin embargo, Lemaire y Agnusdei (1999) observaron que el agregado de N aumentaría la tasa de crecimiento de la pastura sin alterar la senescencia, por lo tanto se modificará el balance entre los flujos de tejidos.

En los gráficos tanto para *Stipa* como para *Bromus* se observa para los dos niveles de fertilización, que la elongación neta foliar aumenta hasta acumular 300°C.día y posteriormente disminuye y se “hace” negativo al acumular más de 600°C.día.



**Gráfico No. 9.** Efecto de la fertilización nitrogenada en la relación entre la tasa de elongación neta foliar (TENF) y la suma térmica en las dos especies

El crecimiento potencial de un genotipo, según Lemaire et al. (1987), estaría determinado por los niveles de radiación y temperatura, si bien el nivel de crecimiento actual, respondería a la disponibilidad hídrica y la nutrición mineral. La disponibilidad hídrica afectó la respuesta esperada en la tasa de elongación foliar a la suma térmica y esta determinó directamente la respuesta en la tasa de elongación neta foliar a la suma térmica, dado que la asociación entre la tasa de senescencia foliar y suma térmica no se vio modificada (ver gráficos de relación entre los flujos de tejido foliar y la suma térmica por especie en anexo No. 8). En este sentido, Durand (2007) indica que el déficit hídrico afecta el crecimiento en volumen de la parte aérea, como resultado de un

efecto tanto en la tasa de división celular como en la expansión de las células en las zonas de crecimiento.

## 5.5. CONSUMO

### 5.5.1. Consumo por individuo y por superficie

En el consumo foliar (cm/macollo/día) y consumo bruto por individuo (mg MS/macollo/día) no existieron diferencias entre niveles de fertilización nitrogenada en el promedio de las especies o en cada especie. En el consumo diario por unidad de superficie no se observó diferencias entre tratamientos en el promedio de las especies y en Bromus y se observó en Stipa que el consumo en N 100 fue 77 % mayor que en N0.

En el consumo foliar, consumo bruto por individuo y consumo de MS por unidad de superficie, no se encontraron diferencias significativas entre especies en el promedio de los niveles de fertilización o dentro de cada nivel de nitrógeno.

Del consumo diario por unidad de superficie de la sumatoria de las especies (4,92 y 6,94 kg MS/ha/día en N0 y N100, respectivamente) el consumo de Stipa representa el 50 % en N0 y 63 % en N100.

La asociación significativa entre el consumo diario por unidad de superficie en la sumatoria de las especies y la carga promedio, explicando la carga el 99 % del consumo de ambas especies, es coincidente con lo reportado por Mazzanti y Lemaire (1994), Rodríguez Palma (1998) en pastoreo continuo, quienes afirmaron que la carga animal explica el 55 y 45 % de la variación en el consumo animal, respectivamente. Asimismo, Peirano y Rodríguez (2004) indicaron que la carga animal explica el 95 % de la variación en el consumo por superficie de Stipa y el 87 % de la variación en el consumo de Bromus; a su vez Azanza et al. (2004) indicaron que la carga explicó el 68 % en Stipa y el 51 % en Bromus del consumo foliar.

### 5.5.2. Consumo por categoría de edad de la hoja en el total consumido

En términos promedio, del material foliar total consumido por los animales, la mayor proporción fue de hoja 2 (53 %), siguiendo la hoja 1 (32 %)

y por último la hoja 3 (13 %), siendo muy poco consumida la hoja más vieja (hoja 4: 2 %) localizada en el estrato inferior de la pastura.

La menor proporción de defoliación en la hoja mas vieja es coincidente a lo observado en cubiertas simples de raigrás perenne (Hodgson 1966, Barthram y Grant 1984, Alcock et al. 1986), de festuca (Mazzanti y Lemaire 1994b, Cordero 1996) y de dactylis (Morris, 1969) y en campo naturales de región Pampeana (Pueyo 1996, Rodríguez Palma 1998) y de Uruguay (Azanza et al. 2004, Peirano y Rodríguez 2004).

## 5.6. PATRONES DE DEFOLIACION

A través del análisis de los patrones de defoliación (frecuencia e intensidad) a nivel de individuo y de categoría de edad de las hojas puede analizarse la utilización de forraje (Speeding, 1971). Los patrones de defoliación dependen principalmente del manejo del pastoreo.

### 5.6.1. Intervalo de defoliación del individuo

En promedio los animales defoliaron un individuo cada 45 días, sin presentar diferencias entre niveles de fertilización en cada especie o entre especies en cada nivel de fertilización nitrogenada.

Al analizar la asociación entre el intervalo de defoliación promedio del individuo y la carga animal, para cada especie por separado, se encontró que únicamente en el caso de la *Stipa* hay asociación entre ambas variables ya que la ecuación de tipo exponencial analizada dio un valor de  $R^2$  de 0,624. Esto podría estar asociado al mayor aporte relativo de la *Stipa* al consumo por unidad de superficie de la sumatoria de las dos especies.

La asociación significativa entre ambas variables coincide con lo reportado por Mazzanti y Lemaire (1994), quienes trabajando en cubiertas de festuca observaron que la mayor tasa de crecimiento de forraje, consecuencia de la fertilización nitrogenada, permite capacidades de carga animal contrastantes, para mantener similares estados de la pastura entre distintos niveles de fertilización nitrogenada, que se reflejan en diferentes tasas de defoliación de los individuos, con una mayor frecuencia de defoliación en los tratamientos no carentes en nitrógeno. Según Laidlaw y Steen (1989), Mazzanti

y Lemaire (1994) como consecuencia se obtendría una mayor eficiencia de utilización de forraje, como resultado de las menores pérdidas relativas por senescencia.

#### 5.6.2. Porcentaje de hoja defoliada por individuo

La severidad de defoliación por individuo no difirió entre especies o entre niveles de fertilización nitrogenada, alcanzando un valor promedio de 65 %. Estos resultados coinciden con los valores promedios reportados por Rodríguez Palma (1998) que fueron del 66 % de hoja defoliada sin diferencias entre categorías de edad de la hoja.

Peirano y Rodríguez (2004) indican un valor de 63 % y Azanza et al. (2004) mencionan un valor promedio de 59 %.

A su vez, Agnusdei, citado por Lemaire y Agnusdei (1999) indica valores promedio entre 50 y 55 % y Mazzanti y Lemaire (1994) mencionan valores promedio de hoja defoliada de 50 %.

La falta de asociación significativa entre la severidad de defoliación y la carga animal es coincidente con lo reportado por Mazzanti y Lemaire (1994) y por Rodríguez Palma (1998).

#### 5.6.3. Patrones de defoliación por categoría de edad de las hojas

En términos generales, los patrones de defoliación (severidad y tasa) en cada categoría de edad de la hoja fueron similares entre las dos especies evaluadas o entre los niveles de fertilización nitrogenada (Cuadros No. 26 a 29).

El porcentaje de hoja defoliada presentó valores promedio de 64 % en hoja 1; 64 % en hoja 2; 75 % en hoja 3 y se reduce a 46 % en hoja 4.

A su vez, el intervalo de defoliación (calculado como la inversa de la tasa de defoliación) fue de 78 días en hoja 1, se redujo a 21 días en hoja 2 y aumentó a 135 días en hoja 3 y a 2222 días en hoja 4.

Las hojas mas jóvenes (hojas 1 y 2) fueron las más frecuentemente defoliadas y en cada evento de defoliación se consume un 64 % del material foliar presente. La mayor frecuencia de defoliación en estas hojas obedecería a su distribución en el horizonte de pastoreo, ya que se localizan en los estratos superiores y por tanto la probabilidad de ser defoliadas es mayor.

La hoja 3 también sería pastoreada cuando se manejan cargas como las del presente trabajo, ya que el animal profundiza en el horizonte de pastoreo, y en esta hoja es retirado un 75 % del material foliar en cada evento de defoliación.

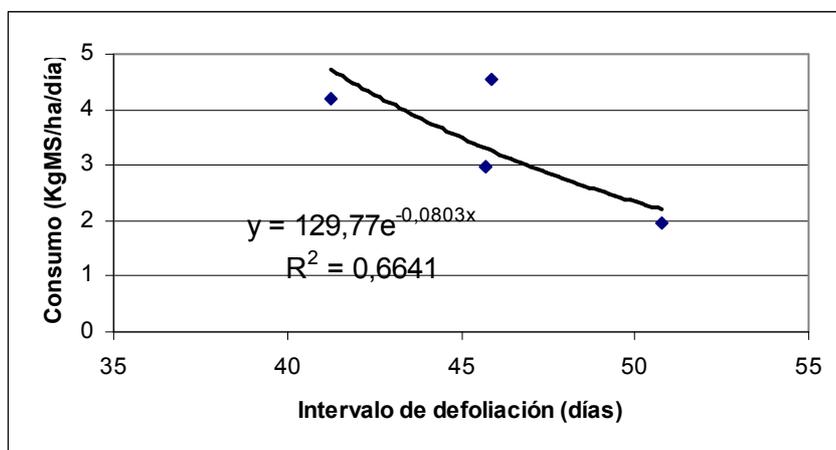
La hoja más vieja (hoja 4) es muy poco defoliada y a su vez en cada evento de defoliación se retira menos material foliar (46 %).

Tal como indican Parsons (1988), Hogdson (1990) considerando que la probabilidad de defoliación de una hoja depende de la altura relativa a la cual presenta su extremidad en la cubierta vegetal, las hojas mas jóvenes se habrían situado en los estratos superiores de la vegetación, maximizándose su probabilidad de defoliación. En el curso de su envejecimiento la hoja disminuye su largo y adopta una posición cada vez más horizontal, escapando de esta manera progresivamente a la defoliación (Mazzanti, citado por Rodríguez Palma, 1998).

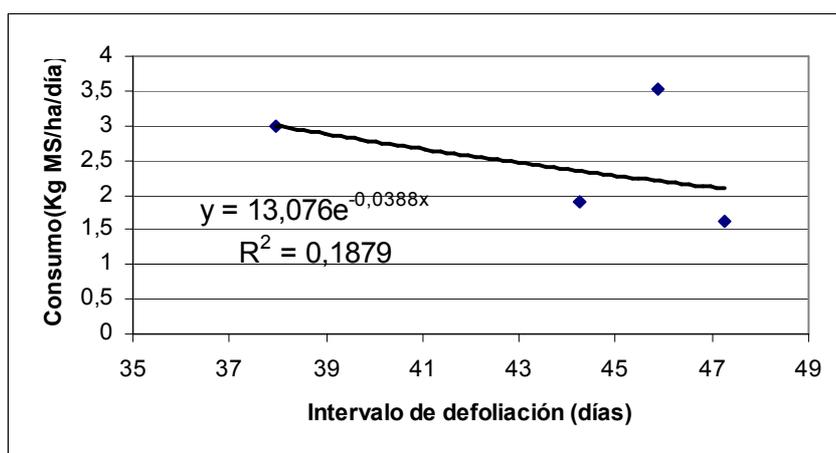
El menor consumo registrado en las hojas más viejas, es coincidente con lo reportado por Hodgson (1966), Morris (1969), Barthram y Grant (1984), Mazzanti y Lemaire (1994), Rodríguez Palma (1998), Azanza et al. (2004), Peirano y Rodríguez (2004).

## 5.7. RELACIÓN ENTRE EL INTERVALO DE DEFOLIACIÓN Y EL CONSUMO DE FORRAJE

A continuación se presenta la asociación de tipo exponencial entre ambas variables.



**Gráfico No. 10.** Relación Consumo – ITD para Stipa.



**Gráfico No. 11.** Relación Consumo – ITD para Bromus

Las gráficas muestran que se encontró una asociación entre estas dos variables en Stipa ( $R^2=0,6641$ ), mientras que el grado de asociación en Bromus fue muy bajo ( $R^2=0,1879$ ).

Este tipo de asociación coincide con lo reportado por Rodríguez Palma (1998), indicando que al reducirse el intervalo entre defoliaciones sucesivas en un macollo se incrementa el consumo de esa especie. Este tipo de respuesta

es consecuencia de la asociación observada entre las variables carga e ITD y carga y consumo.

Según lo reportado por Rodríguez Palma (1998), en el promedio de las especies, el ITD se redujo exponencialmente al incrementarse la carga animal, comportamiento que es consistente con lo observado por otros autores en cubiertas simples (Hodgson 1966, Hodgson y Ollerenshaw 1969, Morris 1969, Curl y Wilkins 1982, Clark et al. 1984, Wade 1991, Mazzanti y Lemaire 1994b, Cordero 1996).

