

Dinámica de crecimiento y calidad nutritiva de una pradera de *Lolium perenne* L. sometida a dos frecuencias de defoliación y dosis crecientes de nitrógeno

Growth dynamics and nutritive quality of a *Lolium perenne* L. sward subjected to two defoliation frequencies and increasing nitrogen application levels

Balocchi, O.^{a,*}, Niklitschek, M.^b, Loaiza, P.^c

^aInstituto de Producción Animal, Facultad de Ciencias Agrarias y Alimentarias, Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia.

^bEscuela de Graduados, Facultad de Ciencias Agrarias y Alimentarias, Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia.

^cDairy Link, Bilbao 1860, Osorno, Chile.

ARTICLE INFO

Article history:

Received 15.09.2021

Accepted 12.11.2021

Keywords:

Perennial ryegrass

Leaf stage

Herbage production

Original Research Article,
Pastures and Forage Crops

*Corresponding author:

Oscar Balocchi

E-mail address:

obalocch@uach.cl

ABSTRACT

The frequency of defoliation and the application of nitrogen fertilizer are two important tools to manipulate the nutritional quality of the forage, increase the yield and perenniality of a sward. The study aimed to determine the effect of the different levels of nitrogen fertilizer application and two frequencies of defoliation, determined by the number of leaves per tiller on the growth dynamics and nutritional quality of *Lolium perenne*. The study was conducted in the spring-summer season at the Estación Experimental Agropecuaria Austral of the Universidad Austral de Chile in Valdivia, Chile. The treatments corresponded to the combination of five levels of nitrogen fertilization (0, 75, 150, 300 and 450 kg of N ha⁻¹ year⁻¹) and two defoliation frequencies (two and three leaves per tiller). A complete randomized block design was used with 10 treatments consisting of the factorial combination of five levels of N and two frequencies of defoliation. Partial nitrogen fertilizations were carried out monthly and applied on the 15th of each month, the monthly distribution of the N was determined according to the growth rate of the sward. Higher levels of nitrogen fertilization increased sward herbage production and were associated with an increase in tiller density and greater interception of solar radiation. Nitrogen fertilization modified the nutritional quality of the sward (herbage mass above 5 cm). Higher levels of N increase the contribution of leaf blade, crude protein content and metabolizable energy, decreasing in soluble carbohydrate content. Defoliation to three leaves per tiller produces a higher yield of herbage mass, with a greater interception of solar radiation. On the other hand, the two-leaf defoliated sward has a higher density of tillers with a higher crude protein content and lower concentration of soluble carbohydrates. It was concluded that nitrogen fertilization and defoliation frequency are tools that allow to manipulate the production of herbage mass and the nutritional quality of the forage in a *L. perenne* sward.

RESUMEN

La frecuencia de defoliación y la aplicación de fertilizante nitrogenado son dos herramientas importantes para manipular la calidad nutritiva del forraje, aumentar el rendimiento y perennidad de una pradera. El estudio tuvo como objetivo determinar el efecto de la aplicación de distintas dosis de fertilización nitrogenada y dos frecuencias de defoliación, determinadas por el número de hojas por macollo sobre la dinámica de crecimiento y calidad nutritiva de *Lolium perenne*. El estudio fue realizado en la época primavera-verano en la Estación Experimental Agropecuaria Austral de la Universidad Austral de Chile en Valdivia. Los tratamientos correspondieron a la combinación de cinco niveles de fertilización nitrogenada (0, 75, 150, 300 y 450 kg de N ha⁻¹ año⁻¹) y dos frecuencias de defoliación (2 y 3 hojas por macollo). Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con 10 tratamientos conformados por la combinación factorial de cinco niveles de N y dos frecuencias de defoliación. La fertilización nitrogenada fue parcializada mensualmente y se aplicó el día 15 de cada mes, la distribución mensual de la dosis se determinó según la tasa de crecimiento de la pradera. Los mayores niveles de fertilización nitrogenada aumentaron la producción de fitomasa, asociado a un incremento en la densidad de macollos y a una mayor intercepción de la radiación solar. Además, las mayores dosis de N incrementaron la proporción de lámina, el contenido de proteína cruda y la energía metabolizable, disminuyendo en contenido de carbohidratos solubles. La defoliación a tres hojas por macollo produjo un mayor rendimiento de fitomasa, con mayor intercepción de radiación solar. Por otra parte, la pradera defoliada a dos hojas tuvo una mayor densidad de macollos con un mayor contenido de proteína cruda y menor concentración de carbohidratos solubles. El estudio concluye que en una pradera de *L. perenne* la fertilización nitrogenada y la frecuencia de defoliación son herramientas que permiten manipular la producción de fitomasa y la calidad nutritiva del forraje.

Palabras clave: Ballica perenne, número de hojas, rendimiento de fitomasa.

INTRODUCCION

Con la intensificación de los sistemas productivos cada vez se están incorporando, en las praderas, especies de mayor productividad y valor nutritivo, particularmente *Lolium perenne* L. Sin embargo, el costo adicional y la mayor exigencia por insumos, comparadas con las praderas naturalizadas, hace que el manejo agronómico, tales como fertilización mineral, frecuencia e intensidad de defoliación deben ser los adecuados para que la pradera exprese su potencial de producción, calidad nutritiva y perennidad.

Hay varias razones que explican la baja eficiencia y nivel de producción de las praderas, entre las principales, la baja disponibilidad de nutrientes del suelo, asociado a bajas aplicaciones de fertilizantes o fertilizaciones desbalanceadas (Descalzi et al., 2020) y a manejos inadecuados de la pradera, en especial criterios de pastoreo inapropiados que se traducen en baja eficiencia de utilización (Gastal y Lemaire, 2015), entre otras causas.

La fertilización nitrogenada es una de las principales herramientas que permite generar una mayor productividad y calidad nutritiva de las praderas. Sin embargo, no está suficientemente claro el nivel recomendado para el óptimo retorno económico. Distintos países recomiendan diferentes dosis de fertilización nitrogenada que van de los 100 a 600 kg N ha⁻¹ año⁻¹. No obstante, la respuesta productiva de la pradera es cada vez menor a medida que se aumenta la dosis de nitrógeno (N). El uso excesivo de este nutriente puede traer negativas consecuencias económicas, nutricionales y medioambientales. Entre ellas, si hay un exceso de proteína en el forraje se pueden llegar a alterar las características organolépticas de la leche y sus subproductos, producir daños a la salud del animal y contaminación al medio ambiente (Keim y Anrique, 2011).

Evaluaciones realizadas por Hopkins (2000), han demostrado que praderas de *Lolium perenne* fertilizadas con 250 kg N ha⁻¹ año⁻¹ entregan producciones entre 10 y 18 ton MS ha⁻¹, donde los valores más altos estuvieron asociados con una buena condición de sitio. La aplicación de fertilizante nitrogenado genera un substancial aumento de los sitios de macollamiento, lo cual implica un aumento del número de macollos y consecuentemente la producción de hojas (Hopkins, 2000). Por su parte Whitehead (1995), confirma que la deficiencia de N es un factor limitante del número de macollos. McKenzie (1998) señala que niveles crecientes de N no modifican el patrón estacional, pero es un importante elemento requerido para maximizar el macollamiento, además que bajo pastoreos intensivos se observa una asociación entre alta densidad de macollos con altos niveles de N.

Según Whitehead (1995) cuando el fertilizante nitrogenado se aplica en bajas dosis a praderas que

muestran una seria deficiencia de N, usualmente ocurre un incremento en el crecimiento, pero solo un pequeño cambio en la concentración de N en la planta. En general, a medida que la dosis de fertilización nitrogenada va en aumento, la producción y la concentración de N se incrementan hasta que la producción alcanza un máximo. Hodgson (1994) informa que, a dosis aún más altas, la relación cambia, así la concentración de N continúa aumentando, pero la producción sólo muestra pequeños cambios y no repercutiendo en el valor energético del forraje.

Otro componente importante del manejo de una pradera es la frecuencia de defoliación, la cual debe ser adecuada a los requerimientos de las especies prateras y los requerimientos de los animales que pastorean, de forma de obtener un alto rendimiento productivo, sin afectar la calidad nutricional y perennidad de la pradera. Este objetivo se lograría al defoliar entre el momento que la planta acumula, en la base de sus macollos, suficiente cantidad de carbohidratos de reserva para su rebrote y antes que se inicie la senescencia de las hojas (Fulkerson y Donaghy 2001; Pembleton et al., 2017).

