



**FERTILIZACIÓN NITROGENADA EN *Panicum coloratum* L. var  
*coloratum*: DINÁMICA FOLIAR, MACOLLAJE, PARTICIÓN DE  
LA BIOMASA Y CONCENTRACIÓN DE NITRÓGENO**

Trabajo final de graduación para obtener el título de Ingeniero Agrónomo.

Autores: ALONSO Alexis y TRELLES Leonardo Elián.

Director: FERRI Carlos.

Forrajicultura y Manejo de Pasturas.

Evaladores: JOUVE, Varinia. Forrajicultura y Manejo de Pasturas.

PAGELLA, Horacio. Anatomía y Fisiología Animal.

**INDICE**

RESUMEN.....	3
ABSTRACT .....	4
INTRODUCCIÓN .....	5
MATERIALES Y MÉTODOS .....	7
RESULTADOS .....	10
DISCUSIÓN.....	17
CONCLUSIONES .....	21
BIBLIOGRAFÍA.....	23

## RESUMEN

La combinación de un potencial productivo y la capacidad de asimilación de nutrientes elevados de *Panicum coloratum* L. var. *coloratum*., determinarían condiciones para obtener una respuesta favorable a la aplicación de nitrógeno. Los objetivos del presente trabajo fueron cuantificar la respuesta de las siguientes variables: (1) el tamaño y acumulación de lámina foliar, (2) la dinámica de macollaje, (3) la partición de la materia orgánica entre fracción aérea y subterránea, y (4) la concentración, acumulación y eficiencia de uso del nitrógeno (N), bajo la aplicación de diferentes dosis de N. Se ensayaron cuatro dosis de N aplicadas al sustrato edáfico, equivalentes a 0, 40, 80 y 120 kg N ha<sup>-1</sup> (N0, N40, N80 y N120, respectivamente), con 8 repeticiones distribuidas en un diseño en bloques al azar. Las plantas fueron cultivadas en macetas tubulares de PVC (11 × 50 cm) desde mediados de marzo. Para iniciar los tratamientos se realizó un corte de las plantas dejando un remanente aéreo de 5 cm, registrándose luego la longitud foliar cada 7 días, y el número de macollos aparecidos y muertos cada 14 días. La aplicación de N incrementó ( $p < 0,05$ ) la longitud final de lámina, la tasa de aparición de hojas, la acumulación de lámina foliar, la biomasa aérea y la longitud del tallo/seudotallo, pero no así ( $p > 0,05$ ) el número de macollos por planta ni la biomasa subterránea. La concentración de N fue mayor ( $p < 0,05$ ) en N120 en relación con el promedio de los restantes tratamientos (2,14 vs 1,90 %; respectivamente). La eficiencia agronómica de uso del N fue similar ( $p > 0,05$ ) entre tratamientos, pero la eficiencia fisiológica de uso del N incrementó ( $p < 0,05$ ) 1,49 veces en N120 respecto a N40. La fertilización con N afectó la estructura de la planta, dando como resultado una mayor acumulación de materia seca con respecto a plantas sin fertilizar. También, incrementó la concentración de N en la materia seca lo cual mejoraría la calidad nutricional de la biomasa aérea, aunque esto podría ser suprimido por el incremento en la proporciónseudotallo/tallo.