## 5.8. EFICIENCIA DE UTILIZACIÓN DEL FORRAJE

La eficiencia de utilización del crecimiento de forraje no presentó modificaciones frente al agregado de fertilizante nitrogenado.

El nivel de eficiencia actual para el promedio de las gramíneas en ambos tratamientos fue de 111 %. Estos valores son muy superiores al 60 % - 70 % registrados en experimentos sobre pasturas templadas simples fertilizadas con nitrógeno (Birchman y Hodgson 1983, Grant et al. 1983, Laidlaw y Steen 1989, Mazzanti y Lemaire 1994b) y en campos naturales de la región pastoreados continuamente con vacunos (Pueyo 1996, Rodríguez Palma 1998, Azanza et al. 2004, Peirano y Rodríguez 2004).

Los resultados obtenidos se podrían explicar porque, en proporción, los niveles de consumo fueron superiores al crecimiento bruto del forraje, producto de las elevadas cargas utilizadas y del reducido crecimiento de forraje ocurrido durante el período experimental como consecuencia del déficit hídrico.

## 5.9. VARIABLES MORFOGENÉTICAS

El intervalo de aparición de hojas y la vida media foliar no se modificaron por efecto de la aplicación de nitrógeno.

Gastal y Lemaire (1988) mencionan que la tasa de aparición foliar está determinada por la temperatura y en menor grado por el nitrógeno. La bibliografía consultada afirma que la TAH es muy estimulada al aplicar nitrógeno (Ryle 1964, Davies 1979, Wilman y Mohamed 1980b, Thomas 1983,

Wilman y Wrigth 1983, Pearse y Wilman 1984, Longnecker y Robson 1994, Marino 1996, Lattanzi et al. 1997). Sin embargo, Anslow (1966), Davies (1971), Gastal y Lemaire (1988), Whitehead (1995), observaron que la aplicación de nitrógeno tiene pequeño o nulo efecto sobre la tasa de aparición de hojas. Similar respuesta observaron en Bromus Azanza et al. (2004), Peirano y Rodríguez (2004).

En relación a la vida media foliar se ha reportado una disminución de la misma por efecto del nitrógeno (Wilman y Wright 1983, Gastal y Lemaire 1988, Rodríguez Palma 1998). Sin embargo, algunos autores observaron que no hubo efecto de la aplicación de nitrógeno en la vida media foliar (Azanza et al. 2004, Peirano y Rodríguez 2004).

Al comparar entre especies, Bromus presentó un menor intervalo de aparición foliar (46 días) respecto a Stipa (57 días). En relación a la vida media foliar presentó valores promedio de 103 días en Bromus y 122 días en Stipa, difiriendo entre especies en N0, siendo superior en Stipa.

## 5.10. CARACTERISTICAS ESTRUCTURALES

### 5.10.1. Longitud de hoja promedio y longitud foliar total

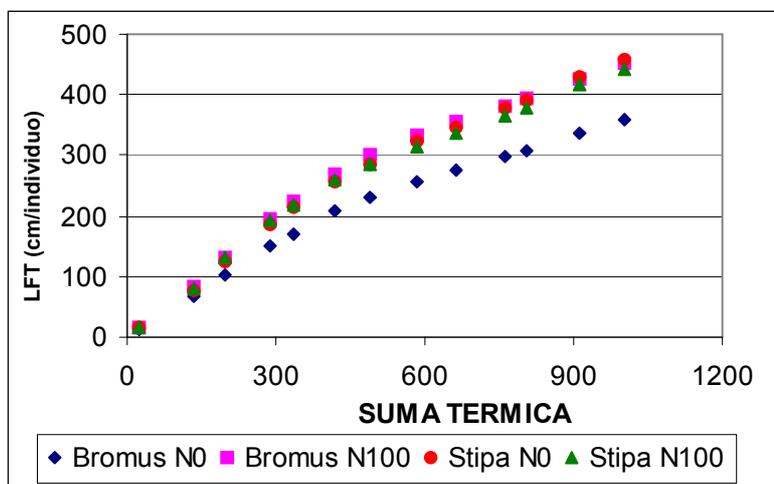
En la longitud foliar total no se dieron diferencias significativas entre tratamientos de fertilización en ninguna de las especies evaluadas, mientras que en la longitud de hoja promedio solo se observó una superioridad del 13 % en N0 en relación a N100 en Stipa.

La falta de respuesta en Bromus y la dirección de la respuesta observada en Stipa no coincide con lo reportado por Laidlaw y Steen (1989), Mazzanti y Lemaire (1994), Lemaire y Agnusdei (1999), Boggiano (2000) quienes mencionan que la fertilización nitrogenada aumenta el largo final de la hoja como consecuencia del aumento en la tasa de elongación foliar.

Al respecto, numerosos estudios afirman que la variable estructural que se modifica por efecto del nitrógeno, es el tamaño final de las hojas: área por hoja; seguido por largo de hoja, ancho medio foliar, espesor y peso seco de la lámina (Wilman y Mohamed, Mohamed, Ojuederie, Owen, Ryle, Wilman et al., citados por Wilman y Wrigth, 1983).

La asociación entre la longitud foliar total y la suma térmica difirió significativamente entre ambos tratamientos de fertilización nitrogenada en *B. auleticus*, en la ordenada al origen y en la pendiente, mientras que en *S. setigera* no difirieron.

A su vez, el coeficiente de determinación obtenido permite ver que la suma térmica explicó entre el 96 y 98 % de la longitud foliar total, aspecto que se observa en el siguiente gráfico.



**Gráfica No. 12.** Efecto de la fertilización nitrogenada en la relación entre la longitud foliar total (LFT) y la suma térmica

Al comparar las especies solo se observaron diferencias en el tratamiento testigo, siendo la longitud de hoja promedio 35 % superior y la longitud foliar total del macollo 27 % mayor en *Stipa*.

La longitud foliar está influenciada por la frecuencia e intensidad de defoliación por individuo. En este ensayo no se observaron diferencias significativas en el intervalo de defoliación por individuo o en el porcentaje de hoja defoliada, por lo que podríamos decir que ésta variable no está influenciando la longitud foliar total.

### 5.10.2. Número de hojas vivas por macollo

El número de hojas verdes por macollo no difirió entre tratamientos de fertilización nitrogenada en ambas especies coincidentemente con lo citado por Davies (1979), Wilman y Mohamed (1980), Wilman y Wright (1983), quienes encontraron que la fertilización nitrogenada tiene poco efecto en la tasa de producción de hojas verdes por macollo, independientemente de si las plantas están creciendo en forma individual o dentro de una comunidad vegetal. Esto coincide con las respuestas observadas por Azanza et al. (2004) en *Bromus* y *Stipa* y por Peirano y Rodríguez (2004) en *Bromus*.

Sin embargo, Ryle (1964), Wilman y Wright (1983), Pearse y Wilman (1984), Longnecker y Robson (1994), Whitehead (1995) encontraron que la fertilización nitrogenada estimula la cantidad de hojas emergidas por macollo.

Al comparar entre especies se observan diferencias significativas a favor de *Bromus* en el promedio de los tratamientos de fertilización y en N0, pero sin diferencias en N100.

### 5.10.3. Peso del macollo y porcentaje de macollos según tamaño

En ambas especies no existió efecto del N en el peso del macollo (promedio y por tipo de tamaño) y sólo existió efecto positivo del N en la proporción de macollos chicos para *Stipa* (25 % mayor en N100).

La falta de respuesta a la aplicación de nitrógeno ocurrida en el peso del macollo, es coincidente con lo observado por Peirano y Rodríguez (2004) en el período invernal.

Sin embargo, Wilman y Wright (1983) indican que la aplicación de 500 Kg N/ha/año comparado con la no aplicación de N aumentó el peso seco por macollo en 101 %.

En lo que respecta al aumento en la proporción de macollos chicos en *Stipa* por efecto del agregado del nitrógeno, Wilman y Wright (1983) mencionan que el agregado de éste, tiene un gran efecto en el número y particularmente en el tamaño de los macollos.

#### 5.10.4. Ancho foliar

No existió efecto de la aplicación de N en el ancho foliar presentando en *Bromus* valores promedio de 2,25 mm y en *Stipa* de 1,70 mm, pero sin diferencias entre ellas.

Esto coincide con Mazzanti et al. (1994) quienes indican que el ancho de la hoja no fue afectado al aplicar nitrógeno. Sin embargo se ha indicado un aumento en ancho de la lámina foliar en respuesta a la aplicación de nitrógeno en condiciones de corte (Wilman y Wright 1983, Whitehead 1995).

#### 5.10.5. Densidad de macollos

No se observaron diferencias significativas entre tratamientos en la densidad de macollos. Los resultados obtenidos para densidad de individuos promedio de las especies (Cuadro No. 46) fueron notoriamente inferiores a los reportados por Rodríguez Palma (1998), para el promedio de gramíneas otoño-invierno-primaverales de 2175 individuos/m<sup>2</sup>. A su vez, Pueyo (1996), encontró valores superiores para ésta variable de 5000 y 7000 individuos/m<sup>2</sup>, lo que coincide con lo observado por Mazzanti et al. (1994), Cordero (1996), para pasturas de *Festuca arundinacea* bajo pastoreo continuo.

Laidlaw y Steen (1989) encontraron que una alta aplicación de nitrógeno (360 vs. 60 kg/ha/año) aumentó la densidad de macollos en un 49 % en raigrás perenne, mientras que Mazzanti et al. (1994) observaron un aumento en la población de macollos de festuca alta del 22 % en respuesta a la aplicación de 360 vs. 160 kg N/ha/año. También se ha indicado un aumento en la densidad de individuos en respuesta al agregado de nitrógeno en condiciones de corte (Davies 1971, Wilman y Wright 1983, Pearce y Wilman 1984).

### 5.11. PRODUCCIÓN ANIMAL

Entre tratamientos de fertilización nitrogenada se dieron diferencias significativas en la carga animal, que resultó 14 % superior en N100, pero no existieron diferencias en la ganancia diaria de peso vivo y en la producción de peso vivo por unidad de superficie.

El aumento de carga animal no se correspondió con un incremento en el crecimiento bruto de forraje en el tratamiento fertilizado, lo que llevó a una reducción de la altura de la cubierta a lo largo del período experimental. Esa reducción de la altura, consecuencia de la depresión observada en el crecimiento de forraje, podría afectar la selección de material por los animales y la utilización del forraje, ya que se ha observado una mayor frecuencia de defoliación en los macollos de mayor tamaño foliar (Hodgson 1966, Hodgson y Ollerenshaw 1969, Barthram y Grant 1984).

## 5.12. CONSIDERACIONES FINALES

Durante el período Diciembre de 2003 a Junio de 2004, dentro del cual se realizó el trabajo, las precipitaciones fueron 46 % inferiores al promedio histórico, determinando una situación de déficit hídrico desde Diciembre de 2003 a Mayo de 2004 en los dos tipos de suelos del área experimental.

Esta situación de déficit hídrico determinó una reducción en las tasas de crecimiento de forraje en relación a las obtenidas para la época en el sitio experimental, y como consecuencia se observó una disminución de la altura promedio de la pastura y de la disponibilidad de forraje promedio. Esto no afectó la performance animal individual, sino que por el contrario los animales ganaron peso durante el período evaluado.

La tasa de crecimiento de forraje medida en condiciones agronómicas de corte, no mejoró con la aplicación de nitrógeno, debido al déficit hídrico registrado en el período de evaluación, en contraposición a lo indicado por diversos autores consultados.

En *Bromus* la tasa de elongación foliar fue mayor en el tratamiento fertilizado respecto al no fertilizado; como consecuencia de ésta respuesta el crecimiento bruto individual se incrementó significativamente con la fertilización. En el crecimiento bruto por unidad de superficie, no se observó una respuesta positiva al agregado de nitrógeno, porque la densidad de macollos de esta especie tendió a disminuir, respuesta que no era la que se esperaba según la bibliografía revisada y la hipótesis planteada.

En *Stipa* no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos de fertilización nitrogenada en la tasa de elongación foliar, peso gravimétrico de

la hoja elongando y crecimiento bruto individual, pero sí ocurrió un aumento en el crecimiento bruto por unidad de superficie producto de la respuesta en la densidad de macollos, que es consistente con la hipótesis planteada.

Al comparar entre las dos especies, el crecimiento bruto por unidad de superficie fue superior en *Stipa* en el tratamiento fertilizado, pero no difirió en el tratamiento testigo. El crecimiento bruto individual, la densidad de macollos y la tasa de elongación foliar no difirieron entre especies en ambos niveles de fertilización nitrogenada.

Las tasas de senescencia diaria foliar, senescencia diaria individual y senescencia diaria por unidad de superficie no difirieron entre tratamientos de fertilización nitrogenada. En ambas especies, la suma térmica explica más del 90% de la tasa de senescencia diaria foliar.