El número de hojas vivas por macollo es usado para determinar la frecuencia de defoliación, siendo a su vez apropiado para predecir la calidad del forraje (Fulkerson y Donaghy, 2001). Por ello se considera el método más preciso, pues refleja el estado de la planta en cuanto a niveles de energía. En primavera las praderas de ballica perenne que son pastoreadas a intervalos no mayores a tres hojas, según Hodgson (1994), la digestibilidad del forraje consumido debería permanecer por encima del 70% durante la estación de crecimiento. Así, desde la aparición de las primeras hojas el nivel de energía metabolizable declina gradualmente hasta la cuarta hoja, donde la pradera tiene solo 2,14 Mcal kg MS⁻¹. Por otro lado, la fibra detergente neutro (FDN) no se altera con rebrotes hasta las tres hojas por macollo, pero comienza a incrementarse con el comienzo de la senescencia y crecimiento del tallo después de las 3,5 hojas por macollo (Fulkerson y Donaghy, 2001).

El objetivo de esta investigación fue evaluar, durante el periodo primavera-verano, la respuesta productiva, morfológica y calidad nutritiva de una pradera de *Lolium perenne* en su tercer año de establecida, sometida a distintas dosis de fertilización nitrogenada y dos frecuencias de defoliación.

MATERIALES Y METODOS

Sitio de experimentación

El experimento se realizó en la Estación Experimental Agropecuaria Austral, perteneciente a la Universidad Austral de Chile, Valdivia (39°45' S, 73°14' O, elevación 12 m), entre los meses de agosto y abril. El clima

está clasificado como templado lluvioso con influencia mediterránea y se caracteriza por alta humedad relativa, bajas temperaturas y alta pluviometría que alcanza 2500 mm anuales distribuidos a través del año y concentrado en invierno. La temperatura promedio anual es de 11 °C (Dirección Meteorológica de Chile, 2001). En la Figura 1 se observan las temperaturas mínimas, medias, máximas y las precipitaciones para el periodo de experimentación.

Establecimiento del ensayo

El ensayo se realizó en una pradera permanente de *Lolium perenne* L. cv. Arrow de tres años de establecida. La pradera previamente era pastoreada por vacas lecheras y se excluyó del pastoreo a partir del 1 de junio. Antes de comenzar la experimentación (5 de agosto), se realizó, en el área del ensayo, un corte de homogenización dejando una altura de 5 cm de residuo.

El suelo pertenece a la serie Valdivia y se caracteriza por ser proveniente de cenizas volcánicas, con altos contenidos de materia orgánica, pero baja tasa de mineralización lo que lleva a niveles de nitrógeno mineral medios a bajos. La topografía del sector está dominada por pendientes entre 2-8% y sectores con ondulaciones leves de 2 al 5% (IREN - UCh, 1978). El

sitio del experimento presenta una topografía con leve pendiente de orientación Este.

El Cuadro 1 describe las características químicas del suelo (primeros 20 cm). Se efectuó una fertilización el ocho de agosto, equivalente a 200 kg de P_2O_5 ha⁻¹ como superfosfato triple, 100 kg de K_2O ha⁻¹ como muriato de potasio, 30 kg de S ha⁻¹ junto con 25 kg de MgO ha⁻¹ como sulpomag. Adicionalmente se agregó 3.000 kg de $CaCO_3$ ha⁻¹ como magnecal 7.

Diseño experimental

Los tratamientos correspondieron a la combinación de cinco niveles de fertilización nitrogenada (0, 75, 150, 300 y 450 kg de N ha⁻¹ año⁻¹) y dos frecuencias de defoliación (2 y 3 hojas por macollo). Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con 10 tratamientos conformados por la combinación factorial de cinco niveles de N y por dos frecuencias de defoliación. Cada parcela tuvo una superficie de 12,5 m² (2,5 m de ancho x 5 m de largo). Los tratamientos se replicaron en tres bloques.

Los cortes de la pradera se realizaron a medida que las parcelas alcanzaban el estado de dos y tres hojas por macollo según el tratamiento correspondiente, dejando siempre un residuo de 5 cm. La fertilización nitroge-

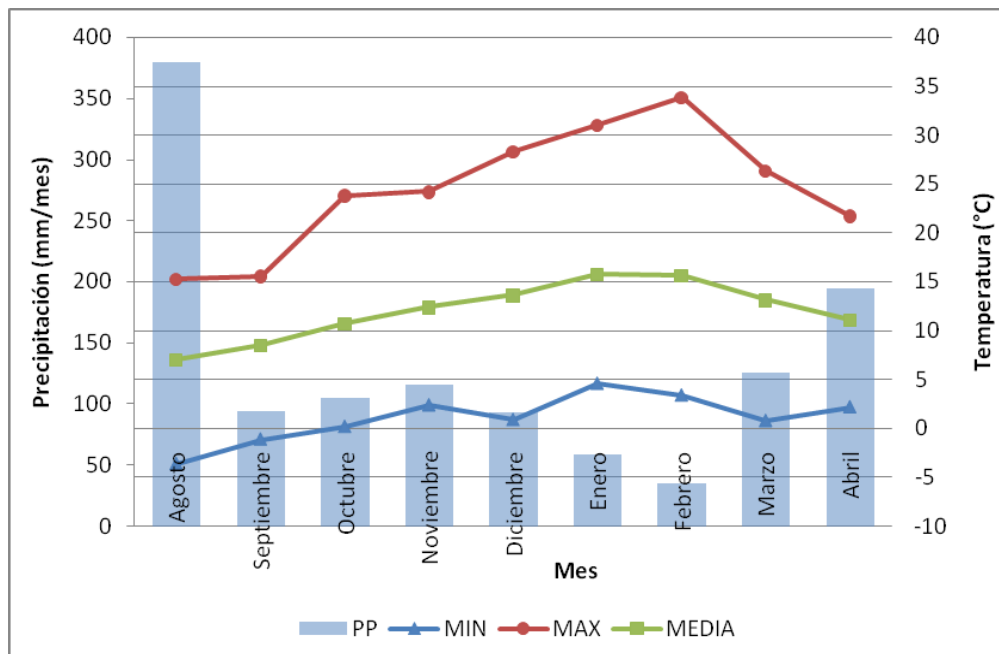


Figura 1. Precipitación mensual (mm), temperatura promedio mensual y temperatura mínima y máxima mensual, año 2010-2011 (Estación meteorológica, Estación Experimental Agropecuaria Austral, Universidad Austral de Chile).

Figure 1. Monthly precipitation (mm), average monthly temperature and monthly minimum and maximum temperature, year 2010-2011 (Meteorological Station, Estación Experimental Agropecuaria Austral, Universidad Austral de Chile).

nada fue parcializada mensualmente y se aplicó el día 15 de cada mes, según el tratamiento correspondiente (Cuadro 2). La distribución mensual de la dosis de fertilización nitrogenada se determinó según la tasa de

crecimiento mensual y contenido de N de una pradera medida en el mismo centro experimental años anteriores (Balocchi et al., 2001). La primera aplicación de fertilización nitrogenada se realizó el 15 de septiembre. Como fuente de N se utilizó el fertilizante comercial NitroMag que posee un 27% de N (50% N nítrico y 50% de N amoniacal), 7% de CaO y 5% de MgO.

Cuadro 1. Contenido de nutrientes del suelo al inicio del experimento.

Table 1. Soil nutrient content at the beginning of the experiment.

Parámetro	Unidad	Valor
pH en agua	1:2,5	5,4
pH CaCl ₂ (0,01M)	1:2,5	4,8
Materia orgánica	(%)	15
N-mineral (N-NO ₃ +NH ₄)	(mg/kg)	32,2
Fosforo Olsen	(mg/kg)	12,3
Potasio intercambiable	(mg/kg)	108
Sodio intercambiable	(cmol _c /kg)	0,15
Calcio intercambiable	(cmol _c /kg)	2,31
Magnesio intercambiable	(cmol _c /kg)	0,73
Suma de bases intercambiables	(cmol _c /kg)	3,47
Aluminio intercambiable	(cmol _c /kg)	0,22
CICE	(cmol _c /kg)	3,69
Saturación de aluminio	(%)	5,9
Azufre disponible	(mg/kg)	24,5

Evaluaciones

Previo a cada medición de rendimiento se cortaron los bordes de las parcelas con un ancho de 0,53 m, por lo tanto, quedaron parcelas con un área de 5,67 m² para ser evaluadas (1,44 m de ancho por 3,94 m de largo).

Rendimiento de fitomasa. En cada parcela se cosechó el material vegetal a 5 cm de altura y se pesó obteniendo el peso fresco. Para obtener la materia seca (MS) se tomó una muestra de forraje de cada parcela y se secó en un horno de aire forzado a 60 °C por 48 h. Luego mediante la proporción de MS se calculó los kg de MS por unidad de superficie. Se sumaron los rendimientos de cada corte y se calculó el rendimiento total del periodo en estudio.

