



Dinámica de crecimiento y calidad nutritiva de una pradera de *Lolium perenne* L. bajo diferentes frecuencias de defoliación: periodo otoño-invierno

Growing dynamics and nutritive value of a *Lolium perenne* L. pasture under different frequencies of defoliation: Autumn-Winter season

Castro, J.^a, Balocchi, O.^{b*}, Alonso, M.^b

^a Escuela de Graduados, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia

^b Instituto de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia.

ARTICLE INFO

Keywords:

Phyllocron,
Leaf elongation rate,
Tiller density and tiller
appearance

Original Research Article,
Animal Science

*Corresponding author:

Oscar Balocchi
E-mail address:
obalocch@uach.cl

ABSTRACT

The study was carried out in the autumn-winter season in Valdivia, Región de Los Ríos, Chile. Twenty-seven mini-swards of *Lolium perenne* L. cv. Impact were used and established in 125 L containers (0.181 m²). A complete randomized block design was used with nine treatments and three blocks. Treatments were given by nine frequencies of defoliation, which were 1- 1.5- 2- 2.5- 3- 3.5- 4- 4.5- 5 leaves per tiller. Measurements were made every three days on marked tillers to determine rate of leaf appearance, leaf elongation rate and tiller appearance rate. At each cut, dry matter yield was measured and forage was collected for chemical composition analysis. Results were subjected to an ANOVA and Waller-Duncan test for comparison of means. Regression analyses were made between the defoliation frequency and the evaluated variables. Results showed that the phyllocron was independent of the defoliation frequency and varies from 11 to 25 days, depending on season (Autumn-Winter). The defoliation frequency significantly ($p < 0.01$) modified the elongation of leaves of *L. perenne* and the herbage mass produced, being higher in the treatments less frequently defoliated. It was not found a significant effect ($p > 0.05$) of the defoliation frequencies on tiller density, neither tiller appearance. The nutritive value was significantly modified by the defoliation frequency.

RESUMEN

El estudio se realizó en otoño-invierno, en la ciudad de Valdivia, Región de los Ríos, Chile. Se utilizaron 27 minipraderas monofíticas de *Lolium perenne* L. cv. Impact, establecidas en contenedores de una capacidad de 125 L (área de 0,181 m²). Se evaluaron nueve frecuencias de defoliación, basadas en el número de hojas por macollo (1- 1,5- 2- 2,5- 3- 3,5- 4- 4,5- 5 hojas por macollo), con una altura residual de 5 cm. Se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con nueve tratamientos y tres bloques. En cada minipradera se marcaron tres macollos en los cuales, cada tres días, se midió aparición de hojas, expansión foliar y aparición de macollos. Para determinar la densidad de macollos, se muestreó cada unidad experimental al inicio y al final del ensayo. Del forraje cosechado se determinó la producción de fitomasa y la calidad nutritiva. Los datos fueron sometidos a un ANDEVA y test de Waller-Duncan. Se realizaron análisis de regresión entre la frecuencia de defoliación y las variables respuestas. Los resultados permiten concluir que el filocrono es independiente de la frecuencia de defoliación y varió de 11 a 25 días dependiendo la época del año (Otoño-Invierno). La frecuencia de defoliación modificó significativamente ($p < 0,01$) la elongación diaria de la lámina de *L. perenne* y la fitomasa producida, siendo esta última mayor en los tratamientos de defoliación infrecuente. No se encontró un efecto significativo ($p > 0,05$) de la frecuencia de defoliación sobre la densidad de macollos, ni la aparición de macollos. La calidad nutritiva es significativamente modificada por la frecuencia de defoliación.

Palabras clave: filocrono, tasa elongación foliar, densidad de macollos y aparición de macollos.

INTRODUCCIÓN

El número de hojas, es uno de los criterios más adecuados para determinar la frecuencia de defoliación de praderas dominadas por gramíneas, ya que indica cuando la planta se encuentra fisiológicamente preparada para una defoliación, siendo el intervalo mínimo el que le permite a la planta reponer sus reservas energéticas y el intervalo máximo cuando comienza la senescencia

de la hoja más vieja de la planta (Donaghy y Fulkerson, 2001). La cuantificación de los procesos de aparición foliar, elongación foliar y aparición de macollos, para una especie y cultivar determinado y bajo condiciones ambientales particulares, brinda información para entender la dinámica de crecimiento (producción y senescencia) de la pradera, complementando los conocimientos existentes y contribuyendo, de esta forma, a aumentar la eficiencia de los sistemas productivos basados en pastoreo.

En lo referente a la dinámica de crecimiento (filocrono, aparición de macollos y elongación de lámina), se ha reportado que ésta se ve afectada por diversos factores ambientales, donde se señalan la disponibilidad de nutrientes en el suelo, la temperatura, la luz (calidad e intensidad) y el fotoperíodo (Muslera y Ratera, 1991; McMaster et al., 2003; Velasco et al., 2007).

Uno de los principales factores que se controlan en el manejo del pastoreo es la frecuencia de defoliación, donde su relación con la elongación de lámina ha sido estudiada para *Lolium perenne* por Fulkerson y Michell (1987), Velasco et al. (2005), Berone et al. (2008) y Hume (1991), comparando plantas defoliadas con no defoliadas y por Fulkerson y Slack (1995) en condiciones controladas. Estos autores encontraron que la tasa de elongación foliar se reduce con defoliaciones más frecuentes. Ésto es debido a que la defoliación reduce la longitud celular y disminuye el número de células por lámina, dando como resultado una disminución en el largo total de la lámina de *L. perenne* (Forde, 1966; Volenec y Nelson, 1983). Un complemento a la explicación anterior entregan Donaghy y Fulkerson (1998) reportando que existe una relación lineal positiva entre el contenido de carbohidratos de reserva y la elongación de la lámina.

El efecto de la frecuencia de defoliación sobre la aparición de macollos es variable. Algunos autores reportan que con altas frecuencias de defoliación se obtiene una alta densidad de macollos (Hernández et al., 1999; Velasco et al., 2007), o por el contrario, que con defoliaciones más frecuentes menor es la tasa de aparición de macollos (Hume, 1991; Berone et al., 2008). Otros autores encontraron que los tratamientos de defoliación basados en el número de hojas no tuvieron efecto sobre la dinámica de macollamiento (Lee et al., 2007; Turner et al., 2006; Fulkerson y Michell, 1987), mientras que otros reportaron que tiene un efecto variable, ya que señalan que las praderas son entidades dinámicas donde las tasas de aparición y muerte de macollos difieren de acuerdo a la época del año y del manejo (Hernández et al., 1997; Donaghy et al., 1997).

El efecto de la frecuencia de defoliación sobre la tasa de aparición de hojas es un tema que ha sido poco estudiado, pero es posible destacar los trabajos de Forde (1966) en *L. perenne* y *Dactylis glomerata*, Berone et al. (2008) en *L. perenne* y *Bromus stamineus*, Velasco et al. (2007), Lee et al. (2007) y Poff et al. (2011) en *L. perenne* y Acharán et al. (2009) en una pradera mixta de *L. perenne*/*Trifolium repens*. Estos autores señalan que la frecuencia de defoliación no tendría efecto significativo sobre la tasa de aparición de hojas. La razón, sería que la tasa de aparición de hojas está principalmente regulada por la temperatura (Forde, 1966).