La tasa de elongación neta foliar fue negativa en ambas especies, como consecuencia de que la tasa de senescencia foliar fue mayor que la tasa de elongación foliar. El crecimiento neto foliar por individuo y por unidad de superficie no difirió entre tratamientos de fertilización nitrogenada.

La disponibilidad hídrica afectó la respuesta esperada en la tasa de elongación foliar a la suma térmica y esta determinó directamente la respuesta en la tasa de elongación neta foliar a la suma térmica.

En el consumo foliar, consumo bruto por individuo y consumo por unidad de superficie, no se encontraron diferencias significativas entre niveles de fertilización nitrogenada ni entre las dos especies.

Se encontró una asociación significativa entre el consumo diario por unidad de superficie en la sumatoria de las especies y la carga promedio, concluyendo que la carga explica prácticamente el total del consumo de ambas especies.

Al analizar los patrones de defoliación (intervalo de defoliación y severidad de defoliación) no existieron diferencias significativas entre niveles de fertilización nitrogenada o entre especies, tanto a nivel de categoría de hoja

como a nivel de individuo. Los animales consumieron en mayor proporción las categorías de hojas más jóvenes, lo que obedecería a su distribución en el horizonte de pastoreo.

Las variables morfogénicas tasa de aparición de hojas y vida media foliar no se modificaron con el agregado de nitrógeno. Al comparar entre especies *Bromus* presentó una superior tasa de aparición de hojas en relación a *Stipa*, pero similar vida media foliar.

Las características estructurales longitud foliar total, ancho foliar, peso promedio del macollo, densidad de macollos y peso gravimétrico de la hoja no se modificaron por la fertilización nitrogenada. En el tratamiento fertilizado se observó mayor número de hojas verdes por macollo, mayor porcentaje de macollos chicos en *Stipa* y menor longitud de hoja promedio en *Stipa*.

Al comparar entre especies sólo se encontró diferencias en las características estructurales número de hojas verdes por macollo a favor de *Bromus* y longitud de hoja promedio, longitud foliar total y peso gravimétrico de hoja elongando a favor de *Stipa* en el tratamiento testigo.

Entre tratamientos de fertilización nitrogenada se dieron diferencias significativas en la carga animal, pero no existieron diferencias en la ganancia diaria de peso vivo y en la producción de peso vivo por unidad de superficie.

El agregado de fertilizante nitrogenado no aumento la eficiencia de utilización del crecimiento de forraje. Dado que el consumo animal fue superior al crecimiento bruto del forraje los niveles de eficiencia actual obtenidos fueron mayores al 100%, lo que estaría indicando una situación de sobrepastoreo.

La hipótesis de que el incremento de carga se reflejaría en una mayor eficiencia de utilización del forraje y ésta en un aumento en la productividad secundaria, no se cumplió.

## 6. CONCLUSIONES

El agregado de fertilizante nitrogenado no aumentó la eficiencia de utilización del crecimiento de forraje.

Dado que el consumo animal fue superior al crecimiento bruto del forraje los niveles de eficiencia actual obtenidos fueron mayores al 100 %, lo que estaría indicando una situación de sobrepastoreo.

No se cumplió la hipótesis de que el incremento de carga se reflejaría en una mayor eficiencia de utilización del forraje y ésta en un aumento en la productividad secundaria.

## 7. RESUMEN

La producción ganadera en el Uruguay se basa en un sistema extensivo que utiliza el 75 % del total de la superficie del país, basado en pasturas naturales, en su mayoría gramíneas, con bajos niveles de mejoramiento. El crecimiento invernal de las mismas es limitado por las temperaturas de dicho período; no obstante existen en las pasturas naturales especies con potenciales para crecer a las temperaturas de fin de otoño, invierno y temprano en primavera. La expresión de dicho potencial se ve limitada por la baja disponibilidad de formas asimilables de nitrógeno en los suelos y/o por la reducida área foliar presente, consecuencia de los pastoreos excesivamente intensivos (manejo inadecuado). El uso del nitrógeno es una herramienta para incrementar la productividad del forraje. En el presente trabajo se hipotetizó que en una pastura natural mantenida a un nivel relativamente estable de altura de la cubierta mediante pastoreo continuo con carga animal variable, la fertilización nitrogenada realizada en otoño-invierno, incrementará el crecimiento de forraje en el período otoñal, principalmente por su efecto en la densidad de individuos de las especies de ciclo invernal. En este ensayo se evaluó el efecto residual del nitrógeno, ya que la fertilización fue realizada en el otoño y en la primavera del 2003. Este aumento permitirá incrementar la carga animal, lo que modificará principalmente la frecuencia de la defoliación, resultando en un aumento de la eficiencia de utilización del crecimiento de forraje y de los niveles de productividad secundaria. En un diseño completamente aleatorizado, con dos repeticiones en el espacio se comparó en dos gramíneas invernales de campo natural, *S. setigera* y *B. auleticus*, dos niveles de fertilización nitrogenada (0 y 100 unidades de nitrógeno por hectárea), con pastoreo continuo y carga animal variable para mantener una altura constante en el tapiz. Se realizaron mediciones detalladas sobre macollos marcados con frecuencia bisemanal, durante un período de 45 días (4 de marzo al 16 de abril de 2004). A partir de estas medidas se estimaron los flujos de tejido foliar (crecimiento bruto, senescencia, crecimiento neto y consumo), así como también los patrones de defoliación (frecuencia y severidad) por categoría de hoja y por individuo. Además, se calcularon las variables morfogénicas (tasa de aparición de hoja, tasa de elongación foliar, vida media foliar y filocrón) y estructurales (longitud foliar y número de hojas vivas). En animales se midió la evolución del peso vivo obteniéndose la ganancia diaria promedio por regresión, la carga animal y la producción de carne por unidad de superficie. Durante el transcurso del experimento, las precipitaciones fueron 46 % inferiores al promedio histórico, determinando una situación de déficit hídrico. La misma, provocó una reducción en las tasas de crecimiento de forraje en relación a las obtenidas para la época en el sitio experimental, y como consecuencia se observó una disminución de la altura promedio de la pastura y de la disponibilidad de forraje promedio. Esto no afectó la performance

animal individual, sino que por el contrario los animales ganaron peso durante el período evaluado. En Bromus la tasa de elongación foliar fue mayor en el tratamiento fertilizado respecto al no fertilizado; en Stipa ocurrió un aumento en el crecimiento bruto por unidad de superficie producto del aumento de la densidad de macollos, pasando de 851 a 1505 macollos/ha, sin llegar a ser significativa la diferencia. En ambas especies, la suma térmica explica más del 90% de la tasa de senescencia diaria foliar. El agregado de fertilizante nitrogenado no aumento la eficiencia de utilización del crecimiento de forraje. Dado que el consumo animal fue superior al crecimiento bruto del forraje los niveles de eficiencia actual obtenidos fueron mayores al 100%, lo que estaría indicando una situación de sobrepastoreo. Las variables morfogenéticas y las características estructurales en su mayoría no se modificaron por la fertilización nitrogenada. La hipótesis de que el incremento de carga se reflejaría en una mayor eficiencia de utilización del forraje y ésta en un aumento en la productividad secundaria, no se cumplió.

Palabras clave: Campo natural; Fertilización nitrogenada; Crecimiento de forraje; Producción animal; Morfogénesis; Flujo de tejido foliar.

## 8. SUMMARY

Livestock production in Uruguay is based on an extensive system that uses 75% of the total surface area of the country, based on natural pastures, mostly grasses, with low levels of improvement. The growth of these winter is limited by the temperatures of that period, however, exist in the natural pasture species with potential to grow at temperatures of end of autumn, winter and early spring. The expression of this potential is limited by the low availability of assimilated forms of nitrogen in soils and / or the reduced leaf area present, a consequence of over-intensive grazing (poor handling). The use of nitrogen is a tool for increasing productivity of forage. In this paper we hypothesize that in a natural pasture maintained at a relatively stable level of height of the deck through continuous grazing of animals with variable N fertilization in autumn-winter, will increase the growth of forage in the autumn period, mainly for their effect on the density of individuals of the species of winter cycle. In this test the effect of residual nitrogen, as the fertilization was done in the fall and spring of 2003. This increase will increase the burden animal, which mainly amend the frequency of defoliation, resulting in an increase in the efficiency of utilization of the growth of forage and secondary levels of productivity. In a completely randomized design with two replications in space was compared in two natural grass field in winter, *S. setigera* and *B. auleticus*, two levels of nitrogen fertilization (0 and 100 units of nitrogen per hectare), with animal grazing and continuous variable to maintain a constant height in the tapestry. Detailed measurements were made on bunches marked with twice-weekly frequency for a period of 45 days (March 4 to April 16, 2004). Since these measures were estimated flow Weaving leaf (raw growth, senescence, net growth and consumption), as well as patterns of defoliation (frequency and severity) by road and by category of individual. In addition, we calculated variables morphogenetic (rate of appearance of the leaves, leaf elongation rate, leaf and half-life filocron) and structural (leaf length and number of living leaves). Animals were measured in the evolution of body weight obtained the average daily gain by regression, the burden animal and meat production per unit area. During the course of the experiment, rainfall was 46% lower than the historical average, determining a situation of water deficit. It caused a reduction in growth of forage in relation to those obtained for the season in the experimental site, and as a result there was a decrease in the average height of sward and forage availability average. This did not affect the individual animal performance, but on the contrary, the animals gained weight during the assessment period. In *Bromus* leaf elongation rate was higher in the treatment fertilized with respect to non-fertilized; *Stipa* was an increase in growth in gross product per unit area of increased density of bunches, going from 851 to 1505 bunches / ha, without become a significant difference. In both species, the amount thermal explains over 90% of the daily rate of leaf senescence. The

addition of nitrogen fertilizer does not increase the efficiency of utilization of the growth of forage. Because animal consumption was higher than the growth of gross forage efficiency levels were higher current obtained at 100%, which would indicate a situation of overgrazing. The variables morphogenetic and structural characteristics for the most part were not affected by nitrogen fertilization. The hypothesis that the increased stocking rate would be reflected in greater efficiency of utilization of forage and that would increase secondary productivity, was not met.

Keywords: Grassland; Nitrogen fertilization; Forage accumulation; Animal production; Tissue flows; Morphogenesis.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

1. AGNUSDEI, M. 1999. Analyse de la dynamique de la morphogènese foliare et de la dèfoliation de plusieurs espèces de graminèes soumises à un pâturaje continu dans une communauté végétale de la Pampa humède (Argentine). Thesis de Doctorat. Lorraine, France. Institut National Polytechnique de Lorraine. 108 p.
2. ALCOCK, M. B.; CLARK, H.; HARVEY, A. 1986. The implication of sward height for animal and herbage production from perennial ryegrass sward. In: Frame, J. ed. Grazing. Worcestershire, U.K., British Grassland Society. pp. 39-43 (Occasional Symposium no. 19).
3. AYALA, W.; CARÁMBULA, M. 1994. Nitrógeno en campo natural. In: Nitrógeno en pasturas. Montevideo, INIA. pp. 33-42 (Serie Técnica no. 51).
4. ANSLOW, R. C. 1966. The rate of appearance of leaves on tillers of the Graminae. *Herbage Abstracts*. 36 (3): 149-155.
5. \_\_\_\_\_; GREEN, J. O. 1967. The seasonal growth of pasture grasses. *Journal of Agricultural Sciences (Cambridge)*. 68: 109-122.
6. AROSTEGUY, J. C. 1982. The dynamics of herbage growth and utilization in sward grazed by cattle and sheep. Thesis Ph. D. Edinburg, Great Britain. University of Edinburg. 268 p.
7. AZANZA, A.; PANIZZA, R.; RODRÍGUEZ, H. 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. 85 p.
8. BAHMANI, I.; THOM, E. R.; MATTHEW, C.; LEMAIRE, G. 2001. Productivity of grazed perennial ryegrass dairy pastures from different ecotypes under nitrogen and irrigation treatments. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 44: 123-133.
9. BAKER, A. M.; YOUNGER, A. 1987. Factors affecting the leaf extension rate of perennial ryegrass in spring. *Grass and Forage Science*. 42: 381-390.