Calidad nutritiva. Para la muestra seca obtenida en la medición de rendimiento de fitomasa, se determinó Proteína Cruda (PC, %), Energía Metabolizable (EM, Mcal kg⁻¹ MS), Fibra Detergente Neutra (FDN, %), Fibra Detergente Ácida (FDA, %) y Carbohidratos Solubles (CHOs, g kg⁻¹ MS). La calidad nutritiva se determinó mediante espectroscopia del infrarrojo cercano (NIRS) con un equipo FOSS-NIRSystems MODEL 6500

Cuadro 2. Proporción de la extracción mensual de nitrógeno para *Lolium perenne* L. y dosis mensual de nitrógeno aplicado.

Table 2. Proportion of the monthly extraction of nitrogen for *Lolium perenne* L. and monthly dose of applied nitrogen.

Mes	% ENM	kg N /ha				
		0	75	150	300	450
Septiembre	10,7	0	8,0	16,1	32,2	48,2
Octubre	14,2	0	10,6	21,2	42,5	63,7
Noviembre	14,7	0	11,0	22,1	44,1	66,2
Diciembre	11,0	0	8,2	16,5	32,9	49,4
Enero	9,6	0	7,2	14,3	28,7	43,0
Febrero	5,0	0	3,7	7,5	15,0	22,4
Marzo	4,5	0	3,4	6,8	13,5	20,3
Abril	10,1	0	7,6	15,1	30,2	45,4
Mayo	6,2	0	4,7	9,3	18,6	28,0
Junio	5,8	0	4,3	8,7	17,4	26,1
Julio	3,9	0	2,9	5,8	11,6	17,4
Agosto	4,4	0	3,3	6,6	13,3	19,9

Nota: %ENM: Porcentaje del nitrógeno total anual extraído por la pradera. Nota: el área sin sombrear abarca el tiempo de experimentación.

(FOSS NIRSystem Inc., Silver Spring, MD, USA). Se usaron ecuaciones de predicción desarrolladas en base a resultados de química húmeda realizados en el Laboratorio de Nutrición Animal de la Universidad Austral de Chile. Los errores estándar de la validación cruzada fueron 0,78; 1,92; 1,19; 0,30 y 6,99 para PC, FDN, FDA, EM y CHOs, respectivamente, mientras los valores de R^2 fueron 0,98; 0,93; 0,93; 0,84 y 0,96, respectivamente.

Componentes del rendimiento. De una muestra representativa de cada parcela (aproximadamente 50 g), se separó laminas, vainas, tallos (incluida la inflorescencia) y material muerto. Esta evaluación fue realizada en el primer corte, en el corte de fines de primavera y fines de verano. Los componentes del rendimiento se secaron en un horno de aire forzado a 60 °C por 48 h y se determinó el porcentaje de participación de cada uno de ellos.

Intercepción de radiación fotosintéticamente activa (PAR). Se utilizó un sensor portátil para medir PAR, marca Skye, éste mide la radiación que abarca la longitud de onda de los 400 a 700 nm. Se midió en el día anterior al corte a las 12:00 h, en la superficie y base de la pradera. Con esta medición se calculó el índice de intercepción de luz, con la división de estos dos valores. Por lo que este índice indica el porcentaje de PAR que es interceptada por el follaje.

Densidad de macollos. Seis días después del corte de finales de primavera, se extrajeron al azar tres cilindros de suelo (cores) por parcela mediante un sacabo-

cados de 10 cm de diámetro (78 cm²). Los cilindros de suelo fueron llevados al Laboratorio de Forrajeras de la Universidad Austral de Chile, cortados a ras de suelo con un bisturí y se separaron los siguientes componentes: macollos de *Lolium perenne*, macollos de otras gramíneas, y plantas de hoja ancha. Cada componente fue registrado numéricamente y luego secado en horno de aire forzado a 60 °C por 48 h, para luego ser pesados. De esta forma cada componente fue expresado en número y peso individual.

Análisis estadístico. Los datos fueron analizados en el programa Start Graphics Centurion. Para todas las variables se determinó normalidad de los datos y homogeneidad de varianza, posteriormente se realizó una ANDEVA para el diseño mencionado. Se determinó la interacción de los factores y diferencias significativas entre los tratamientos. Se realizó el test de Tukey a un nivel de significancia de 5% para la comparación de medias.

RESULTADOS

Rendimiento de fitomasa

No se encontró interacción significativa entre la frecuencia de defoliación y el nivel de fertilización nitrogenada, por lo que se muestra la respuesta de los factores principales. Como se observa en la Figura 2,

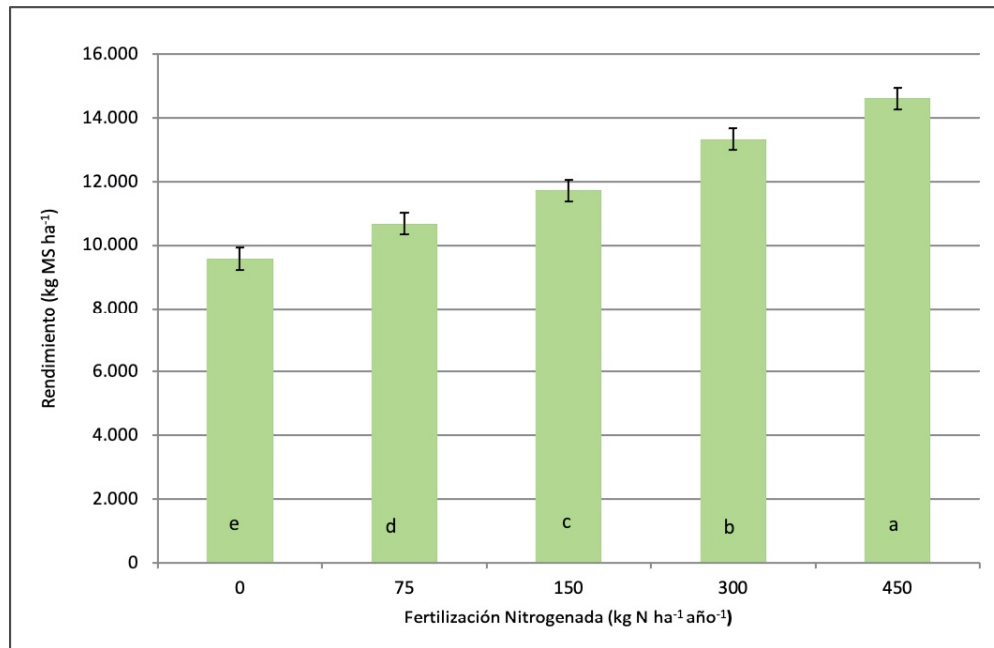


Figura 2. Rendimiento (kg MS ha⁻¹) de una pradera de *Lolium perenne* L. por efecto de distintos niveles de fertilización nitrogenada en el periodo primavera-verano. Valores seguidos de diferente letra dentro de cada columna difieren estadísticamente (5% Tukey).

Figure 2. Herbage production (kg DM ha⁻¹) of a *Lolium perenne* L. sward as result of different levels of nitrogen fertilization in the spring-summer period. Values followed by different letters within each column differ statistically (5% Tukey).

se encontraron diferencias significativas ($P < 0,01$) en la producción de fitomasa total para todas las dosis de fertilización nitrogenada. A medida que la dosis de fertilización nitrogenada fue aumentando, también el nivel de producción de fitomasa fue mayor. El rendimiento de fitomasa se incrementó, con respecto al control, en un 11,5; 22,2; 38,8 y 52,3% con la aplicación de 75, 150, 300 y 450 kg N ha⁻¹ año⁻¹ respectivamente.

La Figura 3, muestra que se encontraron diferencias significativas para las dos frecuencias de defolia-

ción de la pradera. Con la frecuencia de defoliación de tres hojas los rendimientos fueron mayores que con frecuencias de defoliación de dos hojas en un 7,4%.