El efecto de la frecuencia de defoliación sobre la producción de materia seca ha sido ampliamente estudiado en *L. perenne* por Briske (1991), Fulkerson y

Slack (1995), Donaghy y Fulkerson (1997), Hazard y Ghesquiere (1997), Velasco et al. (2005), Turner et al. (2006), Donaghy y Fulkerson (2001), Velasco et al. (2007), Lee et al. (2007), en mezcla con *T. repens* por Fulkerson y Michell (1987), Acharán et al. (2009), en *Cenchrus ciliaris* por Beltrán et al. (2005) y en 47 diversas especies en la revisión realizada por Ferraro y Oesterheld (2002). En todos estos estudios los resultados muestran un efecto negativo de la frecuencia de defoliación sobre el crecimiento de las plantas. Mientras menor fue el intervalo de defoliación, menor fue la producción de materia seca. Además, ha sido reportado que la frecuencia de defoliación también ejerce un efecto sobre la calidad nutritiva del forraje cosechado, señalándose que al disminuir la frecuencia de defoliación se produce un aumento en el contenido de carbohidratos solubles (Fulkerson y Slack, 1994; Poff et al., 2011; Acharán et al., 2009) y en el contenido de MS del forraje cosechado Acharán et al. (2009), debido principalmente a que se produce un aumento de las fracciones fibrosas (Turner et al., 2006; Lee et al., 2007). De manera contraria, se reporta que la frecuencia de defoliación tiene un efecto negativo sobre el contenido de proteína (Turner et al., 2006; Velasco et al., 2005) y energía metabolizable (Turner et al., 2006; Donaghy y Fulkerson, 2001), ya que se produce una disminución de estas variables cuando el intervalo entre defoliaciones es mayor. Basado en los antecedentes expuestos el presente estudio se propuso como objetivos determinar el efecto de nueve frecuencias de defoliación, sobre (a) el filocrono, (b) densidad de macollos, (c) la elongación de la lámina, (d) la producción de fitomasa y (e) la calidad nutritiva del forraje cosechado de *L. Perenne*, bajo las condiciones ambientales del sur de Chile.

MATERIAL Y MÉTODO

Estudio se llevó a cabo entre el 11 de Marzo y el 13 de Septiembre de 2009, en el campus Isla Teja de la Universidad Austral de Chile, en la ciudad de Valdivia, Región de los Ríos, Chile (9 m s. n. m. de elevación, paralelo 39°48'15,62" Latitud Sur y meridiano 73°15'13,98" Longitud Oeste, precipitación anual de 2500 mm). La Figura 1 muestra la precipitación mensual, la temperatura media máxima y mínima, para el periodo experimental.

La información de temperatura y precipitaciones del periodo en estudio, se obtuvo del Instituto de Geociencias ubicado en el campus Isla Teja de la Universidad Austral de Chile. Con los datos de temperatura se calculó los grados días acumulados necesarios para la aparición y completa expansión de una hoja, con una base de 5 °C. Los análisis químicos se realizaron en el Laboratorio de Nutrición Animal, perteneciente al Instituto de Producción Animal de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile.

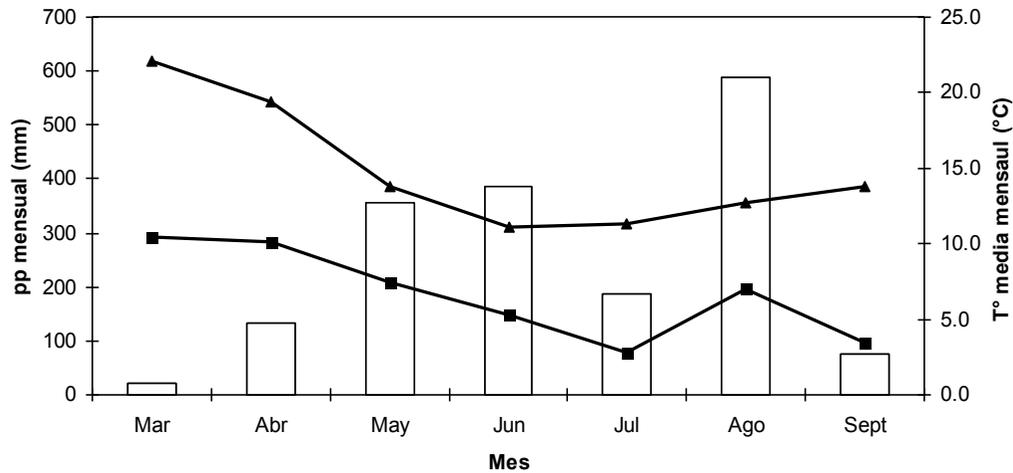


Figura 1. Media mensual de temperatura máxima (▲) y mínima (■) y precipitación mensual (□) para Valdivia, desde Marzo a Septiembre 2009.

Figure 1. Monthly mean of maximum (▲) and minimum (■) temperature and monthly rainfall (□) for Valdivia, March to September 2009.

Se utilizaron 27 minipraderas monofíticas de *L. perenne* cv. Impact, en su segundo año de producción y que fueron establecidas con una dosis de semilla equivalente a 30 kg ha⁻¹ en febrero del año anterior. Las minipraderas se establecieron en contenedores de una capacidad de 125 L con un área superior de 0,181 m² y una profundidad de 120 cm. Previo al inicio del experimento todos los tratamientos fueron defoliados al equivalente de tres hojas por macollo. El suelo utilizado corresponde a un Andisol (Typic Hapludand), perteneciente a la serie Valdivia. Se analizó para determinar los parámetros de fertilidad en el Laboratorio de Suelos del Instituto de Ingeniería Agraria y Suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Austral de Chile (Cuadro 1). La toma de muestra fue realizada a una profundidad de 20 cm.

Se realizó una fertilización con el fin de aportar los nutrientes suficientes para una producción de 14 ton MS ha⁻¹ año⁻¹. Se aplicó una fertilización nitrogenada mensual de 10 kg de N ha⁻¹ (0,39 g por minipradera), en forma de urea, la que se disolvió en agua para su aplicación. En el caso del fósforo (P) y potasio (K) se aplicaron el equivalente a 70 kg de P₂O₅ ha⁻¹ (2,75 g por minipradera) y 60 kg de K₂O ha⁻¹ (1,81 g por minipradera) para toda la temporada.

Se evaluaron nueve tratamientos, correspondientes a nueve frecuencias de defoliación, basadas en el número de hojas por macollo (1- 1,5- 2- 2,5- 3- 3,5- 4- 4,5- 5 hojas por macollo), con una altura residual para todos los tratamientos de 5 cm (Figura 2). Se utilizaron 3 repeticiones por tratamiento.

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con nueve tratamientos (frecuencias de defoliación) y tres bloques. Los datos obtenidos fueron sometidos a prueba de normalidad y homogeneidad de varianza,

y posteriormente a un ANDEVA. Previo al análisis los datos en porcentaje fueron transformados a raíz cuadrada del arco-seno. Cuando se detectaron diferencias significativas ($p < 0,05$) entre tratamientos, se realizó la comparación de medias con el test de Waller-Duncan. Además, se realizaron análisis de regresión entre la frecuencia de defoliación y las variables respuestas.

Cuadro 1. Análisis químico del suelo utilizado en el ensayo (0-20 cm).

Table 1. Chemical analysis of the soil used in the evaluation (0-20 cm).

Características	Nivel
pH en agua (1:2,5)	5,8
pH CaCl ₂ 0,01 M (1:2,5)	5,3
Materia orgánica (%)	13,3
N-Mineral (N-NO ₃ +NH ₄) (mg kg ⁻¹)	45,5
Fósforo Olsen (mg kg ⁻¹)	27,1
Potasio intercambiable (mg kg ⁻¹)	98
Sodio intercambiable (cmol ₊ kg ⁻¹)	0,22
Calcio intercambiable (cmol ₊ kg ⁻¹)	5,64
Magnesio intercambiable (cmol ₊ kg ⁻¹)	1,11
Suma de bases (cmol ₊ kg ⁻¹)	7,22
Aluminio intercambiable (cmol ₊ kg ⁻¹)	0,03
CICE (cmol ₊ kg ⁻¹)	7,25
Saturación de Al (%)	0,4
Azufre disponible (mg kg ⁻¹)	26,1