**PALABRAS CLAVES:** gramínea perenne de crecimiento estival, morfogénesis, tamaño foliar, filocrono.

## **ABSTRACT**

The combination of high productive potential and nutrient assimilation capacity in *Panicum coloratum* L. var. *coloratum* would determine conditions to obtain a favorable response to the application of N. The study objectives were to quantify (i) size and accumulation of leaf blade, (ii) tiller dynamics, (iii) organic matter partition between aerial and subterranean fractions, and (iv) N concentration, accumulation and use efficiency, under the application of different N doses. Four nitrogen doses equivalent to 0, 40, 80 and 120 kg N ha<sup>-1</sup> (N0, N40, N80 and N120, respectively) were assayed for soil substrates, with 8 replicates distributed in a random block design. The plants were grown in tubular PVC pots (11 × 50 cm) from mid-March. For the beginning of treatments, a cut of plants was made leaving a 5 cm remnant aerial fraction, and then the leaf blade length was recorded every 7 days and the number of emerged and dead tillers every 14 days. The application of N increased ( $p < 0.05$ ) the leaf blade final length, the appearance rate of leaves, the accumulation of leaf blade, aerial biomass and length of the stem/pseudo-stem, but the number of tillers per plant and the underground biomass resulted similar ( $p > 0.05$ ) between treatments. The N concentration was greater ( $p < 0.05$ ) in N120 in relation to the average value for the rest of treatments (2.14 vs 1.90%; respectively). The agronomic N use efficiency was similar ( $p > 0.05$ ) between treatments, but the physiological N use efficiency increased ( $p < 0.05$ ) by 1.49 times in N120 compared to N40 treatment. Fertilization with N affected the plant structure, giving way to a greater dry matter accumulation in comparison to plants without fertilization. It also increased the N concentration in the dry matter which would improve the nutritional quality of aerial

biomass. However that effect could be suppressed by the increase in the proportion pseudo-stem/stem.

**KEY WORDS:** warm-season grass; morphogenesis, leaf size, phylotaxonomy.

## INTRODUCCIÓN

La región Pampeana semiárida central presenta miles de hectáreas cultivadas con pasto llorón (*Eragrostis curvula* (Schrad) Nees) que, junto con los pastizales naturales, conforman la base forrajera que sustenta la producción de terneros en sistemas de cría (Frank *et al.*, 1998). El pasto llorón es una especie perenne de crecimiento estival, cuyo forraje sólo permite aumentos de peso vivo moderados, con la excepción de un corto período después del rebrote primaveral. Es así que, a medida que avanza el ciclo de crecimiento de tal especie forrajera, los aumentos de peso vivo animal disminuyen, alcanzando solo para niveles de mantenimiento durante el otoño, e induciendo pérdidas de peso en el invierno. Con la finalidad de buscar alternativas que permitan mejorar la calidad del forraje ofrecido, sin perder sus características de perennidad y productividad, durante las últimas décadas se introdujeron y evaluaron numerosas gramíneas perennes de crecimiento estival (GPCE; Stritzler *et al.*, 1996). Entre las especies que se destacaron en dicha evaluación, se encuentra el mijo perenne (*Panicum coloratum* L. var *coloratum*), forrajera que logró una importante difusión en esta región, y cuyo uso se espera que continúe en expansión (Petruzzi *et al.*, 2003). Se trata de una especie largamente perenne, perteneciente a la tribu de las Paníceas, nativa del continente africano y adaptada a zonas templado-cálidas a tropicales.

Las GPCE, en general, pueden producir y persistir en sitios marginales y responder favorablemente a las prácticas de manejo, debido a su capacidad de extraer nutrientes y agua

del suelo (Mathews *et al.*, 2004.). Sin embargo, las pasturas conformadas por GPCE, aunque inicialmente son altamente productivas, con la edad (“envejecimiento”; Hernández, 1991; Myers y Robbins, 1991; Vendramini *et al.*, 2014) decaen en sus niveles de producción y calidad nutricional. Esta disminución es rápida y sustancial, en general, quedando expresada por la presencia de matas pequeñas con pocas cañas floríferas, amarilleo o enrojecimiento de las hojas por deficiencias de nutrientes, descalzado de matas por los animales y, por último, una disminución en la capacidad de carga y respuesta productiva de los animales. Dicha pérdida de productividad y calidad, puede ser atribuida a una reducción progresiva en la disponibilidad (inmovilización) del nitrógeno (N) y la compactación del suelo, que afecta su capacidad de infiltración y almacenaje de agua, el intercambio gaseoso, la actividad de su flora y fauna y el desarrollo de las raíces (Cornish, 1987; Ball y Drake, 1997; Knops *et al.*, 2002).

Una alternativa para hacer frente al problema de la inmovilización del N, y lograr una producción más estable, es la aplicación de fertilizantes. La combinación de una disponibilidad baja de N en el suelo, la eficiente capacidad de extracción de los nutrientes y alto potencial productivo de las GPCE determinarían las condiciones favorables para obtener elevadas respuestas a la aplicación de fertilizantes. En consecuencia, con el uso de la fertilización se esperaría aumentar la producción de forraje y su tasa de crecimiento inicial, mejorar su calidad nutricional, anticipar el pastoreo, mejorar la eficiencia en el uso del agua e incrementar la recirculación del N en el sistema.