Los Cuadros 3 y 4 muestran la producción de fitomasa por corte para los distintos niveles de fertilización nitrogenada, separados por frecuencia de defoliación. Como se aprecia en el Cuadro 3, con una frecuencia de defoliación de dos hojas, en el primero, segundo y quinto corte no se encontraron diferencias significativas por efecto de las distintas dosis de fertilización

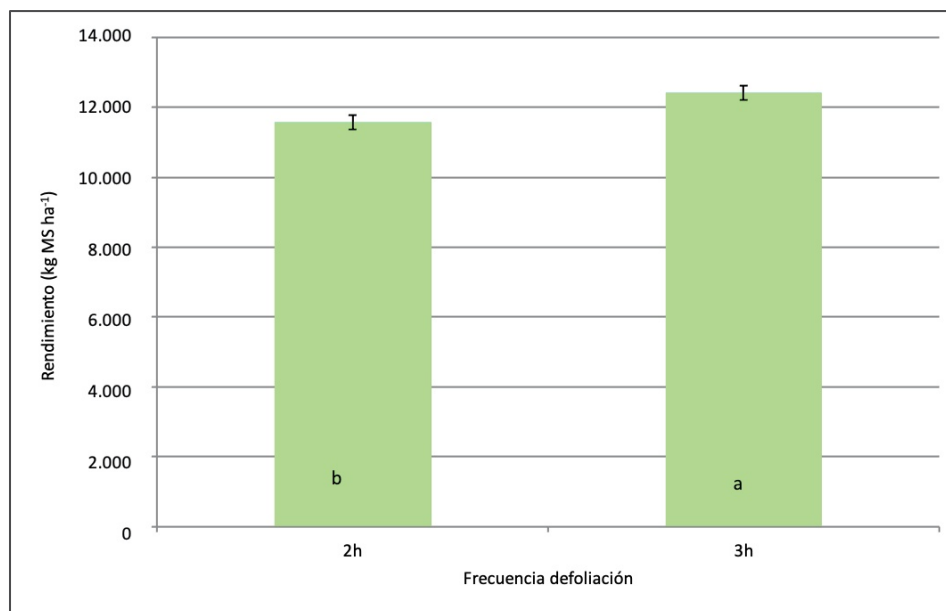


Figura 3. Rendimiento (kg MS ha⁻¹) de una pradera de *Lolium perenne* L. por efecto de dos frecuencias de defoliación (2 y 3 hojas) en el periodo primavera-verano. Valores seguidos de diferente letra dentro de cada columna difieren estadísticamente (5% Tukey).

Figure 3. Herbage production (kg DM ha⁻¹) of a *Lolium perenne* L. sward as result of defoliation frequencies (2 and 3 leaves) in the spring-summer period. Values followed by different letters within each column differ statistically (5% Tukey).

Cuadro 3. Efecto de distintas dosis de fertilización nitrogenada en el rendimiento (kg MS ha⁻¹) de una pradera de *Lolium perenne* L. con una frecuencia de defoliación de dos hojas en la época primavera-verano.

Table 3. Effect of different levels of nitrogen fertilization on the yield (kg DM ha⁻¹) of a *Lolium perenne* L. sward with a frequency of defoliation of two leaves in the spring-summer season.

Defoliación 2 hojas	Corte I 15 oct. 10	Corte II 11 nov. 10	Corte III 07 dic. 10	Corte IV 06 ene. 11	Corte V 04 feb. 11	Corte VI 03 mar. 11	Corte VII 07 abr. 11
Tratamientos kg N ha ⁻¹ año ⁻¹	Rdto kg MS ha ⁻¹	Rdto kg MS ha ⁻¹	Rdto kg MS ha ⁻¹	Rdto kg MS ha ⁻¹	Rdto kg MS ha ⁻¹	Rdto kg MS ha ⁻¹	Rdto kg MS ha ⁻¹
0	2.030 a	1.700 a	1.470 c	1.370 b	870 a	1.200 bc	1.130 d
75	1.800 a	1.900 a	1.930 bc	1.430 b	1.270 a	1.070 c	1.530 cd
150	2.330 a	1.830 a	1.730 bc	1.530 b	970 a	1.600 a	1.970 bc
300	2.300 a	2.130 a	2.270 ab	1.600 b	1.200 a	1.470 ab	2.530 ab
450	2.430 a	2.370 a	2.670 a	2.600 a	1.170 a	1.470 ab	3.070 a

Valores seguidos de diferente letra dentro de cada columna difieren estadísticamente (5% Tukey).

Cuadro 4. Efecto de distintas dosis de fertilización nitrogenada en el rendimiento (kg MS ha⁻¹) de una pradera de *Lolium perenne* L. con una frecuencia de defoliación de tres hojas en la época primavera-verano.

Table 4. Effect of different levels of nitrogen fertilization on the yield (kg DM ha⁻¹) of a *Lolium perenne* L. sward with a frequency of defoliation of three leaves in the spring-summer season.

Defoliación 3 hojas	Corte I 23 oct. 10	Corte II 27 nov. 10	Corte III 29 dic. 10	Corte IV 11 feb. 11	Corte V 24 mar. 11
Tratamientos kg N ha ⁻¹ año ⁻¹	Rdto kg MS ha ⁻¹	Rdto kg MS ha ⁻¹	Rdto kg MS ha ⁻¹	Rdto kg MS ha ⁻¹	Rdto kg MS ha ⁻¹
0	3.500 a	2.500 b	1.430 c	1.330 a	1.170 e
75	3.870 a	2.430 b	1.800 bc	1.430 a	1.500 d
150	4.030 a	2.700 b	2.230 ab	1.330 a	1.900 c
300	4.370 a	2.630 b	2.530 a	1.700 a	2.870 a
450	4.700 a	3.430 a	2.570 a	1.570 a	2.430 b

Valores seguidos de diferente letra dentro de cada columna difieren estadísticamente (5% Tukey).

nitrogenada. En el tercer corte se encontraron diferencias significativas, encontrando que la fertilización con 450 kg N ha⁻¹ año⁻¹ tuvo un mayor rendimiento que con fertilizaciones de 0 a 150 kg N ha⁻¹ año⁻¹, pero no fue diferente a la dosis de 300 kg N ha⁻¹ año⁻¹. En el cuarto corte sólo el nivel de 450 kg N ha⁻¹ año⁻¹, superó en rendimiento al resto de los tratamientos. En el sexto corte, el nivel de 150 kg N ha⁻¹ año⁻¹ fue significativamente más productivo que con fertilizaciones de 0 y 75 kg N ha⁻¹ año⁻¹, pero estadísticamente igual que con niveles de 300 y 450 kg N ha⁻¹ año⁻¹. En el séptimo y último corte, se encontraron diferencias altamente significativas, donde el rendimiento con 450 kg N ha⁻¹ año⁻¹ fue mayor que el obtenido con dosis de 0 a 150 kg N ha⁻¹ año⁻¹ pero, estadísticamente igual al de 300 kg N ha⁻¹ año⁻¹.

Con frecuencias de defoliación de tres hojas, como se puede observar en el Cuadro 4, en el primer y cuarto corte no se encontraron diferencias significativas en la producción de fitomasa. Para el segundo corte se encontraron diferencias significativas, entre el tratamiento con 450 kg N ha⁻¹ año⁻¹ que superó a los demás tratamientos en el rendimiento de fitomasa. En el tercer corte los tratamientos de 300 y 450 kg N ha⁻¹ año⁻¹ tuvieron el mayor rendimiento y superaron a los tratamientos de 0 y 75 kg N ha⁻¹ año⁻¹ mostrando el tratamiento de 150 kg N ha⁻¹ año⁻¹, un rendimiento intermedio. En el quinto corte todos los tratamientos fueron distintos entre sí. El mayor rendimiento lo obtuvo el tratamiento de 300 kg N ha⁻¹ año⁻¹, seguido de los tratamientos con 450, 150, 75 y finalmente con 0 kg N ha⁻¹ año⁻¹.

Densidad y peso de macollos.

En la densidad de macollos de la pradera (Cuadro 5), se encontraron diferencias para las distintas dosis de N y para la frecuencia de defoliación, sin interacción

Cuadro 5. Densidad (N° macollos ha⁻¹) y peso de macollos (mg macollo⁻¹) de una pradera de *Lolium perenne* L. por efecto de distintas dosis de fertilización nitrogenada y dos frecuencias de defoliación a fines de primavera.

Table 5. Density (N° tillers ha⁻¹) and weight of tillers (mg tiller⁻¹) of a *Lolium perenne* L. sward as result of different levels of nitrogen fertilization and two frequencies of defoliation in late spring.

Tratamientos	N° macollos ha ⁻¹	Peso macollos (mg macollo ⁻¹)
Nivel N kg N ha ⁻¹ año ⁻¹		
0	9.793,4 b	13,97 a
75	11.296,3 b	14,65 a
150	11.339,0 b	13,35 a
300	12.799,2 ab	13,02 a
450	15.505,7 a	11,93 a
Defoliación		
2 hojas	13.803,4 a	12,59 b
3 hojas	10.490,0 b	14,18 a

Valores seguidos de diferente letra dentro de cada columna difieren estadísticamente (5% Tukey).

significativa entre ellos. Sin embargo, para las dosis de N no se encontraron diferencias en el peso de macollos (mg macollo⁻¹). Los valores más altos de densidad de macollos se obtuvieron con fertilizaciones de 450 kg N ha⁻¹ año⁻¹, siendo mayor a los tratamientos que van en el rango de 0 a 150 kg N ha⁻¹ año⁻¹. La frecuencia de defoliación de dos hojas mostró una mayor densidad de macollos que la frecuencia de defoliación de tres

hojas. El peso de macollos sólo fue modificado significativamente por la frecuencia de defoliación, ya que con diferentes dosis de fertilización nitrogenada no se encontraron diferencias significativas. La frecuencia de defoliación de tres hojas generó macollos de mayor peso que la frecuencia de dos hojas.