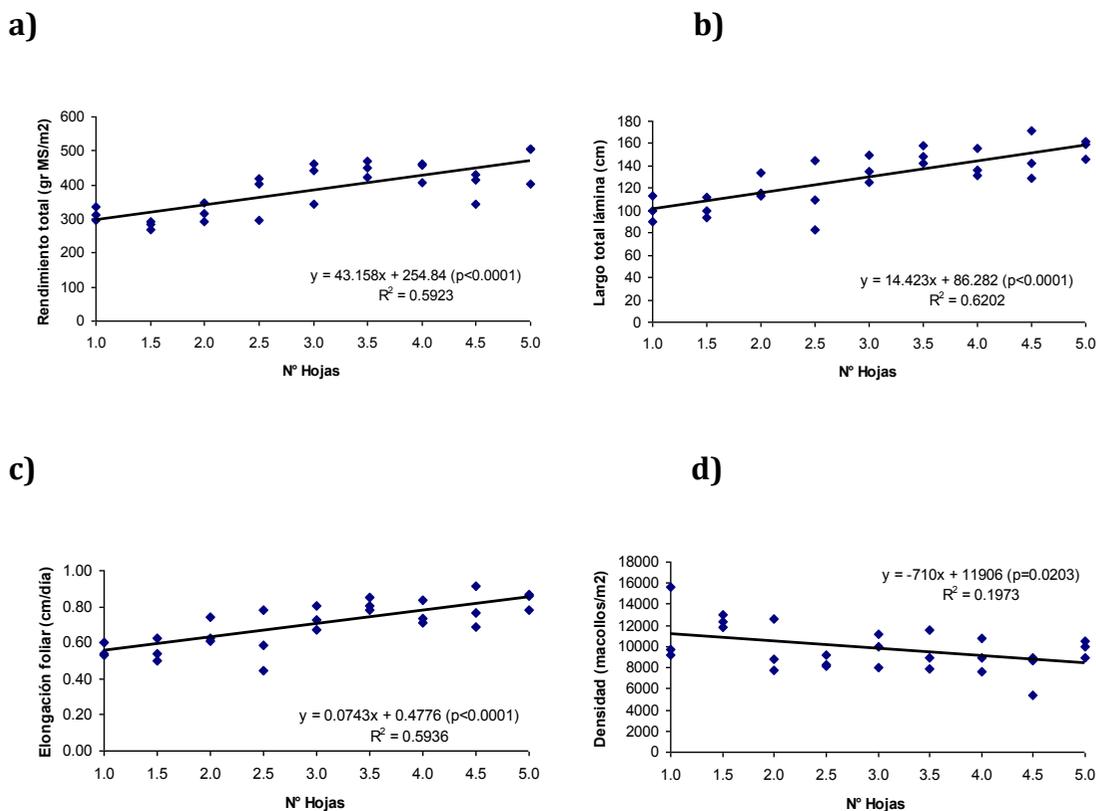


Figura 2. Relación entre la frecuencia de defoliación y (a) rendimiento total, (b) largo total de lámina, (c) crecimiento diario y (d) densidad de macollos en *Lolium perenne*.

Figure 2. Relationship between defoliation frequency and (a) accumulated growth (b) total leaf length and (c) foliar elongation rate and (d) tiller density in *Lolium perenne*.

Variables evaluadas

Para determinar el filocrono (tasa de aparición de hojas) en cada unidad experimental (minipradera) se marcaron, con un clip de color en su base, tres macollos elegidos al azar de similar desarrollo fisiológico (indicado por un mismo número de hojas verdes y por una similar posición en la canopia). En estos macollos se registró la fecha de aparición de una nueva hoja. Esta evaluación se realizó cada 3 días. Con esta información se calculó el tiempo térmico y los días requeridos para la aparición de una nueva hoja.

Al momento de cumplir con el criterio de frecuencia establecido en cada tratamiento, las minipraderas fueron cortadas, dejando una altura de residuo de 5 cm. El total del forraje obtenido en cada minipradera fue pesado en fresco, secado en un horno de aire forzado a 60 °C, durante 48 horas y nuevamente pesado, obteniéndose el peso y el contenido de materia seca.

El largo de lámina y tasa de elongación foliar se midieron en los macollos marcados cada tres días. Se registró la longitud de la lámina foliar medida a partir de la lígula. Los resultados se expresaron como largo total de lámina (sumatoria de la longitud de las hojas de to-

dos los cortes) y tasa diaria de elongación foliar (cm día⁻¹). La aparición de nuevos macollos se registró cada tres días en los macollos marcados. En el análisis de los datos se utilizó el promedio de macollos aparecidos en el periodo de evaluación en cada unidad experimental.

La densidad de macollos se midió utilizando un cuadrante de 100 cm² ubicado al azar en cada minipradera. Se contó el número de macollos en cada unidad experimental (minipradera) al inicio y al final del ensayo. La densidad se expresó en número de macollos m⁻².

Composición nutricional del forraje

Para determinar la composición nutricional del forraje se utilizó el total de la fitomasa cosechada en cada corte, la que fue secada y molida. El análisis nutricional se realizó en el Laboratorio de Nutrición Animal, Instituto de Producción Animal de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Austral de Chile (AOAC, 1996). Se obtuvieron los valores de proteína cruda (PC), proteína soluble (PS), energía metabolizable (EM), fibra detergente neutro (FDN), fibra detergente ácido (FDA), carbohidratos solubles (CHOS) y cenizas totales (CT).

RESULTADOS**Filocrono**

El Cuadro 2 y 3 muestran que la frecuencia de defoliación no produjo un efecto significativo ($p > 0,05$) sobre el filocrono (medido en días o en tiempo térmi-

co). Sólo se observa para el filocrono expresado en días, diferencias ($p < 0,05$) en la hoja 3, aunque estas diferencias son menores y no tienen una tendencia lógica. Sin embargo, al comparar el filocrono entre las diez hojas producidas durante la evaluación, se observa en el Cuadro 4 que existen diferencias altamente significativas entre hojas ($p < 0,01$).

Cuadro 2. Efecto de la frecuencia de defoliación sobre el filocrono, expresado en días por hoja, de *Lolium perenne*.

Table 2. Effect of the defoliation frequency on the phyllocron, expressed as days per leaf, of *Lolium perenne*.

Tratamientos	Filocrono (días hoja ⁻¹)									
	h1	h2	h3	h4	h5	h6	h7	h8	h9	h10
1,0h-5cm	11,6	18,2	13,3 d	18,7	20,1	18,4	23,8	17,4	16,7	14,7
1,5h-5cm	12,8	16,7	17,3 abc	20,2	19,4	24,7	20,1	21,1	16,1	12,7
2,0h-5cm	13,9	14,8	14,8 cd	16,9	15,9	19,7	20,3	19,2	18,3	17,1
2,5h-5cm	15,5	16,7	18,6 ab	23,2	24,1	20,1	23,4	20,7	18,7	15,0
3,0h-5cm	15,2	13,3	19,2 a	19,1	19,9	21,7	19,3	22,2	15,8	18,6
3,5h-5cm	13,1	13,1	13,2 d	15,2	18,3	22,6	20,2	20,9	18,2	16,6
4,0h-5cm	13,7	14,6	15,3 bcd	17,6	21,4	21,7	24,3	20,7	20,0	13,7
4,5h-5cm	16,1	12,7	14,7 cd	16,0	15,3	20,7	20,3	22,7	16,5	17,8
5,0h-5cm	12,7	13,8	13,8 cd	16,1	17,3	21,4	24,3	21,2	18,8	15,9
Valor p	0,5734	0,2855	0,0101	0,1487	0,2043	0,8944	0,5352	0,2487	0,8642	0,3823

h= hoja.

Cuadro 3. Efecto de la frecuencia de defoliación sobre el filocrono, expresado como suma térmica (base 5 °C) por hoja, de *Lolium perenne*.

Table 3. Effect of the defoliation frequency on phyllocron expressed as thermic sum (base 5 °C) per leaf of *Lolium perenne*.

Tratamientos	Filocrono (GDA (base 5°C) hoja ⁻¹)									
	h1	h2	h3	h4	h5	h6	h7	h8	h9	h10
1,0h-5cm	138,4	199,4	122,5	119,3	94,9	68,2	58,6	61,0	56,9	55,3
1,5h-5cm	161,9	160,7	142,2	116,5	79,5	67,5	58,0	60,7	56,7	59,9
2,0h-5cm	144,9	169,6	142,1	135,3	87,5	65,1	59,5	49,4	60,4	87,9
2,5h-5cm	162,7	179,5	146,9	121,7	97,9	59,5	58,2	72,2	87,1	60,1
3,0h-5cm	158,1	140,3	172,7	105,7	90,6	65,2	59,6	60,3	60,6	68,4
3,5h-5cm	146,1	139,0	124,5	110,1	98,6	85,0	67,5	56,7	57,7	76,2
4,0h-5cm	151,8	153,9	148,5	115,3	98,6	73,3	60,4	73,7	63,5	65,4
4,5h-5cm	176,3	135,0	136,2	108,9	84,4	74,2	65,6	52,6	60,7	85,3
5,0h-5cm	145,6	142,3	141,7	125,9	97,0	82,3	69,9	65,3	69,9	52,6
Valor p	0,6955	0,3547	0,1074	0,3060	0,1953	0,1776	0,8023	0,1613	0,2405	0,3220

GDA= grados día acumulados; h= hoja.