10. BARTHAM, G. T.; GRANT, S. A. 1984. Defoliation of ryegrass-dominated sward by sheep. *Grass and Forage Science*. 39: 211-219.
11. \_\_\_\_\_; 1986. Experimental techniques; the HFRO sward stick. *In*: Hill Farming Research Organization Biennial Report, 1984 - 1985. s.l. pp. 29-30.
12. BEMHAJA, M.; BERRETTA, E. J.; BRITO, G. 1998. Respuesta a la fertilización nitrogenada de campo natural de Basalto profundo. *In*: Reunión del Grupo Técnico Regional del Cono Sur en Mejoramiento y Utilización de los Recursos Forrajeros del Área Tropical y Subtropical; Grupo Campos (14<sup>a</sup>, 1998, Uruguay). *Anales*. Montevideo, INIA. pp. 119-122 (Serie Técnica no. 94).
13. BERENSON, M. L.; LEVINE, D. M.; GOLDZTEIN, M. 1983. Intermediate statistical methods and application. s.l., Prentice-Hall. pp. 332-343.
14. BERRETTA, E. J. 1976. Determinación comparativa de productividad de especies perennes de gramíneas invernales. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 72 p.
15. \_\_\_\_\_; FORMOSO, D.; CARBAJAL, C. M.; FERNÁNDEZ, J.; GABACHUTTO, I. R. 1990. Producción y calidad de diferentes especies forrajeras nativas en condiciones de campo. *In*: Seminario Nacional de Campo Natural (2<sup>o</sup>, 1990, Tacuarembó). Trabajos presentados. Montevideo, Hemisferio Sur. pp. 49-62.
16. \_\_\_\_\_; RISSO, D.; LEVRATTO, J.; ZAMIT, W. 1998a. Mejoramiento de campo natural de basalto fertilizado con nitrógeno y fósforo. *In*: Seminario de Actualización en Tecnologías para Basalto (1998, Tacuarembó). *Anales*. Montevideo, INIA. pp. 63-73. (Serie Técnica no. 102).
17. \_\_\_\_\_. 1998b. Producción de comunidades nativas sobre suelos de basalto de la Unidad Itapebí Tres Árboles con diferentes frecuencias de corte. *In*: Seminario de Actualización en Tecnologías para Basalto (1998, Tacuarembó). *Anales*. Montevideo, INIA. pp. 21-31. (Serie Técnica no. 102).
18. \_\_\_\_\_; BEMHAJA, M. 1998c. Producción estacional de comunidades naturales sobre suelos de basalto de la Unidad Queguay Chico. *In*: Seminario de Actualización en Tecnologías para Basalto (1998,

Tacuarembó). Anales. Montevideo, INIA. pp. 11-20 (Serie Técnica no. 102).

19. BETTERIDGE, K.; HAYNES, D. A.; SEDCOLE, J. R. 1989. Changes in composition and quality of a temperate species mixed pasture grazed over three years at two stocking rates with and without nitrogen fertilizer. In: International Grassland Congress (16th., 1989). Proceedings. s.n.t. pp. 825-826.
20. BINNIE, R. C.; CHESTNUTT, D. M. B. 1994. Effect of continuous stocking by sheep at four sward heights on herbage mass, herbage quality and tissue turnover on grass/clover and nitrogen-fertilized grass sward. *Grass and Forage Science*. 49: 192-202.
21. BIRCHAM, J. S.; HODGSON, J. 1983. The influence of sward conditions on rate of herbage growth and senescence in mixed swards under continuous stocking management. *Grass and Forage Science*. 38: 323-331.
22. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_. 1984. The effects of change in herbage mass on rates of herbage growth and senescence in mixed swards. *Grass and Forage Science*. 39: 111-115.
23. BOGGIANO, P. R. 1990a. Evaluación de 14 gramíneas perennes bajo pastoreo. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 113 p.
24. \_\_\_\_\_. 1990b. Evaluación de 14 gramíneas perennes bajo pastoreo. In: Seminario Nacional de Campo Natural (2º., 1990, Tacuarembó). Trabajos presentados. Montevideo, Hemisferio Sur. pp. 185-195.
25. \_\_\_\_\_.; MARASQUIN, G.; NABINGER, C.; RIBOLDI, J.; CADENAZZI, M.; ROSA, L. M. 1999. Effect of the herbage allowance and nitrogen fertilization on tiller density and weight of *Paspalum notatum* Flüge in natural pasture in Rio Grande do Sul. In: International Symposium Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology (1999, Curitiba, BR). Proceedings. Curitiba, Brasil, s.e. pp. 391-394.
26. \_\_\_\_\_.2000. Dinâmica da produção primaria da pastagem nativa em área de fertilidade corrigida sob efeito de adubação nitrogenada e oferta de forragem. Thesis Ph. D. Porto Alegre, Brasil. Universidade Federal do Río Grande do Sul. 179 p.

27. \_\_\_\_\_. 2003. Manejo integrado de ecosistemas y recursos naturales en Uruguay. (en línea). Montevideo, MGAP. Consultado 18 ago. 2008. Disponible en <http://www.mgap.gub.uy/UPCT>
28. \_\_\_\_\_.; ZANONIANI, R.; CADENAZZI, M.; RUSSI, J. I.; GABARD, L. 2004. Manejo sustentable de pasturas. In: Jornada de Pasturas (2004, Paysandú). Memorias. Montevideo, Facultad de Agronomía. 18 p.
29. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; MILLOT, J. C. 2005. Respuestas del campo natural a manejos con niveles crecientes de intervención. In: Seminario de Campo Natural (2005, Montevideo). Trabajos presentados. Montevideo, INIA. pp. 105-113 (Serie Técnica no. 151).
30. BONESMO, H; BÈLANGER, G. 2002. Timothy yield and nutritive value by the CATIMO Model; I. Growth and nitrogen. Contrib. no. 714, Agricultural and Agri-Food. Agronomy Journal. 94: 337-345.
31. 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. 171 p.
32. BROUGHAN, R. W. 1959. The effects of frequency and intensity of grazing on the productivity of pastures of short-rotation rye grass and red and white clover. New Zealand journal of Agricultural Research. 2: 1232-1243.
33. BROWN, R. W. 1995. The water relations of range plants: adaptations to water deficits. In: Bedunah, D. J.; Sosebee, R. eds. Wildland plants; physiological ecology and developmental morphology. Denver, Colorado, Society for Range Management. pp. 291-413.
34. BURGOS DE ANDA, A. 1974. Efecto de la fertilización mineral NP en la producción de forraje de campo natural. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 87 p.
35. CARBAJAL, C. M.; FERNANDEZ, J.; GABACHUTO, I. R. 1987. Producción y calidad de diferentes especies forrajeras naturales bajo condiciones de campo. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 169 p.

36. CARÁMBULA, M. 1997. Pasturas naturales mejoradas. Montevideo, Hemisferio Sur. 524 p.
37. CARRÉRE, P.; LOUAULT, F.; SOUSSANA, J. F. 1997. Tissue turnover within grass- clover mixed swards grazed by sheep. Methodology for calculating growth, senescence and intake fluxes. *Journal of Applied Ecology*. 32: 333-348.
38. CASAL, J. J.; DERREGIBUS, V. A.; SÁNCHEZ, R. A. 1984. Influencia de la calidad de luz sobre el macollaje de gramíneas forrajeras. *Revista Argentina de Producción Animal*. 4 (3): 279-288.
39. \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. 1985. Variation in tiller dynamics and morphology in *Lolium multiflorum* Lam. vegetative and reproductive plants as affected by differences in red/far red irradiation. *Annals of Botany*. 56:553-559.
40. CASTELLS, D. 1974. Fertilización de campo natural. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 81 p.
41. CLARK, D. A.; CHAPMAN, D. F.; LAND, C. A.; DYMOCK, N. 1984. Defoliation of *Lolium perenne* and *Agrostis spp.* Tillers, and *Trifolium repens* stolons in set-stocked and rotationally grassed hill pastures. *New Zealand Journal of Agricultural Research*. 27: 289-301.
42. COLABELLI, M.; AGNUSDEI, M. G.; MAZZANTI, A.; LABREVEUX, M. 1998. El proceso de crecimiento y desarrollo de gramíneas forrajeras como base para el manejo de defoliación. INTA. Balcarce, Argentina. Boletín técnico no. 148. 21 p.
43. CORDERO, J.; MAZZANTI, A.; AGNUSDEI, M. 1996. Estabilidad de la producción de forraje en festuca alta bajo pastoreo continuo. *Revista Argentina de Producción Animal*. 4 (3): 242-243.
44. COUGHENOUR, M. B. 1985. Graminoid responses to grazing. *Annals of the Missouri Botanical Garden*. 72: 852-863.
45. CRUZ, P.; BOVAL, M. 1999. Effect of nitrogen on some morphogenetical traits of temperate and tropical perennial forage grasses. *In: International Symposium Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology* (1999, Curitiba, BR). 1999. Proceedings. Curitiba, Brasil, s.e. pp. 134-150.

46. CURLL, M. L.; WILKINS, R. J. 1982. Frequency and severity of defoliation of grass and clover by sheep at different stocking rates. *Grass and Forage Science*. 37: 291-297.
47. CHAPMAN, D. F.; CLARK, D. A. 1984. Pasture responses to grazing management in hill country. *Proceedings of the New Zealand Grassland Association*. 45: 168-176.
48. \_\_\_\_\_; LEMAIRE, G. 1993. Morphogenetic and structural determinants of plant regrowth after defoliation. *In: Proceeding of International Grassland Congress (17<sup>o</sup>, 1993, New Zealand)*. New Zealand. pp. 95-104.
49. DAVIES, A. 1971. Changes in growth rate and morphology of perennial ryegrass swards at high and low nitrogen levels. *Journal of Agricultural Sciences (Cambridge)*. 77: 123-134.
50. \_\_\_\_\_. 1977. Structure of the grass sward. *In: International Meeting on Animal Production from Temperate Grassland (1977, Dublin, Ireland)*. 1977. *Proceedings*. s.n.t. pp. 36-44.
51. \_\_\_\_\_. 1979. Developmental characteristics of grass varieties in relation to herbage production. 4. effect of nitrogen on the length and longevity of leaf blades in primary growth of *Lolium perenne*, *Dactylis glomerata*, *Phleum pratense*. *Journal of Agricultural Sciences (Cambridge)*. 92: 277-287.
52. \_\_\_\_\_; THOMAS, H. 1983. Rates of leaf and tiller production in young spaced perennial ryegrass plants in relation to soil temperature and solar radiation. *Annals of Botany*. 57: 591-597.
53. \_\_\_\_\_. 1988. The regrowth of grass swards. *In: Jones, M. B.; Lazenby, A. eds. The grass crops; the physiological basis of production*. New York, Chapman and Hall. pp. 177-208.
54. \_\_\_\_\_; EVANS, M. E. 1990. Effects of spring defoliation and fertilizer nitrogen on the growth of white clover in ryegrass/clover swards. *Grass and Forage Science*. 45: 345-356.
55. \_\_\_\_\_. 1993. Tissue turnover in the sward. *In: Davies, A.; Baker R. D.; Grant, S. A.; Laidlaw, A. S. eds. Sward measurement handbook*. 2nd. ed. Hurley, British Grassland Society. pp. 183-216.

56. DAVIES, P. 1990. Efecto del nivel del nitrógeno y densidad de siembra en *Bromus auleticus*. In: Seminario Nacional de Campo Natural (2º., 1990, Tacuarembó). Trabajos presentados. Montevideo, Hemisferio Sur. pp. 105-114.
57. DAVIDSON, I. A.; ROBSON, M. J. 1990. Short term effects of nitrogen on the growth and nitrogen nutrition of small swards of white clover and perennial ryegrass in spring. *Grass and Forage Science*. 45: 413-421.
58. 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.
59. DERREGIBUS, V. A.; SÁNCHEZ, R. A. 1981. Influencia de la densidad del canopeo en el macollaje de gramíneas forrajeras. *Producción Animal*. 8: 254-261.
60. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; CASAL, J. J.; TRLICA, M. J. 1985. Tillering responses to enrichment of red light beneath the canopy in a humid natural grassland. *Journal of Applied Ecology*. 22: 199-206.
61. DURAN, A. 1991. Los suelos del Uruguay. Montevideo, Hemisferio Sur. 398 p.
62. DURAND, J. L.; GASTAL, F.; ETCHEBEST, S., BONNET, A. C.; GHESQUIERE, M. 1997. Interspecific variability of plant water status and leaf morphogenesis in temperate forage grasses under summer water deficit. *European Journal of Agronomy*. 7: 99-107.
63. \_\_\_\_\_. 2007. Les effets du déficit hydrique sur la plante: aspects physiologiques. *Fourrages*. 190: 181-195.
64. FRAME, J. 1993a. Herbage mass. In: Davies, A.; Baker, R. D.; Grant, S. A.; Laidlaw, A. S. eds. *Sward measurement handbook*. 2nd. ed. Hurley, British Grassland Society. pp. 40-67.
65. \_\_\_\_\_. 1993b. *Improved grassland management*. Ipswich, Farming Press. pp. 101-118.