El objetivo general del presente trabajo fue avanzar en el conocimiento de uno de los aspectos relacionados con el proceso de envejecimiento de la pastura, como es el vinculado a la inmovilización del N. Para ello se analizará la respuesta de algunas variables morfogenéticas y estructurales de *P. coloratum* L. var *coloratum* a la fertilización

nitrogenada. Los objetivos específicos fueron cuantificar: 1) el tamaño y la acumulación de lámina foliar, 2) la dinámica de macollaje, 3) la partición de la materia seca entre la fracción aérea y subterránea, y 4) la concentración de N en la materia seca aérea y eficiencia de uso del N, de plantas de mijo perenne (*Panicum coloratum* L. var *coloratum*) cv Verde, bajo diferentes dosis de fertilización nitrogenada.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se realizó en condiciones semicontroladas de invernáculo, en las instalaciones de la Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de La Pampa (UNLPam), Santa Rosa (36°46'S; 64°16'W; 210 msnm), durante el año 2016. A los efectos del presente estudio se trabajó con plantas de mijo perenne (*Panicum coloratum* L. var *coloratum*) cv Verde, obtenidas de una pastura implantada en el año 2007. Al inicio del mes marzo se procedió a remover un total de 8 plantas de la pastura, las cuales conformaron los bloques experimentales y, de cada una, se extrajeron cuatro grupos de 10 macollos (un grupo para cada tratamiento). Los macollos fueron trasplantados a macetas tubulares de PVC (11 cm de diámetro y 50 cm de altura) rellenas con una mezcla homogénea de suelo Haplustol éntico, extraído de capa arable, y arena de médano (50/50, p/p). Todas las macetas fueron regadas cada tres o cuatro días a saturación. Las plantas fueron dispuestas a una densidad equivalente a 25 plantas m<sup>-2</sup>. El tiempo transcurrido, desde el trasplante a la generación de los tratamientos, permitió el macollaje y el crecimiento de las raíces.

El periodo experimental inició el 3 de octubre, momento en el cual las plantas fueron distribuidas de acuerdo a un diseño de bloques completos al azar, se cortaron a 5 cm de altura y se aplicó N en forma de urea al sustrato edáfico, en dosis equivalentes a 0 (control), 40, 80 y

120 kg de N por hectárea (de aquí en adelante, N0, N40, N80 y N120). La biomasa cosechada fue secada (48 h; 55 °C) y pesada para ser utilizada como covariable. Además, previo al corte, se contaron todos los macollos vivos y se los marcó con anillos de plástico del mismo color; luego, cada 14 días y hasta el día 56, se contaron y marcaron los macollos nuevos con anillos de otros colores, se contaron los macollos muertos y retiraron los anillos.

A partir del día siete de rebrote, y cada siete días en nueve ocasiones, se cuantificó la longitud de lámina de todas las hojas expandidas y de seudotallo/tallo y el número de hojas, sobre cuatro macollos por maceta identificados con anillos al inicio del experimento. La longitud de la lámina se registró, con una precisión de 1 mm, de acuerdo a su estado: 1) en las hojas expandidas, la longitud se consideró desde la lígula hasta el extremo distal de la lámina; 2) en las senescentes, en lugar del extremo distal se tomó hasta el borde del área de senescencia. Para medir la elongación del tallo, se consideró la distancia desde el suelo hasta la lígula de la última hoja expandida. La tasa de aparición de hojas (TAH) se estimó como la pendiente de la regresión lineal entre el tiempo térmico (GD; variable independiente) y el número de hojas expandidas por macollo (NHM; variable dependiente). En tanto que, el filocrono (*i.e.*, el intervalo de tiempo entre la aparición de hojas sucesivas sobre un macollo), fue estimado como la recíproca ( $1/TAH$ ) de la tasa de aparición de hojas.

Al final del ensayo, para estimar la biomasa aérea y subterránea acumulada, se cortaron todas las plantas a nivel del suelo y se extrajeron y lavaron las raíces de cada una de las macetas. Ambas fracciones, se secaron en estufa (48 h; 55 °C), se pesaron y molieron en molino tipo Wiley (malla 1 mm). Una submuestra (2 g), por tratamiento y repetición, correspondiente a biomasa aérea y raíces fue reducida a cenizas mediante mufla (550 °C; 12 h) para la determinación de materia orgánica. La sustracción de cenizas de la materia seca fue realizada para suprimir, en las raíces en particular, la posible contaminación con suelo.