Cuadro 4. Filocrono expresado en días por hoja y como suma térmica (base 5 °C) para las diez hojas producidas en el periodo experimental.

Table 4. Phyllocron as days per leave and as thermic sum (base 5 °C) for the ten leaves produced during the experimental period.

Hoja Nº	GDA _{base 5°C}	Días hoja ⁻¹
1	153,99 a	13,88 e
2	157,76 a	14,89 de
3	141,93 b	15,58 d
4	117,66 c	18,11 c
5	92,12 d	19,10 bc
6	71,14 e	21,21 a
7	61,93 f	21,80 a
8	61,34 f	20,70 ab
9	63,71 ef	17,67 c
10	68,79 ef	15,92 d
Valor p	<0,0001	<0,0001

Producción de fitomasa

La frecuencia de defoliación modificó significativamente (p <0,01) la fitomasa producida en el período Otoño-Invierno (Cuadro 5). El tratamiento que fue defoliado a 5 hojas (tratamiento 9) presentó un mayor rendimiento de fitomasa (470,4 g MS m⁻²), aunque éste no fue estadísticamente distinto de los tratamientos 5, 6, 7 y 8 (416,1; 448,5; 441,9; 396,6 g MS m⁻² respec-

tivamente). Por otro lado, el tratamiento 2 (1,5 hojas) fue el de menor rendimiento (282,6 g MS m⁻²), no siendo estadísticamente distinto del tratamiento 1 y 3, con 313,6 g MS m⁻² y 317,8 g MS m⁻² respectivamente. Entre los tratamientos 4, 5, 7 y 8 no existen diferencias estadísticamente significativas.

El análisis de regresión mostró una relación lineal significativa (p <0,01) entre la frecuencia de defoliación y el rendimiento de materia seca. Con menores frecuencias de defoliación se incrementa el rendimiento, obteniéndose desde la ecuación de regresión correspondiente (Figura 2a) que por cada 0,5 hojas de disminución de frecuencia, el rendimiento total aumentaría en 43,2 g m⁻².

Tasa de elongación foliar

Las diferentes frecuencias de defoliación modificaron significativamente (p <0,01) la elongación diaria promedio de la lámina de *L. perenne* (Cuadro 5). El tratamiento nueve (5 hojas) fue el que presentó el mayor crecimiento diario (0,84 cm), pero no fue estadísticamente distinto de los tratamientos 5, 6, 7 y 8. En el otro extremo se ubicó el tratamiento 2 que fue el que presentó el menor crecimiento diario (0,55 cm), aunque éste no fue estadísticamente distinto de los tratamientos 1, 3 y 4.

La Figura 2c muestra una relación lineal significativa (p <0,01) entre la elongación foliar y la frecuencia de defoliación, obteniéndose desde la ecuación de regresión correspondiente que, por un aumento de 0,5 hojas en la frecuencia de defoliación, existiría un aumento de la elongación foliar de 0,074 cm diarios.

La elongación foliar en términos del largo total de lámina producida durante el período de estudio (Cua-

Cuadro 5. Efecto de la frecuencia de defoliación sobre la dinámica de crecimiento de *Lolium perenne*.

Table 5. Effect of the defoliation frequency on the growth dynamics of *Lolium perenne*.

Tratamiento	Rendimiento total (g MS m ⁻²)	Largo total lámina (cm)	Elongación foliar (cm d ⁻¹)	Densidad macollos (Macollos m ⁻²)	Aparición macollos (d macollo ⁻¹)
1,0h-5cm	313,59 cd	100,84 d	0,56 d	11550	101,61
1,5h-5cm	282,61 d	101,67 d	0,55 d	12367	90,59
2,0h-5cm	317,83 cd	120,82 bcd	0,66 bcd	9733	75,98
2,5h-5cm	371,23 bc	112,33 cd	0,60 cd	8517	160,17
3,0h-5cm	416,09 ab	136,86 abc	0,74 abc	9750	80,94
3,5h-5cm	448,47 a	149,82 ab	0,81 ab	9467	97,48
4,0h-5cm	441,99 ab	141,05 abc	0,76 abc	9100	89,56
4,5h-5cm	396,65 ab	147,11 ab	0,79 ab	7683	79,91
5,0h-5cm	470,35 a	155,44 a	0,84 a	9817	105,25
Valor p	0,0004	0,0031	0,0049	0,1594	0,1592

dro 5), mostró diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,01$) entre los diferentes tratamientos de defoliación, siendo el tratamiento 9 (5 hojas) el que produjo una mayor longitud acumulada de lámina (155,4 cm), aunque estadísticamente no difiere de los tratamientos 5, 6, 7 y 8. En el otro extremo se encuentra el tratamiento 1 (1 hoja) que produjo una menor cantidad de lámina (100,8 cm), aunque estadísticamente no difiere de los tratamientos 2, 3 y 4. Además, en el análisis de regresión (Figura 2b), se puede apreciar que la relación entre ambas variables es altamente significativa ($p < 0,01$), obteniéndose de la ecuación que por cada 0,5 hojas de menor frecuencia el total de lámina producida en el periodo aumenta en 14,4 cm.

Densidad de macollos

En el Cuadro 5 se muestran los resultados obtenidos para la densidad de macollos en cada tratamiento. No se encontró un efecto significativo ($p > 0,05$), de la frecuencia de defoliación sobre la densidad de macollos.

En la Figura 2d se observa el efecto de las diferentes frecuencias de defoliación sobre la densidad de macollos. A pesar que el ANDEVA no encontró diferencias significativas, el análisis de regresión lineal muestra que existe una relación significativa ($p < 0,05$) entre ambas variables, en donde una menor frecuencia de defoliación disminuye la densidad de macollos. Al analizar el efecto de la frecuencia de defoliación sobre la aparición de macollos, medida como días necesarios para producir un nuevo macollo, se puede apreciar en el Cuadro 5 que no existieron diferencias estadísticamente significativas ($p > 0,05$) entre tratamientos. El

análisis de regresión mostró que la relación entre la tasa de aparición de macollos y la frecuencia de defoliación (número de hojas) no fue significativa ($p > 0,05$).

Calidad nutricional del forraje

Los resultados de calidad nutricional del forraje para cada tratamiento se presentan en el Cuadro 6. Los valores de contenido de MS en general son bajos, debido a que el estudio se realizó entre Otoño-Invierno, donde las plantas de ballica se encuentran en estado vegetativo. Se puede apreciar que, para esta variable, existen diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0,01$).

La Figura 3a muestra la relación lineal significativa ($p < 0,01$) que se encontró entre el número de hojas y el contenido de MS, donde al disminuir la frecuencia de defoliación se produce un aumento en el contenido de MS del forraje cosechado.

La PC presentó valores entre 17 y 26,2%, con diferencias altamente significativas ($p < 0,01$) entre los tratamientos, siendo el tratamiento con defoliación a 5 hojas el que mostró el menor contenido de PC y el tratamiento con defoliación a 1 hoja el de mayor contenido. La regresión entre el número de hojas y la PC, fue significativa ($p < 0,01$), demostrando esta relación que el contenido de PC disminuiría en 2,26 unidades de porcentaje por cada 0,5 hojas de disminución de la frecuencia de defoliación. (Figura 3b).

El contenido de EM fue significativamente modificado por la frecuencia de defoliación ($p < 0,05$). Existió una relación lineal significativa ($p < 0,05$) entre la frecuencia de defoliación y la concentración de EM. Donde se observó que en la medida que la frecuencia de

Cuadro 6. Efecto de la frecuencia de defoliación en la calidad nutritiva de *Lolium perenne*.

Table 6. Effect of defoliation frequency on nutritional quality of *Lolium perenne*.