Componentes del rendimiento

En los componentes del rendimiento no se encontró interacción significativa entre el nivel de N y la frecuencia de defoliación. Como se muestra en el Cuadro 6, en la evaluación de octubre, el nivel de fertilización nitrogenada sólo modificó significativamente el porcentaje de contribución del tallo. Para el porcentaje de contribución de lámina, vaina y material muerto las distintas dosis de fertilización nitrogenada no produjeron un cambio significativo. En el caso del tallo, el mayor valor se obtuvo con dosis de fertilización nitrogenada de 450 kg N ha⁻¹ año⁻¹ y superó a los tratamientos de 0 a 150 kg N ha⁻¹ año⁻¹, y fue igual a dosis de 300 kg N ha⁻¹ año⁻¹.

La frecuencia de defoliación modificó significativamente todos los componentes del rendimiento. El porcentaje de contribución de lámina fue mayor con defoliaciones a dos hojas. Para los otros componentes como vaina, tallo y material muerto los porcentajes de contribución fueron más altos con una frecuencia de defoliación de tres hojas.

En el corte realizado a fines de primavera (diciembre), no se encontraron diferencias ni interacción significativa en el porcentaje de contribución de vaina para ambos factores analizados. El porcentaje de contribución de lámina fue modificado por los diferentes niveles de N, donde el mayor porcentaje de participación de lámina se obtuvo con dosis de 450 kg N ha⁻¹ año⁻¹, siendo mayor a las dosis entre 0 y 150 kg N ha⁻¹ año⁻¹. Para la contribución de tallo se encontraron diferencias significativas por efecto de las diferentes dosis de fertilización nitrogenadas, donde el mayor valor se obtuvo con las menores dosis de 75 kg N ha⁻¹ año⁻¹, y sin fertilización nitrogenada, siendo distinto de 300 y 450 kg N ha⁻¹ año⁻¹ e igual a 150 kg N ha⁻¹ año⁻¹. En esta fecha de evaluación la frecuencia de defoliación no modificó el porcentaje de contribución de lámina, vaina y tallo.

En la evaluación de fines de verano (marzo), se observa en el Cuadro 8, no se encontraron diferencias ni interacción significativa para la contribución de tallo por efecto de ambos factores analizados. La contribución de vaina tampoco fue afectada por las diferentes dosis de N. Para el porcentaje de lámina, las dosis de fertilización en el rango de 150 a 450 kg N ha⁻¹ año⁻¹ tuvieron una mayor contribución que dosis de 75 y sin fertilización nitrogenada. Además, defoliaciones al estado de dos hojas tuvieron mayor porcentaje de lámina que defoliaciones a tres hojas. El porcentaje

Cuadro 6. Porcentaje de participación de los componentes del rendimiento de una pradera de *Lolium perenne* L. por efecto del nivel de fertilización nitrogenada y la frecuencia de defoliación a principios de primavera (octubre).

Table 6. Percentage of contribution of yield components of a *Lolium perenne* L. sward as effected by the level of nitrogen fertilizer application and frequency of defoliation in early spring (October).

Tratamientos	Lamina (%)	Vaina (%)	Tallo (%)	M. muerto (%)
Nivel N kg N ha ⁻¹ año ⁻¹				
0	69,23 a	19,38 a	5,15 b	6,25 a
75	69,32 a	18,77 a	6,32 b	5,55 a
150	70,62 a	17,62 a	5,85 b	5,90 a
300	68,80 a	18,83 a	7,25 ab	5,13 a
450	65,33 a	19,20 a	10,12 a	5,42 a
Defoliación				
2 hojas	74,87 a	16,54 b	4,00 b	4,59 b
3 hojas	62,45 b	20,98 a	9,87 a	6,71 a

Valores seguidos de diferente letra dentro de cada columna difieren estadísticamente (5% Tukey).

Cuadro 7. Porcentaje de participación de los componentes del rendimiento de una pradera de *Lolium perenne* L. por efecto del nivel de fertilización nitrogenada y la frecuencia de defoliación a fines de primavera (diciembre).

Table 7. Percentage of contribution of yield components of a *Lolium perenne* L. sward as result of the level of nitrogen fertilizer application and frequency of defoliation in late spring (December).

Tratamientos	Lamina (%)	Vaina (%)	Tallo (%)	M. muerto (%)
Nivel N kg N ha ⁻¹ año ⁻¹				
0	49,25 c	11,73 a	17,80 a	21,25 a
75	51,85 c	12,07 a	19,80 a	16,25 b
150	54,88 bc	13,43 a	16,43 ab	15,22 bc
300	60,17 ab	14,73 a	12,27 bc	12,80 c
450	63,47 a	13,52 a	9,62 c	13,38 bc
Defoliación				
2 hojas	57,54 a	13,21 a	15,52 a	13,72 b
3 hojas	54,31 a	12,99 a	14,85 a	17,84 a

Valores seguidos de diferente letra dentro de cada columna difieren estadísticamente (5% Tukey).

Cuadro 8. Porcentaje de participación de los componentes del rendimiento de una pradera de *Lolium perenne* L. por efecto del nivel de fertilización nitrogenada y la frecuencia de defoliación a fines de verano (marzo).

Table 8. Percentage of contribution of yield components of a *Lolium perenne* L. sward as result of the level of nitrogen fertilizer application and frequency of defoliation in late summer (March).

Tratamientos	Lamina (%)	Vaina (%)	Tallo (%)	M. muerto (%)
Nivel N kg N ha ⁻¹ año ⁻¹				
0	76,02 b	2,25 a	0,20 a	21,53 a
75	76,35 b	2,23 a	0,20 a	21,18 a
150	82,08 a	2,45 a	0,33 a	15,15 b
300	84,10 a	3,38 a	0,60 a	11,92 bc
450	86,33 a	4,25 a	0,28 a	9,12 c
Defoliación				
2 hojas	84,48 a	3,98 a	0,13 a	11,40 b
3 hojas	77,47 b	1,85 b	0,52 a	20,16 a

Valores seguidos de diferente letra dentro de cada columna difieren estadísticamente (5% Tukey).

de vaina no fue modificado por las diferentes dosis de nitrógeno, pero fue significativamente modificado por la frecuencia de defoliación, donde con defoliaciones al estado de dos hojas se obtuvieron valores mayores que con defoliaciones a tres hojas. El porcentaje de material muerto mostró una alta significancia por efecto de los dos factores. Los mayores valores se obtuvieron con 75 kg N ha⁻¹ año⁻¹ y sin fertilización nitrogenada y superaron a los demás tratamientos con mayores dosis de N. Para la frecuencia de defoliación, cortes al estado de tres hojas presentaron un mayor porcentaje de material muerto que las defoliaciones al estado de dos hojas.

Intercepción de radiación fotosintéticamente activa (PAR)

El Cuadro 9 muestra diferencias en la intercepción de radiación fotosintéticamente activa para los dos factores analizados, sin interacción entre ellos. Los menores valores de radiación interceptada por el follaje de la pradera se encontraron en el tratamiento sin fertilización nitrogenada y fue menor a los demás tratamientos. Con frecuencias de defoliación al estado de tres hojas se obtuvo una mayor cantidad de radiación interceptada por la pradera, que con defoliación a las 3 hojas.

Cuadro 9. Intercepción de radiación fotosintéticamente activa de una pradera de *Lolium perenne* L. por efecto de distintos niveles de fertilización nitrogenada y dos frecuencias de defoliación en el periodo primavera-verano.

Table 9. Interception of photosynthetically active radiation of a *Lolium perenne* L. sward as result of the level of nitrogen fertilizer application and frequency of defoliation in the spring-summer period.

Tratamientos	Intercepción PAR
Nivel N kg N ha ⁻¹ año ⁻¹	
0	0,68 a
75	0,77 b
150	0,85 c
300	0,92 d
450	0,95 d
Defoliación	
2 hojas	0,80 a
3 hojas	0,87 b

PAR: Radiación fotosintéticamente activa. Valores seguidos de diferente letra dentro de cada columna difieren estadísticamente (5% Tukey).