Además, se cuantificó el porcentaje de N, en la materia seca aérea, mediante el método semi-micro Kjeldahl y se estimó el N acumulado como el producto entre la biomasa aérea acumulada y el porcentaje de N en la materia seca.

Para evaluar la eficiencia en el uso del N se emplearon los siguientes índices: eficiencia agronómica (EAN; kg de incremento en la biomasa aérea acumulada por kg de N aplicado) y fisiológica (EFN; kg de incremento en la biomasa aérea acumulada por kg de incremento en el N acumulado proveniente del fertilizante). Los mismos fueron calculados mediante el método de la diferencia (Doberman, 2005) de la siguiente manera:

$$EAN = (B_f - B_s) / N = \text{kg MS kg}^{-1} \text{ N aplicado}$$

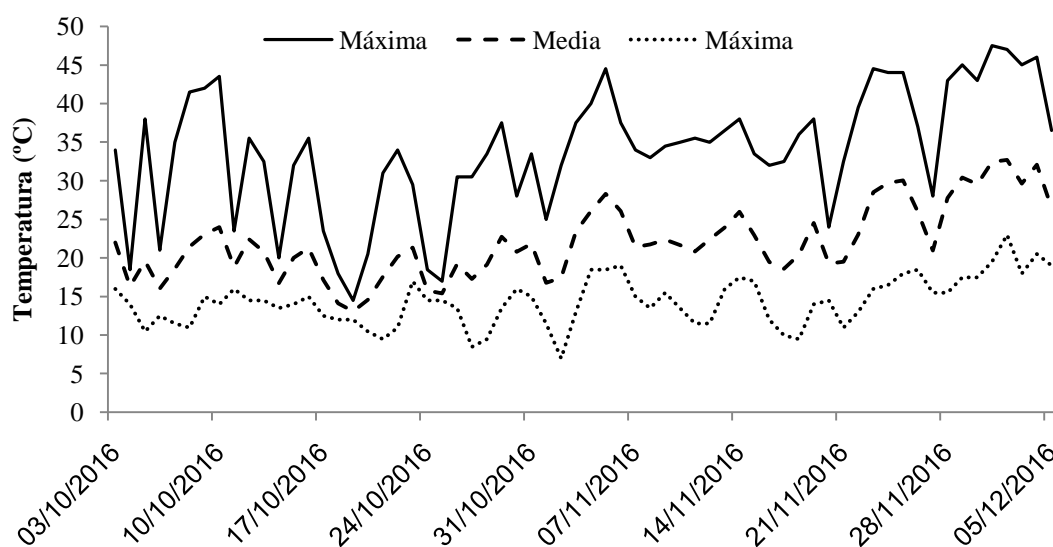
donde:  $B_f$ , biomasa aérea acumulada en plantas fertilizadas (kg);  $B_s$ , biomasa aérea acumulada en plantas sin fertilizar (kg; control) y N dosis de nitrógeno (kg).

$$EFN = (B_f - B_s) / (N_f - N_s) = \text{kg MS kg}^{-1} \text{ N recuperado}$$

donde:  $B_f$ , biomasa aérea acumulada en plantas fertilizadas (kg);  $B_s$ , biomasa aérea acumulada en plantas sin fertilizar (kg; control);  $N_f$ , N acumulado en plantas fertilizadas (kg) y  $N_s$ , N acumulado en plantas sin fertilizar (kg; control).

La temperatura del aire (Figura 1) fue registrada cada 30 minutos a la altura de las plantas, con un “data logger” EL-USB-Z-LCP. La sumatoria de los grados días (GD) del periodo experimental, comenzando el 3 de octubre, se calculó como:

$GD = \sum (T_m - T_b)$ , donde:  $T_m$  es la temperatura media diaria y  $T_b$  es la temperatura base (10 °C).