66. GALES, K. 1979. Effects of water supply on partitioning of dry matter between roots and shoots in *Lolium perenne*. *Journal Applied Ecology*. 16: 863-877.
67. GASTAL, F.; LEMAIRE, G. 1988. Study of a tall fescue sward grown under nitrogen deficiency conditions. *In*: General Meeting of the European Grassland Federation (12<sup>th</sup>., 1988, Dublin). Proceedings. Dublin, Ireland, s.e. pp. 323-327.
68. \_\_\_\_\_.; BELANGER, G.; LEMAIRE, G. 1992. A model of the leaf extension rate of tall fescue in response to nitrogen and temperature. *Annals of Botany*. 70: 437-442.
69. \_\_\_\_\_.; DURAND, J. L. 2000. Effects of nitrogen and water on N and C fluxes and partitioning in defoliated swards. *In*: Lemaire, G.; Hodgson, J.; Moraes, A. de; Nabinger, C.; Carvalho, P. C. de F. eds. *Grassland ecophysiology and grazing ecology*. s.n.t. pp. 25-39.
70. GARCIA, S. C.; MAZZANTI, A. 1993. Fertilización nitrogenada en raigrás anual cv. "Grassland Tama". *In*: Jornadas de Producción de Carne y Lana (1993, Tandil, Argentina). Memorias. s.n.t. s.p.
71. GAUTIER, H.; VARLET-GRANCHER, C. 1996. Regulation of leaf growth of grass by blue leight. *Physiologia Plantarum*. 98: 424-430.
72. GILLET, M.; LEMAIRE, G.; GOSSE, G. 1984. Essai d'élaboration d'un schema global de la croissance des graminées fourragères. *Agronomie*. 4 (1): 75-82.
73. GOMIDE, J. A. 1997. Morphogenesis and growth analysis of tropical grasses. *In*: International Symposium on Animal Production under Grazing (1997, Minas Gerais, Brazil). Proceedings. s.n.t. pp. 97-115.
74. GORDON, F. J. 1982. Level of nitrogen fertilizer applied to grassland for dairy cows. *In*: General Meeting of the European Grassland Federation (9<sup>th</sup>., 1982). Proceedings. Reading, s.e. pp. 175-178.
75. GRANT, S. A.; BARTHAM, G. T.; TORVELL, L.; KING, J.; SMITH, H. K. 1983. Sward management, lamina turnover and tiller population density in continuously stocked *Lolium perenne* – dominated swards. *Grass and Forage Science*. 38: 333-344.

76. \_\_\_\_\_.; KING, J. 1984. Grazing management and pasture production: the importance of sward morphological adaptations and canopy photosynthesis. *In*: Hill Farming Research Organization Biennial Report, 1982 - 1983. s.l. pp. 119-129.
77. \_\_\_\_\_.; 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.
78. HARRISON, R.; PRIVITELLO, M.; GABUTTI, E.; LEPORATI, J. Fertilización nitrogenada en un pastizal pampeano de la provincia de San Luis. (en línea). s.n.t. Consultado 20 set. 2007. Disponible en <http://www.congresopastizales.com.ar>
79. HAYDOCK, K. P.; SHAW, N. H. 1975. The comparative yield method for estimating dry matter yield of pasture. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*. 15: 663-670.
80. HEADY, H. F., CHILD, R. D. 1994. *Rangeland ecology management*. Boulder, USA, Westview. 519 p.
81. HODGSON, J. 1966. The frequency of defoliation of individual tillers in a set - stocked sward. *Journal of British Grassland Society*. 21: 258-263.
82. \_\_\_\_\_.; OLLERENSHAW, J. H. 1969. The frequency and severity of defoliation of individual tillers in set - stocked sward. *Journal of British Grassland Society*. 49: 226-234.
83. \_\_\_\_\_.; WADE, M. H. 1978. Grazing management and herbage production. *In*: Meeting of the British Grassland Society (1978, Hurley, U.K.). Actes. s.n.t. pp. 1.1-1.12.
84. \_\_\_\_\_.; BIRCHAM, J. S.; GRANT, S. A.; KING, J. 1981. The influence of cutting and grazing management on herbage growth and utilisation. *In*: Wright, C. E.; Nottingham, U.K. eds. *Plant physiology and herbage production*. s.l., British Grassland Society. pp. 51-62 (Occasional Symposium no. 13).
85. \_\_\_\_\_.; MAXWELL, T. J. 1982. Grazing research and grazing management. *In*: Hill Farming Research Organization Biennial Report, 1979 - 1981. Penicuik, U.K. pp. 169-187.

86. \_\_\_\_\_. 1985. The significance of sward characteristics in the management of temperature sown pastures. In: International Grassland Congress (15th., 1985, Kyoto). Proceedings. Kyoto, Japon, s.e. pp. 31-34.
87. \_\_\_\_\_. 1990. Grazing management; science into practice. New York, Longman. 203 p.
88. KING, J.; GRANT, S. A.; TRAVELL, L.; SIM, E. M. 1984. Growth rate, senescence and photosynthesis of ryegrass swards cut to maintain a range of values for leaf area index. *Grass and Forage Science*. 39: 371-380.
89. KRAMER, P. J. 1980. Drought, stress, and the origin adaptations. In: Turner, N.C.; Kramer, P.J. eds. *Adaptation of plants to water and high temperature stress*. New York, Wiley. pp. 7-20.
90. LAIDLAW, A. S.; STEEN, R. W. J., 1989. Turnover of grass laminae and white clover leaves in mixed swards continuously grazed with steers at a high - and low-N fertilizer level. *Grass and Forage Science*. 44: 249-258.
91. \_\_\_\_\_.; WATSON, C. J.; MAYNE, C. S. 1998. Implication of nitrogen fertilizer applications and extended grazing for the N economy of grassland. *Grass and Forage*. 55: 3746.
92. LARGE, R. V., COBBY, J. M., BAKER, R. D. 1985. The design and conduct of experiments to measure animal and herbage production to response to fertilizer under cutting and grazing managements. *Journal for Agricultural Science (Cambridge)*. 104: 85-94.
93. LATTANZI, F.; MARINO, M. A.; MAZZANTI, A. 1997. Fertilizer Nitrogen and morphogenetic responses in *Avena sativa* and *Lolium multiflorum*. In: International Grassland Congress (18th., 1997, Canadá). Proceedings. s.n.t. pp. 7.3-7.4.
94. LEMAIRE, G., SALETTE, J. 1984. Relation entre dynamique the croissance et dynamique de prélèvement d'azote pour un peuplement de graminées fourragères. I. Etude de l'effet du milieu. *Agronomic*. 4: 423-430.
95. \_\_\_\_\_. 1985. Cinetiqué de croissance d' un peuplement de féтуque élevée (*Festuca arundinacea* Schreb.) pendant l' hiver et le printemps.

Effet des facteurs climatiques. Thèse d'Etat. Caen, France. Université de Caen. 96 p.

96. \_\_\_\_\_; DENOIX, A. 1987. Croissance estivale en matière sèche de peuplement de fétuque élevée (*Festuca arundinacea* Schreb.) et de dactyle (*Dactylis glomerata* L.) dans l'Ouest de la France. II – Interaction entre les niveaux d'alimentation hydrique et de nutrition azotée. *Agronomie*. 7 (6): 381-389.
97. \_\_\_\_\_; VARLET-GRANCHER, C.; GASTAL, F.; DURAND, J. L. 1987. Ecophysiological approach to plant growth. Consequences for breeding strategies for forage species in contrasting conditions and different managements. *In*: EUCARPIA Natural Variation and Breeding for Adaptation (1987). Proceedings. s.l., INRA. pp. 103-118.
98. \_\_\_\_\_; CHAPMAN, D. 1996. Tissue flows in grazed plant communities. *In*: Hodgson, J., Illius, A.W. eds. The ecology and management of grazing systems. s.l., Centre for Agriculture and Biosciences International. pp. 3-36.
99. \_\_\_\_\_. 1997. The physiology of grass growth under grazing: tissue turnover. *In*: International Symposium on Animal Production Under Grazing (1997, Minas Gerais, Brazil). Proceedings. s.n.t. pp. 117-144.
100. \_\_\_\_\_; AGNUSDEI, M. 1999. Leaf tissue turn-over and efficiency of herbage utilisation. *In*: International Symposium Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology (1999, Curitiba, Brasil). Proceedings. Curitiba, Brasil, s.e.pp. 165-186.
101. \_\_\_\_\_; PFLIMLIN, A. 2007. Les sécheresses passées et à venir: quels impacts et quelles adaptations pour les systèmes fourragers. *Fourrages*. 190: 163-180.
102. LOEPPKY, H. A.; COULMAN, B. E. 2001. Residue removal and nitrogen fertilization affects tiller development and flowering in meadow bromegrass. *Agronomy Journal*. 93: 891-895.
103. LONGNECKER, N. E.; ROBSON, A. D. 1994. Leaf emergence of spring wheat receiving nitrogen varying nitrogen supply at different stages of development. *Annals of Botany*. 74: 1-7.

104. MAC ADAM, J. W.; VOLENEC, J. J.; NELSON, C. J. 1989. Effects of nitrogen on mesophyll cell division and epidermal cell elongation in tall fescue leaf blades. *Plant Physiology*. 89 (2): 549-556.
105. MARINO, M. A.; MAZZANTI, A.; ECHEVERRIA, H. E. 1995. Fertilización nitrogenada de cultivos forrajeros anuales de invierno en el sudeste bonaerense. I. Crecimiento y acumulación de forraje. *Revista Argentina de Producción Animal*. 15 (1): 179-182.
106. \_\_\_\_\_. 1996. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre el crecimiento invierno – primaveral, la composición química y calidad del forraje de *Avena Sativa* y *Lolium multiflorum Lam.* Tesis Mg. Sc. Mar del Plata, Argentina. Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ciencias Agrarias. 104 p.
107. MAS, C.; BERMÚDEZ, R.; AYALA, W. 1991. Crecimiento de las pasturas naturales en dos suelos de la región Este. In: Carámbula, M.; Vaz Martins, D.; Indarte, E. Eds. Pasturas y producción animal en las áreas de ganadería extensiva. Montevideo, INIA. pp. 59-67 (Serie Técnica no. 13).
108. 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. Thesis Dr. Sc. París, France. Université de Paris. Centre d' Orsay. 109 p.
109. \_\_\_\_\_.; LEMAIRE, G.; GASTAL, F. 1994a. The effect of nitrogen fertilization upon production of tall fescue swards continuously whitt sheep. 1. Herbage growth dynamics. *Grass and Forage Science*. 49: 111-120.
110. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_. 1994b. Effect of nitrogen fertilization on herbage production of tall fescue swards continuously grazed by sheep. 2. Consumption and efficiency of herbage utilization. *Grass and Forage Science*. 49: 352-359.
111. MILLOT, J. C.; RISSO, D.; METHOL, R. 1987. Relevamiento de pasturas naturales y mejoramientos extensivos en áreas ganaderas del Uruguay. Montevideo, FUCREA. 199 p.
112. \_\_\_\_\_. 1989. La Seca del 89. Comentarios de su efecto sobre las pasturas y la producción pecuaria. (en línea). s.l., INTA. Consultado 16

dic. 2008. Disponible en  
<http://www.inta.gov.ar/mercedes/grupocampos/XI/Millot.pdf>

113. MORRIS, R. M. 1969. The pattern of grazing in "continuously " grazed swards. *Journal of the British Grassland Society*. 24: 65-70.
114. MORRISON, J. 1987. Effects of nitrogen fertilizer. *In*: *Managed Grasslands; Analytical Studies (1987)*. Proceedings. London, U.K., Elsevier. pp. 61-69.
115. MOTT, G. O.; QUINN, L. R.; BISSCHOFF, W. V. A. 1970. The retention of nitrogen in a soil-plant-animal system in Guinea grass (*Panicum maximum*) pastures in Brazil. *In*: *International Grassland Congress (1970, Australia)*. Proceedings. s.n.t. s.p.
116. MUIR, J. P.; SANDERSON, M. A.; OCUMPAUSH, W. R.; JONES, R. M.; REED, R. L. 2001. *Agronomy Journal*. 93 (4): 896-901.
117. NELSON, C. J.; ZARROUGH, K. M. 1981. Tiller density and tiller weight on yield determinants of vegetative swards. *In*: Wright, C. E. ed. *Plant physiology and herbage production*. Nottingham, U.K., British Grassland Society. pp. 25-29 (Occasional Symposium no. 13).
118. OLMOS, F. 1993. *Bromus Auleticus*. Montevideo, INIA. 30 p. (Serie Técnica no. 35).
119. ONG, C. K. 1978a. The physiology of tillers death in grasses. 1. The influence of tiller age, size and position. *Journal of the British Grassland Society*. 33: 197-203.
120. \_\_\_\_\_; C. K.; MARSHALL, C.; SAGAR, G. R. 1978b. The physiology of tillers dead in grasses. 2. Causes of tiller death in a grass swards. *Journal of the British Grassland Society*. 33: 205-211.
121. ONILLON, B.; DURAND, J. L.; GASTAL, F.; TOURNEBIZE, R. 1995. Drought effects on growth and carbon partitioning in a tall fescue sward grown at different rates of nitrogen fertilization. *European Journal of Agronomy*. 4 (1): 91-99.
122. PARSONS, J. A.; LEAFE, E. L.; COLLET, B.; PENNING, P. D.; LEWIS, J. 1983. The physiology of grass production under grazing. II. Photosynthesis, crop growth and animal intake of continuously – grazed swards. *Journal of Applied Ecology*. 20: 117-126.