Calidad nutritiva

El Cuadro 10 presenta los valores promedio de la calidad nutritiva de la pradera con diferentes dosis de fertilización nitrogenada y dos frecuencias de defoliación en la época primavera-verano. Se observa que no se encontraron diferencias significativas por efecto de la frecuencia de defoliación para energía metabolizable y materia seca y por efecto de la dosis de fertilización nitrogenada para el contenido de FDN y FDA. El PC fue modificado por ambos factores estudiados. El tratamiento con 450 kg N ha⁻¹ año⁻¹ presentó un mayor contenido de PC que el resto de los tratamientos. La frecuencia de defoliación de dos hojas presentó una mayor concentración de PC que tratamientos cortados en un estado de tres hojas.

En el contenido de carbohidratos solubles se encontró diferencias significativas por efecto de los diferentes tratamientos de fertilización nitrogenada. Los tratamientos con un mayor contenido de carbohidratos solubles se obtuvieron con rangos de 0 a 300 kg N ha⁻¹ año⁻¹ y fueron diferentes al tratamiento con 450 kg N ha⁻¹ año⁻¹. Además, defoliaciones realizadas el estado de tres hojas tuvieron mayor concentración de carbohidratos solubles que cortes realizados a dos hojas. Para

Cuadro 10. Promedio anual (ponderado por el rendimiento), de la calidad nutritiva para una pradera de *Lolium perenne* L. defoliada con dos y tres hojas y con cinco niveles de fertilización nitrogenada.

Table 10. Annual average (weighted for yield), of the nutritional quality of a *Lolium perenne* L. sward defoliated at two or three leaves with five levels of nitrogen fertilization.

Tratamientos	PC (%)	CHOS (g/kg MS)	EM (Mcal/kg MS)	FDN (%)	FDA (%)	MS (%)
Nivel N kg N ha ⁻¹ año ⁻¹						
0	17,37 b	143,22 a	2,67 b	34,20 a	25,87 a	23,58 a
75	17,32 b	144,67 a	2,68 b	33,43 a	25,10 a	22,47 b
150	17,20 b	141,78 a	2,68 b	34,27 a	25,65 a	22,60 b
300	17,97 b	138,55 a	2,70 b	32,70 a	24,82 a	21,02 c
450	18,87 a	132,23 b	2,77 a	32,75 a	25,43 a	20,10 c
Defoliación						
2 hojas	18,74 a	137,79 b	2,71 a	32,69 b	24,75 b	21,93 a
3 hojas	16,75 b	142,39 a	2,71 a	34,25 a	26,00 a	21,98 a

MS: Materia seca; PC: Proteína cruda; EM: Energía metabolizable; FDN: Fibra detergente neutro; FDA: Fibra detergente ácida; CHOS: Carbohidratos solubles. Valores seguidos de diferente letra dentro de cada columna difieren estadísticamente (5% Tukey).

la energía metabolizable, sólo el tratamiento con 450 kg N ha⁻¹ año⁻¹ superó en forma significativa a los demás tratamientos de 0 a 300 kg N ha⁻¹ año⁻¹ y para estos últimos, no existieron diferencias entre ellos.

La frecuencia de defoliación produjo diferencias significativas para el contenido de FDN y FDA, donde cortes realizados al estado de tres hojas presentaron mayores porcentajes de FDN y FDA que cortes realizados al estado de dos hojas. En el porcentaje de materia seca se encontraron diferencias significativas por efecto de diferentes dosis de fertilización nitrogenada. El mayor valor ocurrió en el tratamiento sin fertilización nitrogenada, luego fueron los tratamientos con fertilizaciones de 75 y 150 kg N ha⁻¹ año⁻¹ y por último los menores porcentajes de materia seca ocurrieron en los tratamientos de 300 y 450 kg N ha⁻¹ año⁻¹.

DISCUSION

Rendimiento de fitomasa

Con el incremento del intervalo de defoliación, de dos a tres hojas vivas por macollo, aumentó la producción de fitomasa por hectárea en el periodo de estudio. Este mismo efecto fue encontrado por Fulkerson *et al.* (1993) y Fulkerson *et al.* (2003), donde la producción máxima se obtuvo con defoliaciones realizadas a las tres hojas o antes de que la hoja más vieja pase al estado de senescencia, debido a que esta frecuencia de

defoliación provee el suficiente tiempo para reemplazar los carbohidratos de reserva (Fulkerson *et al.*, 2003). Resultados coincidentes son reportados por Turner *et al.* (2006), donde defoliaciones al estado de dos hojas, produjeron significativamente menos fitomasa que plantas defoliadas al estado de tres y cuatro hojas, no existiendo diferencias entre estas dos últimas. Según Donaghy *et al.* (1997), cortes al estado de tres hojas produjeron el mayor rendimiento de fitomasa, disminuyendo adicionalmente la invasión de otras gramíneas espontáneas.

Con el aumento en la dosis de fertilización nitrogenada se incrementó la producción de fitomasa por hectárea, del mismo modo que en ensayos realizados por Hopkins *et al.* (1990), los cuales mostraron incrementos significativos en la producción de fitomasa, aumentando la fertilización nitrogenada hasta 450 kg N ha⁻¹ año⁻¹ en una pradera permanente, en condiciones de campo y con frecuencias de defoliación de cuatro y ocho semanas. Al seguir aumentando la fertilización nitrogenada con dosis de 450 hasta 900 kg N ha⁻¹ año⁻¹ no se obtuvieron diferencias significativas en el rendimiento de fitomasa.

En este estudio la mayor eficiencia de utilización del N, expresada como kg de MS por cada kg de N aplicado, correspondió al tratamiento de 75 kg N ha⁻¹ año⁻¹ para defoliaciones a dos hojas y 150 kg N ha⁻¹ año⁻¹ para defoliaciones a tres hojas en los que se obtuvieron 18,6 y 19,3 kg MS por kg N aplicado, respectivamente.

Similares resultados fueron obtenidos por Hopkins *et al.* (1990), con una fertilización de 150 kg N ha⁻¹ año⁻¹ donde obtuvo la mayor respuesta con 16 kg MS por kg N aplicado, en una pradera permanente como promedio de un periodo de cuatro años. Harris *et al.* (1996) obtuvieron la mayor respuesta con fertilizaciones de 200 kg N ha⁻¹, con 18 kg MS kg N aplicado.

Según Hopkins *et al.* (1990), en praderas permanentes dominadas por gramíneas de alto valor forrajero, cuando existe un adecuado nivel de nutrientes en el suelo, principalmente fósforo y potasio y un pH satisfactorio del suelo, se deben esperar altos niveles de producción y una buena respuesta a la adición de N. Sin embargo, en praderas dominadas por especies de bajo valor forrajero se han encontrado pobres respuestas a la fertilización con N. Esto es coincidente con lo obtenido en este ensayo donde se obtuvieron buenas respuestas al N, con una pradera dominada por *Lolium perenne*.

Densidad y peso de macollos.

La densidad de macollos fue mayor con defoliaciones más frecuentes, al igual que en los estudios realizados por Donaghy y Fulkerson (2002) y Donaghy *et al.* (1997), donde estos últimos autores obtuvieron densidades de 5.233 y 4.813 macollos m⁻², densidades que fueron inferiores a las encontradas en el presente trabajo de 13.130 y 9.978 macollos m⁻² para defoliaciones de dos y tres hojas respectivamente. Esta mayor densidad de macollos en defoliaciones más frecuentes se debería a la mayor cantidad de luz que llega a la base de la pradera, que estimula el macollamiento. En primavera temprana es el momento del año cuando las condiciones son ideales para que la planta acumule altos niveles de carbohidratos solubles debido a las bajas temperaturas que asegura un bajo uso de estos carbohidratos para el rebrote y respiración y cielos claros con radiación solar que permite altas tasas de fotosíntesis, produciendo acumulación de fotosintatos, que entre otras cosas, estimula el nuevo macollamiento (Fulkerson y Donaghy, 2001).

En el presente estudio el incremento de los niveles de fertilización con N incrementó la densidad de macollos de forma similar a lo reportado en el trabajo realizado por McKenzie (1998), que utilizó niveles de fertilización nitrogenada de 120 a 720 kg N ha⁻¹ año⁻¹, obteniendo densidades de 3.500 a 17.800 macollo m² respectivamente. Sin embargo, el efecto benéfico fue mínimo con aplicaciones sobre los 360 kg N ha⁻¹ año⁻¹. El efecto positivo de la fertilización nitrogenada en la densidad de macollos se debe según Fulkerson *et al.* (1993), a que la aplicación de fertilizante nitrogenado incrementa la supervivencia de los macollos en praderas. El aumento en la densidad de macollos con el aumento de dosis de fertilización nitrogenada obteni-

da puede deberse a que los componentes nitrogenados en la planta (aminoácidos, proteína y nitratos) pueden asumir un rol de importancia, cuando la concentración de carbohidratos solubles es baja, que es la principal fuente de energía para el rebrote (Bahmani *et al.*, 2003). Según Harris *et al.* (1996), la fertilización nitrogenada aumenta la cantidad de macollos particularmente post-floración, lo que resulta en una pradera con más persistencia y más densa, que a futuro producirá más si las condiciones de crecimiento son las adecuadas.