**Figura 1. Temperaturas máximas, medias y mínimas registradas durante el periodo experimental.**

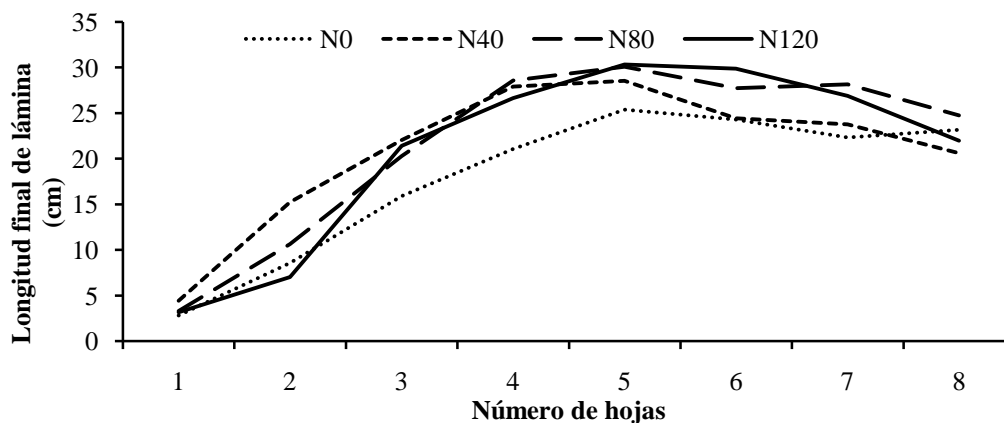
Los análisis estadísticos fueron realizados con el programa estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2008). El efecto de tratamiento (dosis de N) sobre las variables lámina viva y muerta acumuladas, número de macollos vivos y muertos, y biomasa aérea y subterránea acumuladas se analizó mediante ANOVA y prueba LSD, con el uso de covariables (biomasa y número de macollos iniciales). Además, se analizó el efecto de la dosis de N sobre el tamaño foliar de cada categoría de hoja según nivel de inserción y longitud del seudotallo/tallo, mediante modelos lineales mixtos.

## RESULTADOS

### Longitud final de lámina foliar

La fertilización con N afectó ( $p < 0,05$ ) el tamaño foliar (Figura 2). La longitud final de lámina foliar incrementó, en todos los niveles de fertilización, desde la primera hasta la quinta hoja, superando al control ( $p < 0,05$ ), alcanzando en promedio 25 (N0), 28 (N40) y 30 cm (N80

y N120), respectivamente. A partir de la hoja quinta, las láminas fueron sucesivamente de menor longitud.



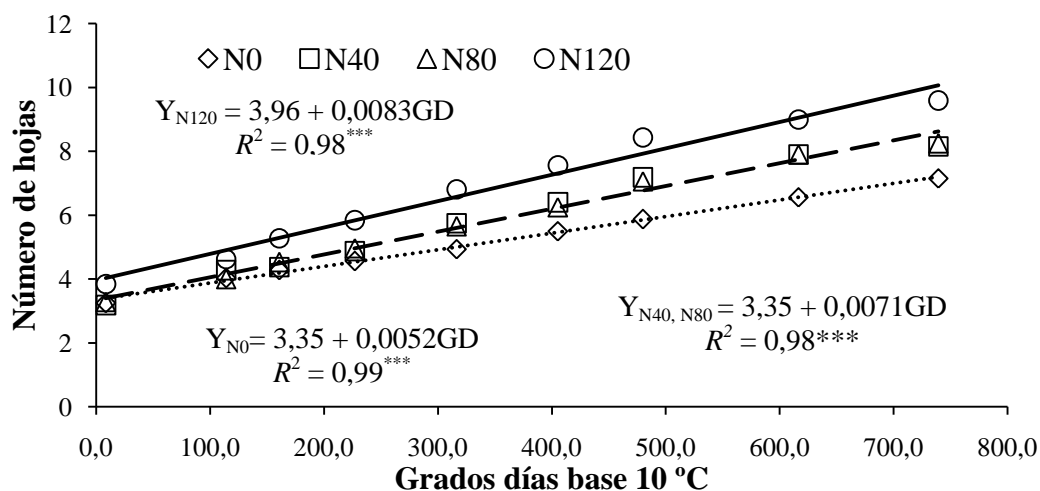
**Figura 2. Longitud final de lámina foliar para las hojas 1 a 8, en *Panicum coloratum* L. cv. Verde, bajo fertilización con distintas dosis de nitrógeno.**

#### Aparición de hojas y filocrono

La TAH (Figura 3), y en consecuencia el filocrono (203,2a; 143,9b; 145,8b y 122,7b GD hoja<sup>-1</sup>; EE: 12,6), difirieron ( $p < 0,05$ ) entre el control y las distintas dosis de N aplicadas (Figura 3).