123. \_\_\_\_\_; JOHNSON, I. R. 1986. The physiology of grass growth under grazing. *In*: Frame, J. ed. Grazing. Worcestershire, U.K., British Grassland Society. pp. 3-13 (Occasional Symposium no. 19).
124. \_\_\_\_\_. 1988. The effects of season and management on the growth of grass swards. *In*: Jones, M. B.; Lazenby, A. eds. The grass crops: the physiological basis of production. New York, Chapman and Hall. pp. 129-177.
125. PEACOCK, J. M. 1975. Temperature and leaf growth in *Lolium perenne*. III. Factors affecting seasonal differences. *Journal of Applied Ecology*. 12: 685-697.
126. PEARSE, J.; WILMAN, D. 1984. Effects of applied nitrogen on grass leaf initiation, development and death in field swards. *Journal of Agricultural Sciences (Cambridge)*. 103: 405-413.
127. PEIRANO, M. E., RODRÍGUEZ, D. 2004. Evaluación de la fertilización nitrogenada de campo natural bajo pastoreo de vacunos en el período invernal. Tesis Ing. Agr. Montevideo, Uruguay. Facultad de Agronomía. 106 p.
128. PUEYO, D. J. 1996. Dinámica del crecimiento y utilización de pastizales naturales de la Pampa Deprimida Bonaerense. Tesis Mg. Sc. Mar del Plata, Argentina. Universidad Nacional de Mar del Plata. Facultad de Ciencias Agrarias. 100 p.
129. RABUFFETTI, A.; ZAMALVIDE, J. P. 1977. Fluctuaciones estacionales del Nitrógeno; curso de Suelos. Montevideo, Facultad de Agronomía. t. 5, pt. 2, pp. 171-172.
130. RISSO, D.; SCAVINO, J. 1978. Región Centro Sur. Miscelánea CIAAB. no. 18: 25-36.
131. \_\_\_\_\_.; REBUFFO, M.; BEMHAJA, M. 1991. Uso de leguminosas forrajeras en sistemas pastoriles; situación actual del Uruguay. (en línea). Montevideo, INIA. Consultado 10 mar. 2008. Disponible en <http://www.inia.org.uy/sitios/lnl/vol36/rebuffo2.pdf>
132. \_\_\_\_\_.; BERRETTA, E.; LEVRATTO, J.; ZAMIT, W. 1998. Efecto de la fertilización N \* P y la carga animal sobre la productividad de una pastura natural. *In*: Seminario de Actualización en Tecnologías para

- Basalto (1998, Tacuarembó). Anales. Montevideo, INIA. pp. 175-182. (Serie Técnica no. 102).
133. ROBSON, M. J.; PARSONS, A. J. 1978. Nitrogen deficiency in small closed communities of S24 ryegrass. I. Photosynthesis, respiration, dry matter production and partition. *Annals of Botany Company*. 42: 1185-1197.
134. \_\_\_\_\_; RYLE, G. J. A.; WOLDEDGE, J. 1988. The grass plant – its form and function. *In*: Jones, M. B.; Lazenby, A. ed. *The grass crops; the physiological basis of production*. New York, Chapman and Hall. pp. 25–83.
135. RODRÍGUEZ PALMA, R. 1998. Fertilización nitrogenada de un pastizal de la Pampa Deprimida: crecimiento y utilización del forraje bajo pastoreo de vacunos. Tesis M. Sc. Balcarce, Argentina. Facultad de Ciencias Agrarias. 135 p.
136. \_\_\_\_\_; SALDANHA, S.; IURATO, A.; RODRÍGUEZ, P. 2003. Effect of nitrogen fertilization upon the morphogenetic and structural characteristics of two materials of *Bromus auleticus*. *In*: World Conference on Animal Production (9<sup>a.</sup>, 2003, Porto Alegre). Proceedings. Porto Alegre, Brasil, UFRGS. pp. 111.
137. \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_; ANDIÓN, J.; VERGNES, P. 2004a. Fertilización nitrogenada de campo natural de Basalto. 1. Producción de forraje. *In*: Reunión del Grupo Técnico Regional del Cono Sur en Mejoramiento y Utilización de los Recursos Forrajeros del Área Tropical y Subtropical; Grupo Campos (20<sup>a.</sup>, 2004, Salto). Trabajos presentados. Salto, Uruguay, s.e. pp. 298-299.
138. \_\_\_\_\_; VERGNES, P.; ANDIÓN, J. 2004b. Fertilización nitrogenada de campo natural de Basalto. 2. Producción animal. *In*: Reunión del Grupo Técnico Regional del Cono Sur en Mejoramiento y Utilización de los Recursos Forrajeros del Área Tropical y Subtropical; Grupo Campos (20<sup>a.</sup>, 2004, Salto). Trabajos presentados. Salto, Uruguay, s.e. pp. 318-319.
139. \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_; PEIRANO, M. E.; RODRÍGUEZ, D.; AZANZA, A.; PANISSA, R.; RODRÍGUEZ D'ÁVILA, H. 2004c. Fertilización nitrogenada de campo natural de Basalto. 3. Consumo y mecanismos de defoliación. *In*: Reunión del Grupo Técnico Regional del Cono Sur en Mejoramiento y Utilización de los Recursos Forrajeros

del Área Tropical y Subtropical; Grupo Campos (20<sup>a.</sup>, 2004, Salto). Trabajos presentados. Salto, Uruguay, s.e. pp. 320-321.

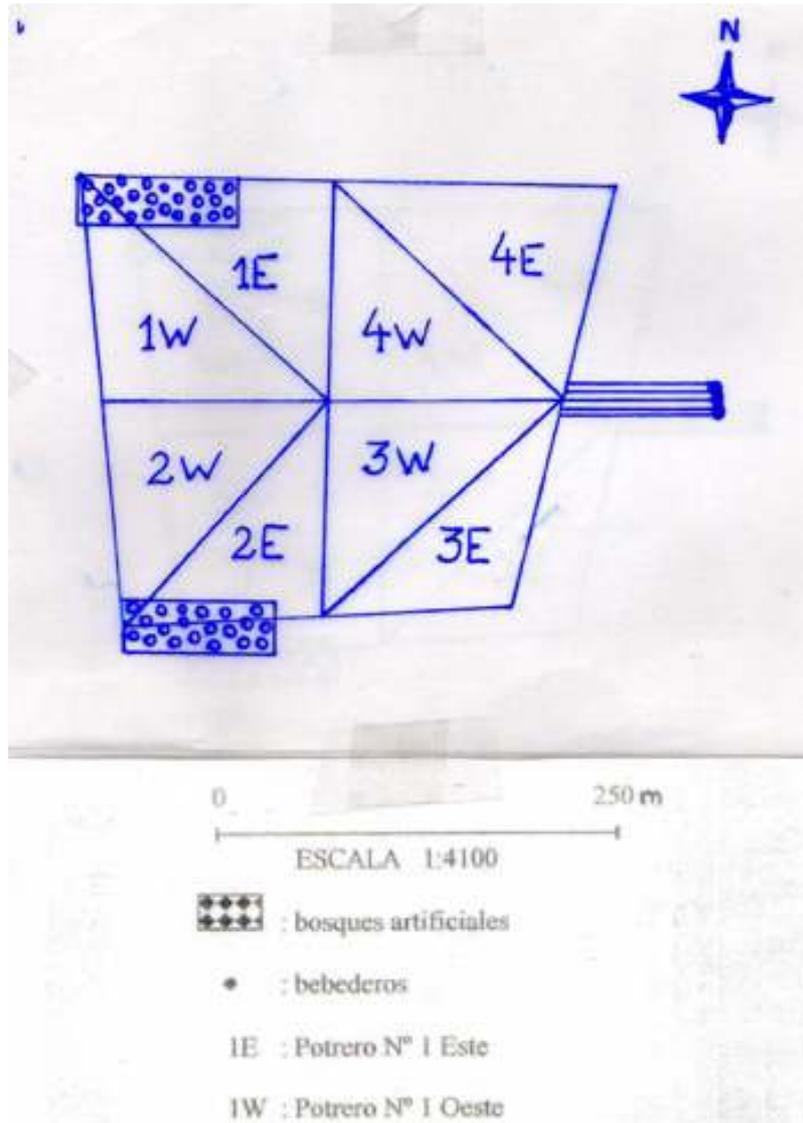
140. \_\_\_\_\_.; RODRIGUEZ, T.; ANDIÓN J.; VERGNES, P.; SALDANHA, S. 2005. Producción de forraje en pasturas naturales fertilizadas. In: Congreso Nacional sobre Manejo de Pastizales Naturales (3<sup>o</sup>, 2005, Paraná). Libro de actas y resúmenes. Paraná, Provincia de Entre Ríos, s.e. p. 120.
141. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; VERGNES, P.; ANDIÓN, J. 2006. Fertilización nitrogenada de campo natural; forraje acumulado y productividad secundaria. In: Reunión del Grupo Técnico Regional del Cono Sur en Mejoramiento y Utilización de los Recursos Forrajeros del Área Tropical y Subtropical; Grupo Campos (21<sup>er</sup> ., 2006, Pelotas). Trabajos presentados. Pelotas, Brasil. 1 disco compacto, 8 mm.
142. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_. 2007a. Fertilización nitrogenada de campo natural; acumulación de forraje. *Revista Argentina de Producción Animal*. 27 (1): 234-235.
143. \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_.; \_\_\_\_\_. 2007b. Fertilización nitrogenada de campo natural; performance animal. *Revista Argentina de Producción Animal*. 27 (1): 236-237.
144. ROSENGURTT, B.; GALLINAL, J. P.; CAMPAL, E.; BERGALLI, I.; ARAGONE, L. 1946. Estudios sobre praderas naturales del Uruguay; 5ta. contribución. Montevideo, Rosgall. s.p.
145. \_\_\_\_\_. 1979. Tabla de comportamiento de las especies de plantas de campos naturales en el Uruguay. Montevideo, Universidad de la República. Departamento de Publicaciones y Ediciones. 86 p.
146. RYLE, G. J. A. 1964. A comparison of leaf and tiller growth in seven perennial grasses as influenced by nitrogen and temperature. *Journal of the British Grassland Society*. 19: 281-290.
147. SAS INSTITUTE. 1989. SAS/STAT; software user's guide, rel. 8. Cary, N.C. 1167 p.
148. SANDFORD, H. 1979. Some effects of fertilizer nitrogen on the botanical composition and yield of hill and upland swards. In: Charles, A. H.; Haggar, R. J. eds. Changes in sward composition and productivity.

- Hurley, UK, British Grassland Society. pp. 61-64 (Occasional Symposium no. 10).
149. SIMON, J. C.; LEMAIRE, G. 1987. Tillering and leaf area index in grasses in the vegetative phase. *Grass and Forage Science*. 42: 373-380.
  150. SINGER, J. W. 2002. Species and nitrogen effect on growth rate, tiller density, and botanical composition in grass hay production. *Crop Science*. 42: 208-214.
  151. \_\_\_\_\_; MOORE, K. J. 2003. Nitrogen removal by Orchardgrass and Smooth Bromegrass and residual soil nitrate. *Crop Science*. 43: 1420-1426.
  152. SPEEDING, C. R. W. 1971. *Grassland ecology*. Oxford, U.K, s.e. cap. 14, pp. 120-127.
  153. STUTH, J. W.; KIRBY, D. R.; CHMIELEWSKI, R. E. 1981. Effect of herbage allowance on the efficiency of defoliation by the grazing animal. *Grass and Forage Science*. 36: 9 – 15.
  154. THOMAS, H. 1983. Analysis of the nitrogen response of leaf extension in *Lolium temuletum* seedlings. *Annals of Botany*. 51: 363-371.
  155. THOMAS, H.; NORRIS, I. B. 1981. The influence of light and temperature during winter on growth and death in simulated of *Lolium perenne*. *Grass and Forage Science*. 36: 107-116.
  156. TISDALE, S. I.; NELSON, W. L. 1966a. Fertilidad de suelos y fertilizantes. s.n.t. cap. 3. pp. 78-120.
  157. \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. 1966b. Fertilidad de suelos y fertilizantes. s.n.t. cap. 5. pp. 138-211.
  158. \_\_\_\_\_; \_\_\_\_\_. 1966c. Fertilidad de suelos y fertilizantes. s.n.t. cap. 16. pp. 683-737.
  159. UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA (URUGUAY). FACULTAD DE AGRONOMÍA. 2004. Curso práctico de agrometeorología. Montevideo. pp. 84-86.
  160. URUGUAY. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA. COMISIÓN NACIONAL DE ESTUDIO AGROECONÓMICO DE LA TIERRA.