Al igual que los resultados obtenidos, Fulkerson y Slack (1994) encontraron que defoliaciones frecuentes disminuyeron el peso por macollo comparado con defoliaciones infrecuentes. En este trabajo se obtuvieron mayores pesos con defoliaciones al estado de tres hojas, lo que coincide con el ensayo de Donaghy *et al.* (1997), quienes obtuvieron mayores pesos por macollo con defoliaciones al estado de tres hojas, valores que fueron superiores a los encontrados por este ensayo de 31 y 38 mg MS macollo⁻¹ para frecuencias de una y tres hojas, respectivamente. Los resultados de este estudio fueron 12,5 y 14,1 mg MS macollo⁻¹ para defoliaciones de dos y tres hojas, respectivamente. Esta diferencia en peso puede deberse a que en el caso del estudio realizado por Donaghy *et al.* (1997), se pesaron los macollos previos a la defoliación, mientras que en el presente estudio se pesaron los macollos solo días después de cortada la pradera a 5 cm de residuo. Además, en el estudio de Donaghy *et al.* (1997), la densidad de macollos fue menor a la del presente trabajo compensado con un mayor peso de macollo.

Similares resultados son reportados por Donaghy y Fulkerson (1997), en los que encontraron un mayor peso por macollo con frecuencias de defoliación al estado de tres hojas por macollo comparado con una hoja, obteniendo valores de 10 y 4 mg macollo⁻¹ respectivamente post-corte y 27 y 13 mg macollo⁻¹ respectivamente, 27 días después del corte. Los pesos obtenidos no coinciden con los resultados de este ensayo, debido que las fechas de toma de muestra después del corte fueron distintas. Sin embargo, la tendencia es la misma, ya que, con defoliaciones infrecuentes, se aumenta el peso por macollo. Fulkerson y Slack (1995), encontraron que plantas defoliadas menos frecuentemente (tres hojas), tienen mayor cantidad de macollos y más pesados junto a una mayor cantidad de carbohidratos solubles en el residuo, que defoliaciones más frecuentes (una hoja). Esto es debido a que al estado de tres hojas la planta recupera sus carbohidratos de reserva en la base de los macollos.

Componentes del rendimiento

En la segunda y tercera evaluación se encontró una mayor proporción de láminas con las mayores dosis de fertilización nitrogenada. Esto ocurrió paralelo al

aumento en la producción de fitomasa, probablemente debido a que la producción de forraje se relaciona directamente con el tamaño, largo y peso de las hojas (Whitehead, 1995). No se encontró diferencias significativas en el peso de vainas en las tres evaluaciones realizadas en este estudio. La proporción de tallos se modificó significativamente en la primera y segunda evaluación debido a que en esta categoría se incluyeron las inflorescencias, las que fueron más grandes y pesados con el uso de altas dosis de N, situación que se manifestó en la primera fecha de evaluación. En la segunda evaluación hubo una mayor producción de tallos e inflorescencia para los tratamientos con menor cantidad de fertilización nitrogenada.

La senescencia de hojas fue baja debido a que los cortes se realizaron antes de que la cuarta hoja emergiera y la primera más vieja comenzara a morir. Según Fulkerson y Slack (1994), la senescencia de hojas comienza al estado de 3,5 hojas y al estado de 4 hojas el porcentaje de material muerto es de un 3,8%, lo que difiere con los datos obtenidos en este estudio que en todos los cortes fue superior al 5% y esto puede deberse a que metodológicamente se consideró que si más de la mitad de una hoja estaba senescente esta pasaba a formar parte del material muerto. A pesar de que después de la primera evaluación, el porcentaje de material muerto aumentó, hubo una menor proporción de material muerto en la segunda y tercera evaluación con mayores dosis de fertilización nitrogenada, ya que la fertilización nitrogenada retarda la maduración de las plantas (Harris et al., 1996). La materia muerta fue mayor con defoliaciones realizadas al estado de tres hojas por macollos comparado con defoliaciones a dos hojas, para todos los cortes realizados.

Radiación solar interceptada

La radiación solar interceptada promedio de todos los cortes realizados en el transcurso del ensayo fue mayor con defoliaciones al estado de tres hojas, que defoliaciones a dos hojas. Esta diferencia se explica por el mayor crecimiento y consecuentemente mayor cobertura que logra la pradera que es defoliada más infrecuente.

A pesar de que una mayor cantidad de luz llegó a la base de la pradera en los tratamientos con menor dosis de fertilización nitrogenada, esto no se vio reflejado en una mayor densidad de macollos, como proponen algunos autores como Hodgson (1994), que sugieren que bajo estas condiciones aumentaría la densidad de macollos. Con esto se puede deducir que la disponibilidad de N es más relevante sobre el macollamiento, que el nivel de radiación llegado a la base de las plantas.

Los tratamientos con menor dosis de fertilización nitrogenada obtuvieron los menores niveles de interceptación de luz solar, debido a que en este caso penetró

mayor cantidad de radiación a la base de la planta ya que deficiencias de N restringen el número de macollos y lo más importante, restringe el crecimiento individual de hojas y su capacidad fotosintética (Whitehead, 1995). Por lo tanto, se tiene una pradera menos densa debido a un menor número de macollo por metro cuadrado y menos macollos produciendo hojas como se puede ver en los resultados anteriores.

Calidad nutritiva.

El incremento en el intervalo de defoliación produjo una menor concentración de PC, mayor contenido de carbohidratos solubles, FDA y FDN. No se obtuvieron efectos significativos en la energía metabolizable y contenido de materia seca. Turner et al. (2006), no encontraron diferencias significativas en el contenido de PC, para defoliaciones al estado de dos y tres hojas, pero defoliaciones a cuatro hojas obtuvieron un menor contenido de PC que defoliaciones a dos hojas. Sin embargo, en un ensayo realizado por Fulkerson et al. (1993), reportan que un aumento en el intervalo de defoliación conlleva una disminución de la PC del forraje, pero no de la digestibilidad.

En el presente estudio el contenido de carbohidratos solubles fue mayor con la frecuencia de defoliación de tres hojas. Esto es coincidente con los resultados obtenidos por Fulkerson y Slack (1994), quienes muestran que la concentración de carbohidratos solubles en las hojas aumenta en forma lineal con el número de hojas y con la acumulación de materia seca. Adicionalmente, Fulkerson et al. (2003) afirman que la frecuencia de defoliación tiene un marcado efecto en la concentración de carbohidratos solubles, ya que con defoliaciones más frecuentes se obtiene menor contenido de carbohidratos solubles.

El contenido de energía metabolizable no fue afectado por la frecuencia de defoliación. Resultados similares de energía metabolizable con valores de 2,75 y 2,77 Mcal kg MS⁻¹, fueron obtenidos con defoliaciones a dos y tres hojas por macollo respectivamente (Turner et al., 2006) y sin diferencias entre las ellas.

El efecto de la fertilización nitrogenada sobre la calidad nutritiva mostró que dosis de 450 kg N ha⁻¹ año⁻¹, aumentaron la concentración de PC y el contenido de energía metabolizable, pero disminuyó la concentración de carbohidratos solubles y el contenido de MS. La dosis de N no modificó el contenido de FDN y FDA. Hopkins et al. (1990), encontraron que aumentos en la dosis de fertilizante nitrogenado aumenta el porcentaje de PC, obteniendo valores de 16,9 a 21,5% con dosis de 0 a 450 kg N ha⁻¹ como promedio anual con frecuencias de defoliación de cuatro semanas. Valores menores de PC (17,4%) se obtuvieron con bajas dosis y valores mayores (18,9%) con altas dosis de fertilización nitrogenada en el presente estudio. Este aumento

de PC con fertilización nitrogenada se debería a que el incremento de la fertilización nitrogenada permite que cantidades mayores de N estén presente en el contenido celular; paralelamente ocurre que la pared celular es relativamente menor, acompañado de una disminución de los carbohidratos solubles (Hoekstra *et al.*, 2007).