Tratamiento	MS	PC	EM	VD	FDN	FDA	CHOS	CT	PS
	%	%	Mcal kg ⁻¹	%	%	%	g kg ⁻¹	%	%
1,0h-5cm	14,0 c	26,2 a	2,67 a	73,4 a	32,7 d	25,1 c	96,2 c	10,2 a	14,3 a
1,5h-5cm	13,5 c	25,6 ab	2,65 ab	72,7 ab	33,5 d	26,0 c	88,4 d	10,1 a	14,2 a
2,0h-5cm	13,4 c	25,0 b	2,64 ab	72,7 ab	33,4 d	25,1 c	97,8 bc	9,6 a	13,8 a
2,5h-5cm	16,2 ab	21,3 c	2,63 abc	72,4 abc	33,2 d	24,6 c	94,9 cd	8,8 b	11,8 b
3,0h-5cm	15,3 b	21,6 c	2,64 abc	72,4 abc	35,2 c	26,1 c	101,8 bc	10,0 a	11,9 b
3,5h-5cm	15,8 ab	20,2 d	2,60 bc	71,4 bc	36,4 c	26,0 c	105,1 b	8,8 b	10,8 cd
4,0h-5cm	16,3 a	18,34 e	2,62 abc	72,0 abc	40,1 b	28,7 b	112,8 a	8,4 bc	10,5 d
4,5h-5cm	15,4 ab	19,7 d	2,59 cd	71,1 cd	42,9 a	30,4 a	120,2 a	8,4 bc	11,3 bc
5,0h-5cm	15,7 ab	17,0 f	2,59 d	70,8 d	41,0 b	28,5 b	119,3 a	8,0 c	10,2 d
Significancia	<0,0001	<0,0001	0,0347	0,0340	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

MS: Materia seca; PC: Proteína cruda; EM: Energía metabolizable; VD: Valor D; FDN: Fibra detergente neutro; FDA: Fibra detergente ácido; CHOS: Carbohidratos solubles; CT: Cenizas totales; PS: Proteína soluble.

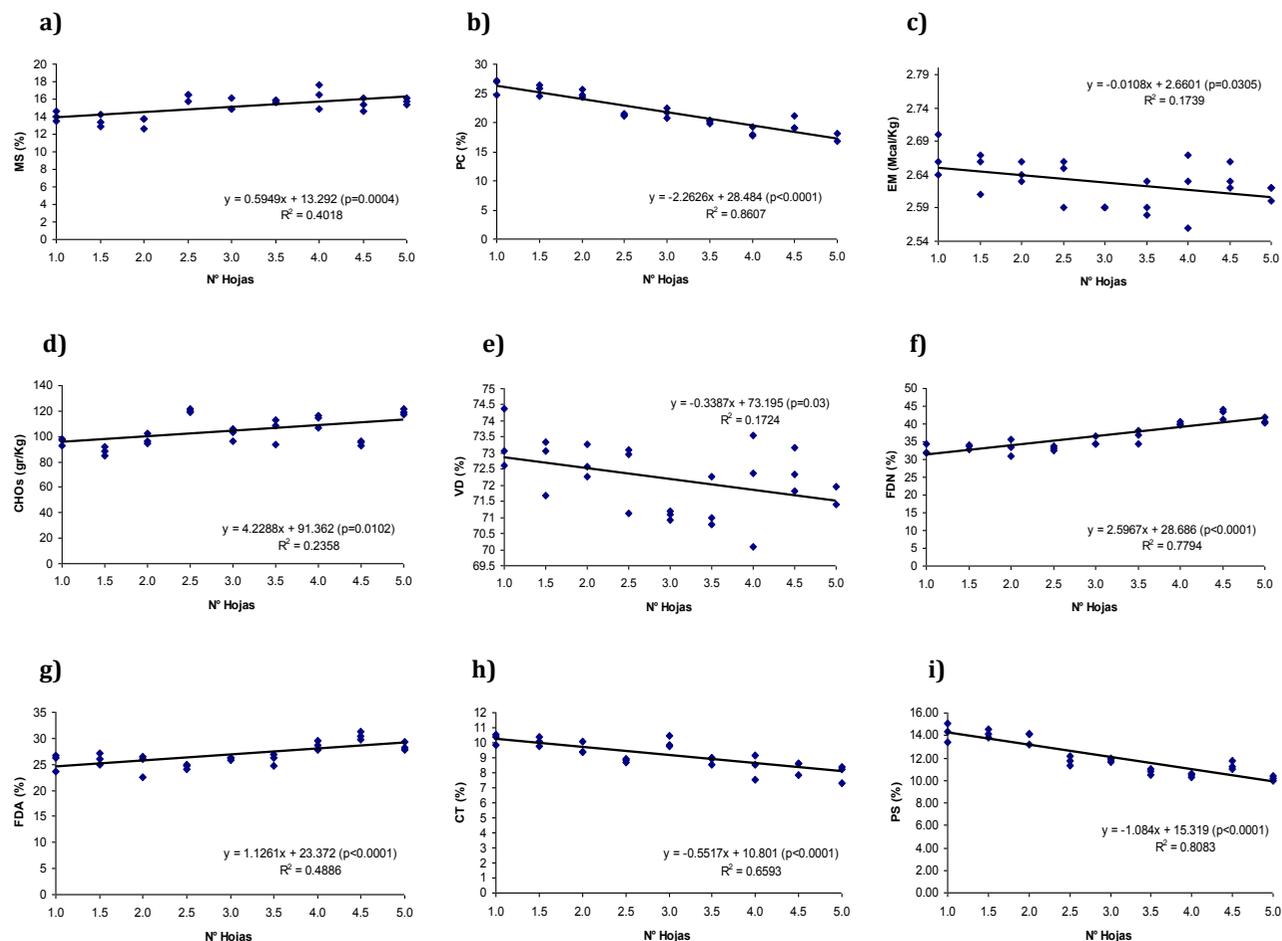


Figura 3. Efecto de la frecuencia de defoliación sobre parámetros de la calidad nutricional del forraje cosechado de *Lolium perenne*.

Figure 3. Effect of the defoliation frequency on nutritional quality parameters of *Lolium perenne* harvested forage.

defoliación disminuyó, se produjo una disminución en el contenido de EM del forraje cosechado (Figura 3c).

El valor D del forraje cosechado presentó valores entre 70,8 y 73,4%. La frecuencia de defoliación afectó significativamente ($p < 0,05$) al valor D, siendo menor en el tratamiento con menor frecuencia de defoliación. El análisis de regresión lineal muestra que existe una relación significativa ($p < 0,05$) entre ambas variables, en donde una menor frecuencia de defoliación disminuye el valor D del forraje (Figura 3d).

Los contenidos de FDN y FDA fueron modificados significativamente ($p < 0,01$) por la frecuencia de defoliación (Cuadro 6). En las figuras 3e y 3f se observa una relación lineal significativa ($p < 0,01$), en donde se desprende que los contenidos de FDN y FDA aumentan en 2,6 y 1,2 unidades de porcentaje respectivamente, en la medida que se disminuye la frecuencia de defoliación en 0,5 hojas.

El contenido de CHOS presentó una mayor concentración ($p < 0,01$) en los tratamientos de defoliación

menos frecuentes (tratamientos 7, 8 y 9). De la regresión obtenida ($p < 0,01$) se desprende que el contenido de CHOS aumenta en la medida que se disminuye la frecuencia de defoliación (Figura 3g).

Las CT presentaron valores normales, alrededor de 8 a 10%, con diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,01$). También, se obtuvo una relación altamente significativa ($p < 0,01$) entre frecuencia de defoliación y contenido de CT, donde en la medida que disminuyó la frecuencia de defoliación se produjo una disminución en el contenido de CT (Figura 3h).

El contenido de PS varió entre un 10 y 14%, siendo mayor en las defoliaciones más frecuentes con diferencias significativas ($p < 0,01$) entre tratamientos. La regresión lineal entre PS y número de hojas (Figura 3i) es altamente significativa ($p < 0,01$), indicando que por cada 0,5 hojas de disminución en la frecuencia de defoliación el contenido de PS disminuiría en 0,108 unidades de porcentaje.