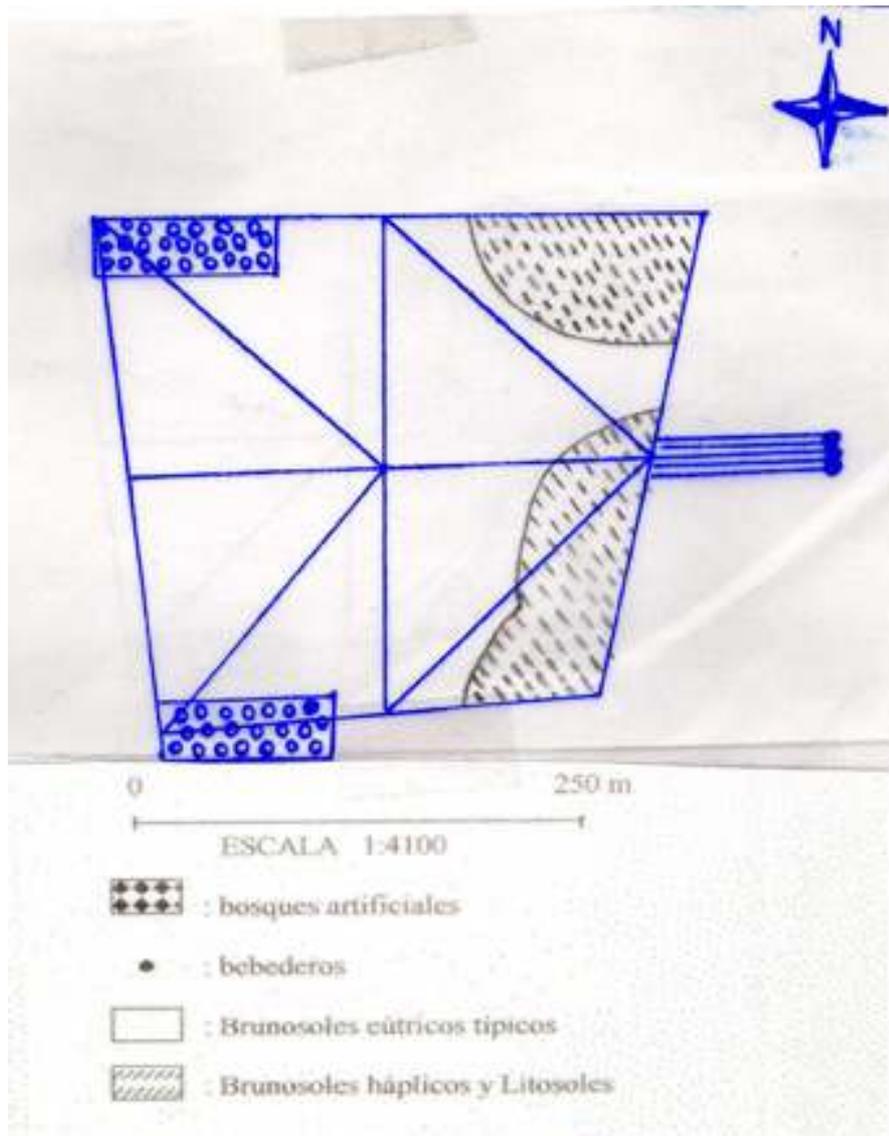
1979. Índices de productividad; grupos CONEAT. Montevideo. s.p.
161. \_\_\_\_\_. \_\_\_\_\_. DIRECCIÓN DE INVESTIGACIONES ECONÓMICAS AGROPECUARIAS. 2007. Anuario estadístico agropecuario 2007. Montevideo. 190 p.
162. \_\_\_\_\_. MINISTERIO NACIONAL DE DEFENSA. DIRECCIÓN NACIONAL DE METEOROLOGÍA. 1996. Normales climatológicas período 1961-1990. Montevideo. s.p.
163. VOLENEC, J. J.; NELSON, C. J. 1983. Responses of tall fescue leaf meristems to N fertilization and harvest frequency. *Crop Science*. 23: 720-724.
164. WADE, M. H. 1991. Factors affecting the availability of vegetative *Lolium perenne* to grazing dairy cows with special reference to sward characteristics, stocking rate and grazing method. Thesis Dr. Sc. Rennes, France. Université de Rennes. 57 p.
165. WHITEHEAD, D. C. 1995. Grassland nitrogen. Wallingford, U.K., CABI. 397 p.
166. WILMAN, D. 1980a. Early spring and late autumn response to applied nitrogen in four grasses. I Yield, number of tillers and chemical composition. *Journal of Agricultural Sciences (Cambridge)*. 94: 425-442.
167. \_\_\_\_\_.; MOHAMED, A. A. 1980b. Early spring and late autumn response to applied nitrogen in four grasses. 2. leaf development. *Journal of Agricultural Sciences (Cambridge)*. 94: 443-453.
168. \_\_\_\_\_.; WRIGHT, P. T. 1983. Some effects of applied nitrogen on the growth and chemical composition of temperate grasses. *Herbage Abstracts*. 53 (8): 387-393.
169. \_\_\_\_\_.; PEARSE, P. J. 1984. Effects of applied nitrogen on grass yield, nitrogen content, tillers and leaves in field swards. *Journal of Agricultural Science*. 103: 201-211.
170. WOODWARD, F. J. R. 1998. Quantifying of different causes of leaf and tiller dead in grazed perennial ryegrass sward. *New Zealand Journal of Agriculture*. 41: 149-159.

## 10. ANEXOS

### Anexo No. 1. Croquis del experimento

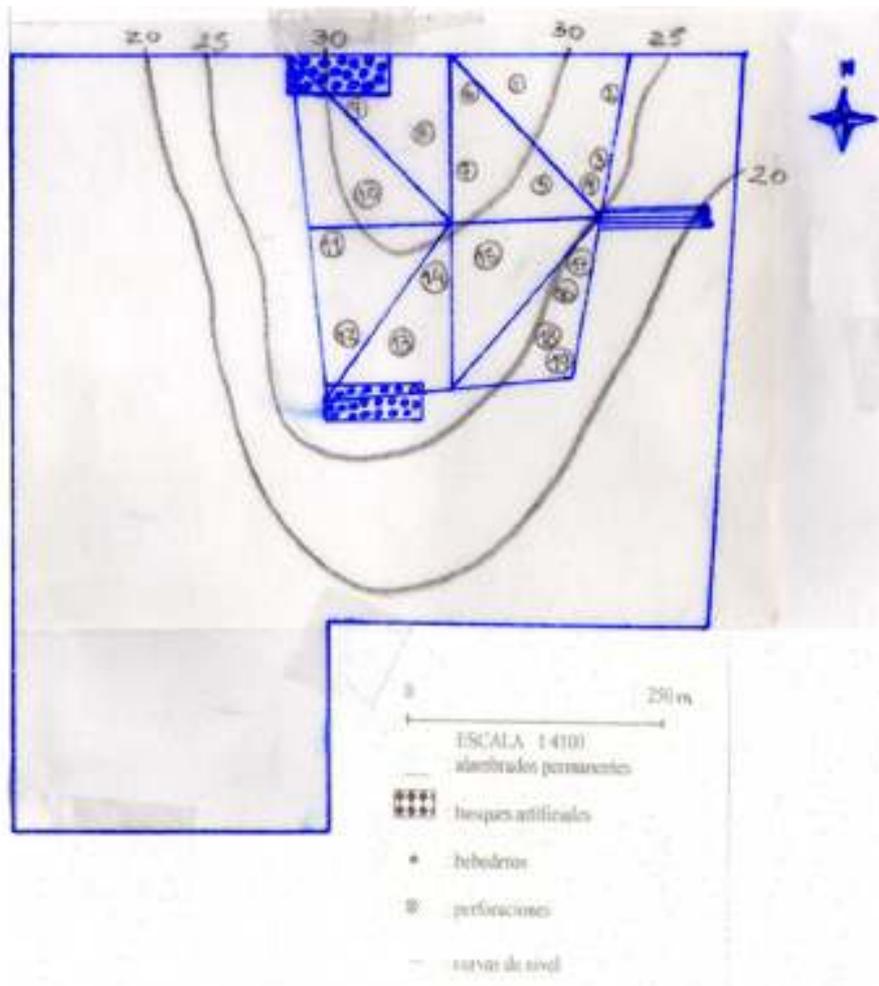


Anexo No. 2. Mapa de suelos



**Anexo No. 3.**

**3A. Mapa de perforaciones (Fuente: Cambra y Rodríguez)<sup>3</sup>**



<sup>3</sup>. Cambra, A.; Rodríguez, D. 2004. Com. personal

### 3B. Descripción de las perforaciones

Muestra No. 1:

Brunosol háplico eutríco

Profundidad: 34 cm

0 – 14 cm: horizonte Au<sub>1</sub>, arcillo limoso, pardo oscuro, transición gradual.

14 – 34 cm: horizonte Au<sub>2</sub>, arcillo limoso, pardo más oscuro, transición abrupta.

+ 34 cm: tosca de Formación Fray Bentos.

Muestra No. 2:

Litosol

Profundidad: 15 cm

0 – 15 cm: horizonte Au<sub>1</sub>, franco arcillo limoso, pardo, con gravas.

+ 15 cm: R (Basalto consolidado).

Muestra No. 3:

Brunosol eutríco

Profundidad: ¿? cm

0 – 39 cm: horizonte Au<sub>1</sub>, arcillo limoso, pardo muy oscuro, transición gradual.

39 – 64 cm: horizonte Bt<sub>21</sub>, arcillo limoso pesado, pardo muy oscuro, transición gradual.

64 – 97 cm: horizonte Bt<sub>22</sub>, arcillo limoso pesado, pardo más claro.

+ 97 cm: ¿?

Muestra No. 4:

Brunosol éutríco

Idem 3

Observación: aproximadamente a 20 metros del afloramiento de Basalto.

Muestra No. 5:

Brunosol éutríco

Profundidad: ¿? cm

0 – 30 cm: horizonte Au<sub>1</sub>, arcillo limoso, pardo muy oscuro, transición gradual.

30 – 75 cm: horizonte Bt<sub>2</sub>, arcillo limoso pesado, pardo muy oscuro.

+ 75 cm: ¿?

Muestra No. 6:

Brunosol éútrico

Profundidad: 74 cm

0 – 22 cm: horizonte Au<sub>1</sub>, arcillo limoso, pardo oscuro, transición gradual.

22 – 50 cm: horizonte Bt<sub>2</sub>, arcillo limoso pesado, pardo oscuro, transición gradual.

50 – 65 cm: horizonte BC, franco arcillo limoso, pardo, transición gradual.

65 – 74 cm: horizonte C, franco arcillo limoso, con abundantes concreciones de carbonato de calcio.

+ 74 cm: horizonte C. Material generador lodolita cuaternaria.

Muestra No. 7:

Brunosol éútrico

Profundidad: 80 cm

0 – 27 cm: horizonte Au<sub>1</sub>, franco arcillo limoso, pardo oscuro, transición gradual.

27 – 60 cm: horizonte Bt<sub>2</sub>, arcillo limoso, pardo oscuro, transición gradual.

60 – 80 cm: horizonte BC, arcillo limoso, pardo, transición gradual.

+ 80 cm: horizonte C, lodolita cuaternaria con abundantes concreciones de carbonato de calcio.

Muestra No. 8:

Brunosol éútrico

Profundidad: ¿? cm

0 – 24 cm: horizonte Au<sub>1</sub>, arcillo limoso, pardo oscuro, transición gradual.

24 – 62 cm: horizonte Bt<sub>2</sub>, arcillo limoso pesado, pardo oscuro, transición gradual.