Bajo ciertas circunstancias, cuando son aplicadas dosis reducidas de fertilizante nitrogenado (50 a 100 kg N ha⁻¹ año⁻¹) a praderas deficientes en N, el incremento en producción se asocia con una pequeña disminución en la concentración de N en el forraje. Sin embargo, dosis mayores resultan en un progresivo aumento en la concentración de N en el forraje (Loaiza *et al.*, 2017). En este estudio, al igual que lo reportado por Donaghy y Fulkerson (2002), se obtuvieron menores concentraciones de carbohidratos solubles con aplicaciones mayores de fertilización nitrogenada. Según Whitehead (1995), el contenido de carbohidratos solubles en el forraje de praderas es a menudo sustancialmente reducido por la aplicación de fertilizantes nitrogenados, especialmente a tasas de aplicación mayores a 200 kg N ha⁻¹ año⁻¹.

Las concentraciones de energía metabolizable obtenidas en este estudio son similares a las encontradas por Hopkins *et al.* (1990), con valores de 2,7 Mcal kg MS⁻¹ de energía metabolizable correspondientes a fertilizaciones entre 0 a 300 kg N ha⁻¹, con frecuencia de defoliación de cuatro semanas, siendo el mismo valor obtenido por el presente estudio. El efecto de aplicación de N sobre el FDN es coincidente con lo encontrado por Hoekstra *et al.* (2007), con una tendencia a disminuir el contenido de FDN con la mayor fertilización de N, pero al igual que en este estudio no se encontraron diferencias significativas. Según Whitehead (1995), fertilizaciones con N, generalmente tiene un pequeño efecto en la cantidad de fibra (material de paredes celulares) y digestibilidad en el forraje, cuando este es cosechado a los mismos intervalos de tiempo y en estados jóvenes.

Los contenidos de FDA de este estudio también fueron similares de los obtenidos por Hopkins *et al.* (1990), con fertilización entre 0 a 300 kg N ha⁻¹, con valores entre 24 y 25%, usando una frecuencia de defoliación de cuatro semanas. Además, con menores frecuencias de defoliación se obtuvo un mayor porcentaje de FDA llegando a 28 y 29%, a una frecuencia de defoliación de 8 semanas, resultado superior a los de este trabajo que en promedio fue de 26% con frecuencia de defoliación de tres hojas.

Al igual que Hoekstra *et al.* (2007), periodos más largos de rebrote y dosis más bajas de aplicación de N incrementaron la concentración de carbohidratos solubles y disminuyeron la concentración de N en la planta. Los contenidos de FDA y FDN fueron menos afectados por estos manejos sin obtener diferencias significativas, pero el FDN tendió a ser más alto con bajas aplicaciones de N y más largo periodo de rebrote, al igual que en este estudio.

El contenido de materia seca disminuyó con el aumento de las dosis de fertilización nitrogenada, esto es debido, en parte, al incremento del agua interna en las hojas y en parte a una mayor fitomasa que retiene mayor cantidad de agua superficial del rocío y lluvia (Whitehead, 1995).

El contenido de PC es más bajo en las vainas que en las láminas (Hoekstra *et al.*, 2007), lo que también pudo determinar el aumento en PC de los tratamientos fertilizados con N, ya que en la mayoría de los cortes realizados para componentes del rendimiento se obtuvo una mayor proporción de láminas para las dosis altas de N.

CONCLUSIONES

La aplicación de fertilizante nitrogenado y la frecuencia de defoliación en una pradera de *Lolium perenne* son herramientas importantes para manipular la producción de fitomasa y la calidad nutritiva del forraje.

Los mayores niveles de fertilización nitrogenada aumentan la producción de fitomasa de la pradera, asociado a un incremento en la densidad de macollos y a una mayor intercepción de la radiación solar.

La fertilización nitrogenada modifica la calidad nutritiva de la pradera. Mayores dosis de N incrementan la proporción de lámina, el contenido de proteína cruda y la energía metabolizable, disminuyendo en contenido de carbohidratos solubles.

La defoliación a tres hojas por macollo produce un mayor rendimiento de fitomasa, con mayor intercepción de radiación solar. Por otra parte, la pradera defoliada a dos hojas tiene una mayor densidad de macollos con un mayor contenido de proteína cruda y menor concentración de carbohidratos solubles.

REFERENCIAS

- Bahmani, I., Thom, E.R., Matthew, C., Hooper, R.J., Lemaire, G., 2003. Tiller dynamics of perennial ryegrass cultivars derived from different New Zealand ecotypes: effects of cultivar, season, nitrogen, fertilizer, and irrigation. *Australian Journal of Agricultural Research* 54 (8), 803–817.
- Balocchi, O., Pinochet, D., Wittwer, F., Contreras, P., Echeverría, R., Guzman, F., 2001. Rendimiento y composición mineral del forraje de una pradera permanente fertilizada con magnesio. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 36, 1309–1317.
- Descalzi, C.A., López, I.F., Kemp, P.D., Dörner, J., Ordóñez, I., 2020. Pasture restoration improvement methods for temperate degraded pastures and consequences of the climatic seasonality on soil–pasture complex. *Journal of Agronomy and Crop Science* 206 (1), 130–147.
- Dirección Meteorológica de Chile, 2001. *Climatología Regional*. Santiago, Chile.
- Donaghy, D., Fulkerson, W., 1997. Priority for allocation of water-soluble carbohydrate reserves during regrowth of *Lolium perenne*. *Grass and Forage Science* 53, 211–218.

- 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 subtropics. Australian Journal of Experimental Agriculture 37, 537-545.
- 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.
- Fulkerson, W.J., Slack, K., Moore, K., Rolfe, C., 1993. Management of *Lolium perenne*/*Trifolium repens* pasture in the subtropics. I. effect of defoliation interval, seeding rate and application of N and lime. Australian Journal of Agricultural Research 44, 1947-1958.
- Fulkerson, W., Slack, K., 1994. Leaf number as criterion for determining defoliation time for *Lolium perenne*. 1. Effects 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.
- Fulkerson, W., Donaghy, D., 2001. Plant-soluble carbohydrate reserves and senescence- key criteria for developing an effective grazing management system for ryegrass-based pastures: a review. Australian Journal of Experimental Agriculture 42, 261-275.
- Fulkerson, W., Slack, K., Bryant, R., Wilson, F., 2003. Selection for more persistent perennial ryegrass (*Lolium perenne*) cultivars for subtropical/warm temperate dairy regions of Australia. Australian Journal of Experimental Agriculture 43, 1083-1091.
- Gastal, F., Lemaire, G., 2015. Defoliation, shoot plasticity, sward structure and herbage utilization in pasture: Review of the underlying ecophysiological processes. Agriculture 5 (4), 1146-1171.
- Harris, S.L., Thom, E.R., Clark, D.A., 1996. Effect of high rates of nitrogen fertilizer on perennial ryegrass growth and morphology in grazed dairy pasture in northern New Zealand. New Zealand Journal of Agricultural Research 39 (1), 159-169.
- Hodgson, J., 1994. Grazing management: Science into practice. Traducido por De Lille. Editorial Diana S.A. D.F., México.
- Hoekstra, N.J., Struik, P.C., Lantinga, E.A., Schulte, R.P.O., 2007. Chemical composition of lamina and sheath of *Lolium perenne* as affected by herbage management. NJAS, Wageningen Journal of Life Sciences 55, 55-73.
- Hopkins, A., Gilbey, C., Dibb, C., Bowling, P.J., Murray, P.J., 1990. Response of permanent and reseeded grassland to fertilizer nitrogen. 1. Herbage production and herbage quality. Grass and Forage Science 45, 43-55.
- Hopkins, A., 2000. Grass its production and utilization. Blackwell Science Ltd. 3° Ed. Devon, United Kingdom.
- Instituto Nacional de Recursos Naturales (IREN), 1978. Estudio de Suelos de la Provincia de Valdivia.
- Keim, J.P., Anrique, R., 2011. Nutritional strategies to improve nitrogen use efficiency by grazing dairy cows. Chilean Journal of Agricultural Research 71, 623-633.
- Loaiza, P.A., Balocchi, O., Bertrand, A., 2017. Carbohydrate and crude protein fractions in perennial ryegrass as affected by defoliation frequency and nitrogen application rate. Grass and Forage Science 72 (3), 556-567.
- McKenzie, F.R., 1998. Influence of applied nitrogen on vegetative, reproductive, and aerial tiller densities in *Lolium perenne* L. during the establishment year. Australian Journal of Agricultural Research 49, 707-711.
- Pembleton, K.G., Rawnsley, R.P., Turner, L.R., Corkrey, R., Donaghy, D.J., 2017. Quantifying the interactions between defoliation interval, defoliation intensity and nitrogen fertilizer application on the nutritive value of rainfed and irrigated perennial ryegrass. Crop and Pasture Science 68 (12), 1100-1111.
- Turner, L.R., Donaghy, D.J., Lane, P.A., Rawnsley, R.P., 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.
- Whitehead, D.C., 1995. Grassland nitrogen. Wallengford, U.K.