DISCUSIÓN

Filocrono

No se detectaron efectos de las frecuencias de defoliación sobre el filocrono expresado en días por hoja, ni como suma térmica. Por esta razón, se podría afirmar que el filocrono fue independiente del tratamiento de defoliación al cual fue sometida la pradera, pero que varió dependiendo la época del año (Otoño-Invierno). Estos resultados concuerdan con lo reportado por Balocchi *et al.* (2011) y Poff *et al.* (2011) para *L. perenne* y por Acharán *et al.* (2009) en una pradera mixta *L. perenne/T. repens*. Similares resultados han sido reportados en Argentina por Berone *et al.* (2008) para *L. perenne* y *B. stamineus* en la época de invierno, en México y en Nueva Zelanda por Velasco *et al.* (2007) y Lee *et al.* (2007), respectivamente. Esta falta de respuesta del filocrono a la frecuencia de defoliación se debería a que esta variable está controlada principalmente por la temperatura (Forde, 1966).

El filocrono promedio encontrado para *L. perenne* fue de 20 días, siendo similar al valor encontrado en el sur de Australia, por Turner *et al.* (2006) entre septiembre y junio, que reporta 23 días en promedio y por Lemaire *et al.* (2009) en Francia, quien obtuvo 22 días.

En nuestro estudio se observó que en los meses de invierno se requieren más días para la aparición de una nueva hoja que para los meses de otoño, lo que coincide con lo encontrado por Fulkerson y Michell (1987). En donde en mayo, junio, julio, agosto e inicios de septiembre, una nueva hoja de *L. perenne* aparece en promedio cada 15, 24, 21, 15 y 18 días, respectivamente. Esta diferencia se podría considerar como estacional, siendo una explicación que en condiciones de sombreado o baja luminosidad, generalmente la tasa de aparición de hojas decrece (Forde, 1966). También estaría asociado a una disminución de la temperatura, ya que ésta es la que controla los procesos de división y multiplicación celular (McMaster *et al.*, 2003), lo que coincidiría con un periodo de menor luminosidad y temperatura (invierno) en donde la tasa de aparición de hojas decrece. Por lo tanto, más que la frecuencia de defoliación, existirían otros factores que afectarían en mayor medida al filocrono expresado en días.

Para el filocrono expresado como suma térmica se observó que las plantas son capaces de producir una nueva hoja con una menor suma térmica en la época de invierno, lo que sería coincidente con los resultados obtenidos por Acharán *et al.* (2009) y Balocchi *et al.* (2011). Estos resultados sugieren que existe un mecanismo u otros factores que estarían controlando el filocrono, más allá que la frecuencia de defoliación y la temperatura, ya que la planta sería capaz de producir una nueva hoja con una menor acumulación de temperatura, por lo que serían necesarios futuros estudios

para determinar qué mecanismo o factores son los que actúan controlando este proceso fisiológico.

Producción de fitomasa

La producción total de fitomasa en el presente estudio fue máxima en las minipraderas defoliadas a 5 hojas, aunque sólo se detectaron diferencias estadísticamente significativas en las frecuencias bajo las 2,5 hojas. Esto posiblemente debido a un menor contenido de CHOS, siendo estos la fuente de energía usada para los procesos asociados al crecimiento y mantención (Fulkerson y Lowe, 2002). Este efecto de la frecuencia de defoliación sobre la producción de fitomasa obtenido en el presente estudio es concordante con lo señalado por la literatura. En donde, D'angelo *et al.* (2005) dice que defoliaciones infrecuentes incrementan la producción de fitomasa, coincidiendo con lo reportado en una revisión realizada por Ferraro y Oesterheld (2002) en 47 especies, donde los resultados mostraron un efecto negativo de la defoliación en el crecimiento de las plantas, dando como resultado una disminución de la producción de fitomasa. Similares resultados obtuvieron Beltrán *et al.* (2005) en *Cenchrus ciliaris* o pasto buffel, Turner *et al.* (2006) en *Bromus willdenowii* y *Dactylis glomerata*, Lee *et al.* (2007), Belton (1990), Fulkerson y Slack (1995), Donaghy y Fulkerson (1997), Hazard y Ghesquiere (1997), Hume (1991), Velasco *et al.* (2005), Donaghy y Fulkerson (2001), Turner *et al.* (2006), Velasco *et al.* (2007) y Balocchi *et al.* (2011) en *L. perenne* y en mezcla con *T. repens*, Acharán *et al.* (2009) y al comparar *Lolium multiflorum* con *L. perenne* bajo diferentes frecuencias de defoliación (Donaghy *et al.*, 1997).

Esto se debería a que la acumulación de MS por macollo es reducida significativamente por efecto de defoliaciones frecuentes (Donaghy *et al.*, 1997). Estos resultados se podrían atribuir a dos razones, encontrando una primera explicación en que se produce una disminución en la elongación diaria de la lámina, siendo esta de menor tamaño en los tratamientos que son defoliados más frecuentes (Berone *et al.*, 2008). Esta disminución en el rendimiento también se puede asociar a una disminución del tamaño (Berone *et al.*, 2008) y peso del macollo y no a la disminución de densidad (Turner *et al.*, 2006). Aunque el peso por macollo no fue medido en el presente estudio, los resultados son concordantes, por lo que la disminución de rendimiento encontrada por efecto de la frecuencia de defoliación se puede atribuir a los antecedentes antes expuestos.

Resultados diferentes a los estudios anteriores fueron reportados por Fulkerson y Michell (1987), quienes señalan que la MS cosechada en el periodo otoño-invierno, no fue significativamente afectada por la frecuencia de defoliación (14, 28, 84 y 112 días), pero mencionan que una defoliación intensa debería aumentar la utilización de forraje.

Tasa de elongación foliar

El mayor efecto de la frecuencia de defoliación en el crecimiento de los macollos fue modificar la tasa de elongación foliar, la cual fue consistentemente menor con altas frecuencias de defoliación, encontrándose diferencias altamente significativas en los tratamientos bajo 2,5 hojas. Lo anterior coincidiría con defoliaciones bajo el óptimo recomendado (2,5-3,0 hojas), cuando el contenido de CHOS en la base de la planta es insuficiente como fuente de energía para el rebrote (White, 1973; Fulkerson y Lowe, 2002). Estos resultados son concordantes con los obtenidos por Balocchi *et al.* (2011) para la época de invierno y similares a los reportados por Berone *et al.* (2008), Fulkerson y Michell (1987) y Velasco *et al.* (2005), ya que la tasa decrecimiento diaria fue menor al cortar cada 2 semanas, que cada 4 y 6 semanas. Además, estos autores observaron que al aumentar la frecuencia de defoliación cada 2 semanas, disminuyó la altura de la planta, lo que concuerda con lo reportado por Acharán *et al.* (2009), quien encontró una mayor altura sin disturbar al disminuir la frecuencia de defoliación en una pradera mixta de *L. perenne*/*T. repens*. Similares resultados reportaron Fulkerson y Slack (1995) y Hume (1991), en estudios realizados en condiciones controladas (invernadero) con *L. perenne* y al comparar con plantas testigo sin defoliar. Estos resultados son coincidentes con lo señalado por Forde (1966) y Vole nec y Nelson (1983) quienes reportaron que la tendencia general es que la defoliación reduce la longitud celular y disminuye el número de células por lámina, dando como resultado una disminución en el largo total de la lámina de *L. perenne*. A diferencia de los resultados expuestos precedentemente, Poff *et al.* (2011) no encontraron diferencias significativas para elongación foliar entre los tratamientos de defoliación de 1,5; 2,5 y 3,5 hojas para *Lolium perenne* en la época de otoño.

La elongación diaria de *L. perenne* ha sido relacionada con la temperatura media diaria, en donde se ha observado una relación lineal (Peacock, 1975), concordando con lo observado en el presente estudio, ya que al acercarse a la época de invierno se produce una disminución de la temperatura, dando como resultado una disminución del crecimiento diario de la lámina de *L. perenne*. Aunque McMaster *et al.* (2003) señalan que la expansión celular es mucho más dependiente de otros recursos, como carbohidratos, agua, nutrientes y luz, siendo ésta una posible explicación para el menor crecimiento diario encontrado en los tratamientos que presentaron un menor contenido de CHOS (bajo las 2,5 hojas).