62 – 74 cm: horizonte BC, arcillo limoso, pardo, con pocas concreciones de carbonato de calcio, transición gradual.

+ 74 cm: ¿?

Muestra No. 9:

Brunosol éútrico

Profundidad: ¿? cm

0 – 24 cm: horizonte Au<sub>1</sub>, arcillo limoso, pardo oscuro, transición gradual.

24 – 56 cm: horizonte Bt<sub>2</sub>, arcillo limoso pesado, pardo oscuro, transición gradual.

56 – 71 cm: horizonte BC, arcillo limoso, pardo, con pocas concreciones de carbonato de calcio.

+ 71 cm: ¿?

Muestra No. 10:

Brunosol éútrico

Profundidad: ¿? cm

0 – 23 cm: horizonte Au<sub>1</sub>, arcillo limoso, pardo oscuro, transición gradual.

23 – 50 cm: horizonte Bt<sub>2</sub>, arcillo limoso pesado, pardo oscuro, transición gradual.

50 – 75 cm: horizonte BC, arcillo limoso, pardo, con pocas concreciones de carbonato de calcio.

+ 75 cm: ¿?

Muestra No. 11:

Brunosol éútrico típico

Profundidad: 60 cm

0 – 26 cm: horizonte Au<sub>1</sub>, arcillo limoso, pardo oscuro, transición gradual.

26 – 48 cm: horizonte Bt<sub>2</sub>, arcillo limoso pesado, pardo oscuro, transición gradual.

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

+ 60 cm: carbonato de calcio consolidado.

Muestra No. 12:

Brunosol éútrico

Profundidad: 57 cm

0 – 20 cm: horizonte Au<sub>1</sub>, arcillo limoso, pardo oscuro, transición gradual.

20 – 45 cm: horizonte Bt<sub>2</sub>, arcillo limoso pesado, pardo oscuro, transición gradual.

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

+ de 57 cm: carbonato de calcio consolidado.

Muestra No. 13:

Brunosol éútrico

Profundidad: 75 cm

0 – 25 cm: horizonte Au<sub>1</sub>, arcillo limoso, pardo oscuro, transición gradual.

25 – 60 cm: horizonte Bt<sub>2</sub>, arcillo limoso pesado, pardo oscuro, transición gradual.

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

+ 75 cm: R

Muestra No. 14:

Brunosol éútrico

Profundidad: ¿? cm

0 – 25 cm: horizonte Au<sub>1</sub>, arcillo limoso, pardo oscuro, transición gradual.

25 – 60 cm: horizonte Bt<sub>2</sub>, arcillo limoso pesado, pardo oscuro, transición gradual.

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

+ 88 cm: ¿?

Muestra No. 15:

Brunosol éútrico

Profundidad: 68 cm

0 – 21 cm: horizonte Au<sub>1</sub>, arcillo limoso, pardo oscuro, transición gradual.

21 – 51 cm: horizonte Bt<sub>2</sub>, arcillo limoso pesado, pardo oscuro, transición gradual.

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

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

Observación: muestra ubicada donde quiebra la pendiente.

Muestra No. 16:

Litosol

Profundidad: 29 cm

0 – 29 cm: horizonte Au<sub>1</sub>, arcillo limoso, pardo oscuro, transición abrupta.

+ 29 cm: R.

Observación: afloramiento de Basalto cerca.

Muestra No. 17:

Brunosol háplico

Profundidad: 45 cm

0 – 39 cm: horizonte Au<sub>1</sub>, arcillo limoso, pardo oscuro, transición gradual.

39 – 45 cm: horizonte Au<sub>2</sub>, arcillo limoso más pesado que el anterior, pardo oscuro, transición abrupta.

+ 45 cm: R.

Muestra No. 18:

Litosol

Profundidad: 25 cm

0 – 25 cm: horizonte Au<sub>1</sub>, arcillo limoso, pardo oscuro, transición abrupta.

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

Muestra No. 19:

Brunosol háplico

Profundidad: 53 cm

0 – 30 cm: horizonte AU<sub>1</sub>, arcillo limoso, pardo oscuro, transición gradual.

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

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

#### **Anexo No. 4. Calendario sanitario de animales**

13/01/04: dosificación con Ivermectina al 1%.

12/02/04: dosificación con mezcla de Ivermectina 1% y Closantel 12,5% y vacunación contra mancha-gangrena.

28/02/04: vacunación contra fiebre aftosa, vacunación contra carbunco, baño contra garrapata y mosca de los cuernos.

10/03/04: dosificación con mezcla de Ivermectina 1% y Closantel 12,5%.

26/03/04: dosificación con mezcla de Ivermectina 1% y Closantel 12,5%.

## Anexo No. 5. Temperatura y precipitación

5A. Promedio de las temperaturas medias mensuales y precipitaciones acumuladas mensuales durante los meses de marzo y abril, y de la serie histórica 1961-1990.

Marzo	2004	Marzo Promedio Salto ciudad **	
TMED	22,7	21,6	Temp. media mensual
TXM	30,0	27,8	Temp. máxima media
TNM	15,3	16	Temp. mínima media
TX	34,8	39,9	Temp. máxima absoluta
TN	8,0	4,7	Temp. mínima absoluta
RR	56,9	153	Precipitación acumulada mensual
FRR	4	5	Días con precipitación
HR	71	72	Humedad relativa promedio
T s/césped.	12,45		Temp. mín. s/ césped media mensual
T s/césped.	4,8		Temp. mínima absoluta s/ césped
	0		Nº de heladas met. (1,5 metros)
	0		Nº de heladas agromet. (0,05 metros)

(\*\*) URUGUAY, M.N.D. D.N.M. (1996)

Fuente: elaboración personal

Abril	2004	Abril Promedio Salto ciudad **	
TMED	19,2	18,1	Temp. media mensual
TXM	26,4	23,9	Temp. máxima media
TNM	12,2	12,7	Temp. mínima media
TX	34,9	35	Temp. máxima absoluta
TN	3,4	1,5	Temp. mínima absoluta
RR	171,4	125	Precipitación acumulada mensual
FRR	11	5	Días con precipitación
HR	79	75	Humedad relativa promedio
T s/césped.	10,31		Temp. mín. s/ césped media mensual
T s/césped.	-3,1		Temp. mínima absoluta s/ césped
	0		Nº de heladas met. (1,5 metros)
	3		Nº de heladas agromet. (0,05 metros)

(\*\*) URUGUAY, M.N.D. D.N.M. (1996)

Fuente: elaboración personal

## Anexo No. 6. Balances hídricos: Climático y Seriado

### 6A. Balances hídricos para un suelo Litosol

Localidad: San Antonio, Salto

Suelo: Litosol negro. Unidad Itapebí- Tres Arboles

Lámina: 53 mm

#### Balance hídrico climático

MES	P	ETP	P-ETP	ALM	varALM	ETR	DEF	EXC
Ene.	138	214	-76	2	-5	143	71	0
Feb.	120	171	-51	1	-1	121	50	0
Mar.	144	134	10	11	10	134	0	0
Abr.	132	78	54	53	42	78	0	12
May.	101	54	47	53	0	54	0	47
Jun.	83	33	50	53	0	33	0	50
Jul.	71	35	36	53	0	35	0	36
Ago.	61	61	0	53	0	61	0	0
Set.	95	83	12	53	0	83	0	12
Oct.	118	122	-4	49	-4	122	0	0
Nov.	124	161	-37	24	-25	149	12	0
Dic.	131	200	-69	7	-18	149	51	0
	1318	1346	-28		0	1161	185	157
		1318					1346	1318

Fuente: elaboración personal

Balance hídrico seriado en el período enero a abril de 2004

Año	Mes	década	P	ETP	P-ETP	ALM	varALM	ETR	DEF	EXC
2004	Ene.	1	3,1	67,0	-64	0,8	-2	5	62	0
		2	26,8	64,6	-38	0,4	0	27	37	0
		3	9,9	89,0	-79	0,1	0	10	79	0
	Feb.	1	52,8	79,6	-27	0,1	0	53	27	0
		2	19,6	63,0	-43	0,0	0	20	43	0
		3	0,0	65,9	-66	0,0	0	0	66	0
	Mar.	1	56,0	48,5	7	7,5	7	49	0	0
		2	0,0	42,5	-42	3,3	-4	4	38	0
		3	0,9	58,5	-58	1,1	-2	3	55	0
	Abr.	1	27,6	36,5	-9	0,9	0	28	9	0
		2	71,9	38,1	34	35	34	38	0	0
		3	71,9	26,5	45	53	18	26	0	27
			340,5	679,7	-339	102	50	263	417	27

Fuente: elaboración personal

**6B. Balances hídricos para un suelo Brunosol**

Localidad: San Antonio, Salto.

Suelo: Brunosol Eútrico Típico. Unidad Itapebí-Tres Arboles

Lámina: 112,5 mm

Balance hídrico climático

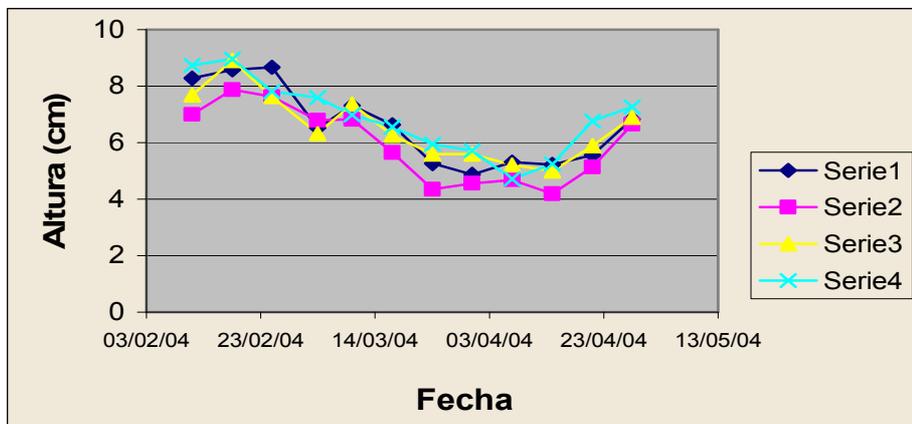
MES	P	ETP	P-ETP	ALM	varALM	ETR	DEF	EXC
Ene.	138	214	-76	22	-21	159	55	0
Feb.	120	171	-51	14	-8	128	43	0
Mar.	144	134	10	24	10	134	0	0
Abr.	132	78	54	78	54	78	0	0
May.	101	54	47	113	35	54	0	12
Jun.	83	33	50	113	0	33	0	50
Jul.	71	35	36	113	0	35	0	36
Ago.	61	61	0	113	0	61	0	0
Set.	95	83	12	113	0	83	0	12
Oct.	118	122	-4	109	-4	122	0	0
Nov.	124	161	-37	78	-30	154	7	0
Dic.	131	200	-69	42	-36	167	33	0
	1318	1346	-28		0	1208	138	110
		1318					1346	1318

Balance hídrico seriado en el período enero a abril de 2004

Año	Mes	década	P	ETP	P-ETP	ALM	varALM	ETR	DEF	EXC
2004	Ene.	1,0	3,1	67,0	-63,9	16,1	-12,3	15,4	51,6	0,0
		2,0	26,8	64,6	-37,8	11,5	-4,6	31,4	33,2	0,0
		3,0	9,9	89,0	-79,1	5,7	-5,8	15,7	73,3	0,0
	Feb.	1,0	52,8	79,6	-26,8	4,5	-1,2	54,0	25,6	0,0
		2,0	19,6	63,0	-43,4	3,0	-1,4	21,0	41,9	0,0
		3,0	0,0	65,9	-65,9	1,7	-1,3	1,3	64,5	0,0
	Mar.	1,0	56,0	48,5	7,5	9,2	7,5	48,5	0,0	0,0
		2,0	0,0	42,5	-42,5	6,3	-2,9	2,9	39,6	0,0
		3,0	0,9	58,5	-57,6	3,8	-2,5	3,4	55,1	0,0
	Abr.	1,0	27,6	36,5	-8,9	3,5	-0,3	27,9	8,7	0,0
		2,0	71,9	38,1	33,8	37,3	33,8	38,1	0,0	0,0
		3,0	71,9	26,5	45,4	82,8	45,4	26,5	0,0	0,0
			340,5	679,7	-339,2	185,2	54,4	286,1	393,6	0,0

(Fuente: elaboración personal)

Anexo No. 7. Evolución de la altura del tapiz



Gráfica No. 4. Evolución de la altura de la pastura en cada repetición.

**Anexo No. 8** Relación entre los flujos de tejido foliar y la suma térmica por especie.