Densidad de macollos

Se encontró un efecto significativo de la frecuencia de defoliación sobre la densidad de macollos y esto concuerda con lo reportado por Turner *et al.* (2006),

quienes de igual forma no encontraron efecto significativo de diferentes frecuencias de defoliación (2,0; 3,0 y 4,0 hojas) sobre la densidad de plantas. Sin embargo, cuando los resultados fueron sometidos a un análisis de regresión este mostró una relación lineal significativa que indica que al disminuir la frecuencia de defoliación se reduce la densidad de macollos. Esta misma relación es mencionada por D'angelo *et al.* (2005) y Hume (1991), quienes encontraron que para *Lolium perenne*, pastoreos frecuentes e intensos incrementaron el número de macollos. Esto se debería a que existe una mayor penetración de luz solar a la base de la planta, la cual estimula los puntos de crecimiento y la tasa de aparición de macollos, por ende existe un mayor número de macollos (Pérez *et al.*, 2002).

McKenzie (1997) encontraron que la densidad de *Lolium perenne* en condiciones templadas aumenta con defoliaciones frecuentes e intensas y que disminuye con defoliaciones infrecuentes y laxas. En cambio, en condiciones subtropicales pastoreos infrecuentes (sin importar la intensidad) resultan en densidades mayores (McKenzie, 1997). Velasco *et al.* (2007) reportaron que, con una mayor frecuencia de corte de una pradera, se obtiene como resultado un aumento en el número de macollos m⁻² en verano e invierno.

Aparición de macollos

Las diferentes frecuencias de defoliación no presentaron efectos estadísticamente significativos sobre la aparición de macollos, coincidiendo con lo observado por Turner *et al.* (2006), Donaghy *et al.* (1997) y Fulkerson y Michell (1987), donde los tratamientos de defoliación basados en el número de hojas, no tuvieron efecto sobre la dinámica de macollamiento. La falta de respuesta en los primeros tratamientos (1,0; 1,5; 2,0 y 2,5 hojas) puede ser explicado por la prioridad de las plantas al rebrote, donde Donaghy y Fulkerson (1998) y Cullen *et al.* (2006), encontraron que la primera prioridad para las plantas defoliadas es reestablecer el área foliar, después continuar con el crecimiento de las raíces y finalmente la producción de nuevos macollos, momento que coincidiría con una completa recuperación de las reservas de carbohidratos.

Calidad nutricional del forraje.

La calidad nutritiva del forraje cosechado se vio significativamente afectada por las diferentes frecuencias de defoliación. La literatura señala que intervalos de defoliación largos están asociados con acumulación de materia seca y han sido asociados con una disminución en la calidad nutritiva (Belton, 1990). Aunque otros autores han señalado que la calidad del forraje no se deteriora significativamente hasta el inicio de la senescencia al estado de 3,5 hojas en *Lolium perenne* (Fulkerson

y Slack, 1994). Sin embargo, Turner *et al.* (2006), compararon y cuantificaron los cambios en el valor nutritivo bajo diferentes intervalos de defoliación basado en el número de hojas, para *Lolium perenne*, *Bromus willdenowii* y *Dactylis glomerata*. En las tres especies las plantas defoliadas al estado de 4 hojas presentaron una menor concentración de PC que plantas defoliadas al estado de 2 hojas, siendo coincidente con lo reportado por Acharán *et al.* (2009), Poff *et al.* (2011), Balocchi *et al.* (2011) y los resultados del presente estudio, donde el contenido de PC disminuyó (26,2 a 17%) al ir disminuyendo la frecuencia de defoliación de 1 a 5 hojas. Turner *et al.* (2006) señalan que para plantas de *Lolium perenne* defoliadas al estado de 2 y 3 hojas no se detectaron diferencias estadísticamente significativas en la concentración de PC, lo que difiere de los resultados obtenidos en este trabajo. Esta disminución en el contenido de PC se encontraría asociada a una disminución en el contenido celular (Wilson y Hatfield, 1997). La PS presentó similar respuesta, disminuyendo de 14,3 a 10,2% con la menor frecuencia de defoliación, coincidiendo con los estudios de Acharán *et al.* (2009) y Balocchi *et al.* (2011) en una pradera mixta de *Lolium perenne*/*Trifolium repens* y en otra de *Lolium perenne*, respectivamente.

El contenido de EM obtenido para la época otoño-invierno en el presente estudio fluctuó entre 2,59-2,67 Mcal kg⁻¹, por lo que se encontraría categorizada como una pradera de mediana y alta calidad (Anrique *et al.*, 2008). Valores superiores fueron encontrados en el trabajo de Turner *et al.* (2006), donde *Lolium perenne* presentó una concentración de 2,75 Mcal kg⁻¹. Esta diferencia podría deberse a que estos últimos autores obtuvieron datos de todo un año. Además, reportan que *Lolium perenne* tuvo una menor concentración de EM al ser defoliada al estado de 4 hojas comparado con el de 2 hojas. Esto se encontraría relacionado con un aumento del material senescente dado principalmente por la muerte de la primera hoja al aparecer la cuarta. También sería coincidente con lo observado en el presente estudio y con los estudios realizados por Poff *et al.* (2011) y Balocchi *et al.* (2011) en el mismo sitio, en donde la frecuencia de defoliación tuvo un efecto significativo sobre la concentración de EM. Sin embargo, Turner *et al.* (2006) reportan que al expresar la producción de EM por hectárea, ésta es significativamente menor para plantas defoliadas al estado de 2 hojas comparado con plantas defoliadas con menor frecuencia, siendo esta diferencia atribuible a las diferencias en producción de fitomasa.

Los resultados del presente estudio muestran que el contenido de FDN y FDA aumentó de 32,7 a 42,9% y de 24,6 a 30,4% respectivamente, como consecuencia de la disminución en la frecuencia de defoliación. Similares resultados obtuvieron Acharán *et al.* (2009) en una pradera mixta de *Lolium perenne*/*Trifolium re-*

pens y Poff *et al.* (2011) y Balocchi *et al.* (2011) en una pradera de *Lolium perenne*. Este incremento en el contenido de fibra está asociado a la aparición de material senescente con el avance en la edad de las plantas, ya que se produce un incremento en el grosor de la pared celular (lignina, celulosa y hemicelulosa). Por el contrario, el diámetro del lumen celular se ve disminuido con un aumento en la madurez de la planta (Wilson y Hatfield, 1997), estando este incremento en la pared celular asociado con la disminución del valor D del forraje (Canseco *et al.*, 2007).

Los CHOS en el forraje cosechado, aumentan cuando la frecuencia de defoliación disminuye, coincidiendo con lo reportado por Fulkerson y Slack (1994), Poff *et al.* (2011) y Balocchi *et al.* (2011) para una pradera de *L. perenne* y por Acharán *et al.* (2009) para una pradera mixta de *L. perenne*/*T. repens*. Ésto se debería a que el intervalo entre defoliaciones en algunos tratamientos fue tan corto, que no permitió reponer las reservas de carbohidratos usadas para el rebrote debido a que el área foliar, que es la principal fuente para el proceso de fotosíntesis, no alcanzó un nivel suficiente para reponer las reservas de CHOS (Velasco *et al.*, 2005).

CONCLUSIONES

El filocrono es independiente de la frecuencia de defoliación y varió de 11 a 25 días dependiendo la época del año (Otoño-Invierno). La frecuencia de defoliación modificó significativamente la elongación diaria de la lámina de *Lolium perenne* y la fitomasa producida, siendo mayor en los tratamientos de defoliación infrecuente.

No se encontró un efecto significativo de la frecuencia de defoliación sobre la aparición de macollos. La calidad nutritiva es significativamente modificada por la frecuencia de defoliación.

REFERENCIAS

- Acharán, F., Balocchi, O., López, I., 2009. Filocrono, producción de fitomasa y calidad nutritiva de una pradera de *Lolium perenne* L./*Trifolium repens* L. sometida a tres frecuencias e intensidades de defoliación. *Agro Sur* 37, 81-90.
- Anrique, R., Fuchslocher, R., Iraira, S., Saldaña, R., 2008. Composición de alimentos para el ganado bovino. Consorcio lechero, Universidad Austral de Chile, Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Tercera Edición, Valdivia.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC), 1996. Official Methods of Analysis. 16th ed. AOAC, Gaithersburg, MD, USA.
- Balocchi, O., Solis, C., Poff, J., 2011. Filocrono en una pradera de *Lolium perenne* L.: Efecto de la frecuencia de defoliación y fertilización nitrogenada. *Agro Sur* 39, 165-176.
- Belton, J., 1990. The effect of defoliation interval in winter on pasture productivity in winter and spring: a regional comparison. *Australian Journal of Experimental Agri-*

- culture 30, 357-360.
- Beltrán, S., Hernández, A., Gracia, E., Pérez, J., Kohashi-Shibata, J., Herrera, J., Quero, A., González, S., 2005. Efecto de la altura y frecuencia de corte en el crecimiento y rendimiento del pasto buffel (*Cenchrus ciliaris* L.) en un invernadero. *Agrociencia* 39, 137-147.
- Berone, G., Lattanzi, F., Agnusdei, M., Bertolotti, N., 2008. Growth of individual tillers and tillering rate of *Lolium perenne* and *Bromus stamineus* subjected to two defoliation frequencies in winter in Argentina. *Grass and Forage Science* 63, 504-512.
- Briske, D., 1991. Developmental morphology and physiology of grasses, in: *Grazing Management: An Ecological perspective*. Heitschmidt, R., Stuth, J. (Eds.), Timber Press. Portland, pp. 85-108.
- Canseco, C., Abarzúa, A., Parga, J., Teuber, N., Balocchi, O., Lopetegui, J., Anwandter, V., Demanet, R., 2007. Calidad nutricional de las praderas, in: Teuber, N., Balocchi, O., Parga, J. (Eds.), *Manejo del Pastoreo*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Universidad Austral de Chile, Universidad de la Frontera, Fundación para la Innovación Agraria. Osorno, Chile, pp. 51-67.
- Cullen, B., Chapman, D., Quigley, P., 2006. Comparative defoliation tolerance of temperate perennial grasses. *Grass and Forage Science* 61, 405-412.
- D'angelo, G., Postulka, E., Ferrari, L., 2005. Infrequent and intense defoliation benefits dry-matter accumulation and persistence of clipped *Arrhenaterum elatius*. *Grass and Forage Science* 60, 17-24.
- Donaghy, D., Fulkerson, W., 1997. The importance of water-soluble carbohydrate reserves on regrowth and root growth of *Lolium perenne* (L.). *Grass and Forage Science* 52, 401-407.
- Donaghy, D., Scott, J., Fulkerson, W., 1997. Effect of defoliation frequency and summer irrigation on survival of perennial (*Lolium perenne*) and biennial (*Lolium multiflorum*) ryegrass in the subtropics. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 37, 537-545.
- Donaghy, D., Fulkerson, W., 1998. Priority of allocation of water soluble carbohydrate reserves during regrowth of *Lolium perenne*. *Grass and Forage Science* 53, 211-218.
- Donaghy, J., Fulkerson, W., 2001. Principles for developing an effective grazing management system for ryegrass-based pastures. *Dairy Research and Development Corporation, Tasmanian Institute of Agricultural Research*, pp. 1-10.
- Ferraro, D., Oesterheld, M., 2002. Effect of defoliation on grass growth. A quantitative review. *Oikos* 98, 125-133.
- Forde, B., 1966. Effect of various environments on the anatomy and growth of perennial ryegrass and cocksfoot. *New Zealand Journal of Botany* 4, 455-468.
- Fulkerson, W., Lowe, K., 2002. *Grazing Management. Forages and Pastures*. Elsevier Science. Oxford, pp. 1142-1149.
- Fulkerson, W., Michell, P., 1987. The effect of height and frequency of mowing on the yield and composition of perennial ryegrass-white clover swards on the autumn to spring period. *Grass and Forage Science* 42, 169-174.
- Fulkerson, W., Slack, K., 1994. Leaf number as a criterion for determining defoliation time for *Lolium perenne*. 1. Effect of water soluble carbohydrates and senescence. *Grass and Forage Science* 49, 373-377.
- Fulkerson, W., Slack, K., 1995. Leaf number as a criterion for determining defoliation time for *Lolium perenne*: 2. Effect of defoliation frequency and height. *Grass and Forage Science* 50, 16-20.
- Hazard, L., Ghesquiére, M., 1997. Productivity under contrasting cutting regimes of perennial ryegrass selected for short and long leaves. *Euphytica* 95, 295-299.
- Hernández, A., Matthew, C., Hodgson, J., 1997. Effect of spring management on perennial ryegrass and ryegrass-white clover pastures. 2 Tiller and growing point densities and population dynamics. *New Zealand Journal of Agricultural Research* 40, 37-50.
- Hernández, A., Matthew, C., Hodgson, J., 1999. Tiller size/density compensation in perennial ryegrass miniature swards subject to differing defoliation heights and a proposed productivity index. *Grass and Forage Science* 54, 347-356.
- Hume, D., 1991. Effect of cutting on production and tillering in prairie grass (*Bromus willdenowii* Kunth) compared with two ryegrass (*Lolium*) species. 1 Vegetative plants. *Annals of Botany* 67, 533-541.
- Lee, J., Donaghy, D., Roche, J., 2007. The effect of grazing severity and fertiliser application during winter on herbage regrowth and quality of perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.). *Australian Journal of Experimental Agriculture* 47, 825-832.
- Lemaire, G., Da Silva, S., Agnusdei, M., Wade, M., Hodgson, J., 2009. Interactions between leaf lifespan and defoliation frequency in temperate and tropical pastures: a review. *Grass and Forage Science* 64, 341-353.
- McKenzie, F., 1997. Influence of grazing frequency and intensity on the density and persistence of *Lolium perenne* under subtropical conditions. *Tropical Grasslands* 31, 219-226.
- McMaster, G., Wilhelm, W., Palic, D., Porter, J., Jamieson, P., 2003. Spring Wheat leaf appearance and temperature: Extending the paradigm?. *Annals of Botany* 91, 697-705.
- Muslera, E., Ratera, C., 1991. *Praderas y Forrajes*. 2º Edición. Producción y aprovechamiento. Mundi-Prensa, Madrid.
- Peacock, J., 1975. Temperature and leaf growth in *Lolium perenne*. 1. The thermal microclimate: its measurement and relation to crop growth. *Journal of Applied Ecology* 12, 99-114.
- Pérez, M., Hernández, A., Pérez, J., Herrera, J., Bárcena, R., 2002. Respuesta productiva y dinámica de rebrote del ballico perenne a diferentes alturas de corte. *Técnica Pecuaria en México* 40, 251-263.
- Poff, J., Balocchi, O., Lopez, I., 2011. Sward and tiller growth dynamics of *Lolium perenne* L. as affected by defoliation frequency during autumn. *Crop and Pasture Science* 62, 346-354.
- Turner, L., Donaghy, D., Lane, P., Rawnsley, R., 2006. Effect of defoliation management, based on leaf stage, on perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.), prairie grass (*Bromus willdenowii* Kunth.) and cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) under dryland conditions. 1. Regrowth, tillering and water-soluble carbohydrate concentration. *Grass and Forage Science* 61, 164-174.
- Turner, L., Donaghy, D., Lane, P., Rawnsley, R., 2006. Effect of defoliation management, based on leaf stage, on perennial ryegrass (*Lolium perenne* L.), prairie grass (*Bromus*

- willdenowii* Kunth.) and cocksfoot (*Dactylis glomerata* L.) under dryland conditions. 2. Nutritive value. Grass and Forage Science 61, 175-181.
- Velasco, M., Hernández, A., González V., 2005. Rendimiento y valor nutritivo del ballico perenne (*Lolium perenne* L.) en respuesta a la frecuencia de corte. Revista Fitotecnia Mexicana 43, 247-258.
- Velasco, M., Hernández, A., González V., 2007. Cambios en componentes del rendimiento de una pradera de ballico perenne, en respuesta a la frecuencia de corte. Revista Fitotecnia Mexicana 30, 79-87.
- Volenc, J., Nelson, C., 1983. Response of tall fescue leaf meristem to N fertilization and harvest frequency. Crop Science 23, 720-724.
- Wilson, J., Hatfield, R., 1997. Structural and chemical changes of cell wall types during stem development: Consequences for fibre degradation by rumen microflora. Australian Journal of Agricultural Research 48, 165-180.
- White, L., 1973. Carbohydrate reserves of grasses: A review. Journal of Range Management 26, 13-18.