#### Acumulación de lámina foliar

La acumulación de lámina foliar viva por planta del control fue menor ( $p < 0,05$ ) respecto de los tratamientos N80 y N120, siendo similar ( $p > 0,05$ ) entre las distintas dosis aplicadas de N. Tanto el control como N40 y N80, presentaron una menor ( $p < 0,05$ ) acumulación de lámina foliar muerta frente a N120. Por otro lado, en la acumulación de lámina foliar total, N120 fue mayor ( $p < 0,05$ ) con respecto al control y N40 (Tabla 1).



**Figura 3.** Aparición de hojas en macollos de *Panicum coloratum* L. cv. Verde, bajo fertilización con distintas dosis de nitrógeno, con relación a grados días (GD). La pendiente de cada ecuación representa la tasa de aparición de hojas. (\*\*\*)  $p < 0,001$ .

**Tabla 1.** Longitud acumulada de lámina foliar viva, muerta y total de macollos de *Panicum coloratum* L. cv. Verde, bajo fertilización con distintas dosis de nitrógeno.

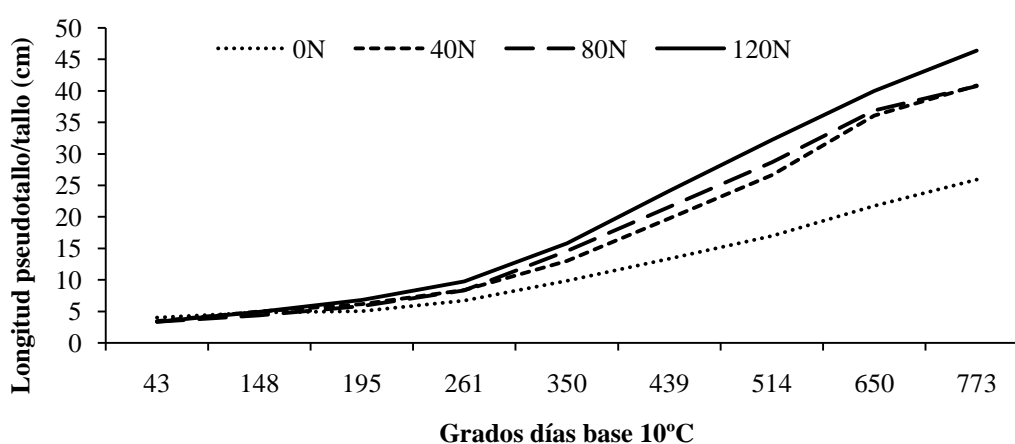
Tratamientos	Longitud acumulada de lámina foliar		
	Viva	Muerta	Total
	--- (cm macollos <sup>-1</sup> ) ---		
N0	124,1 <sup>b</sup>	9,2 <sup>b</sup>	133,2 <sup>c</sup>
N40	133,9 <sup>ab</sup>	12,91 <sup>b</sup>	146,8 <sup>bc</sup>
N80	151,1 <sup>a</sup>	13,4 <sup>b</sup>	164,6 <sup>ab</sup>
N120	154,0 <sup>a</sup>	28,9 <sup>a</sup>	182,9 <sup>a</sup>
EE:	8,3	3,4	8,9

En la misma columna, medias con letras iguales indican diferencias no significativas ( $p > 0,05$ ), según prueba LSD.

EE: error estándar.

### Longitud de pseudotallo/tallo

La longitud del pseudotallo/tallo fue mayor ( $p < 0,05$ ) en todos los tratamientos que incluyeron fertilización, con respecto al control, al finalizar el ensayo. El tratamiento N120 se diferenció ( $p < 0,05$ ) del control a partir de la evaluación realizada a los 195 GD acumulados, mientras que N80 y N40 lo hicieron a partir de las evaluaciones realizadas a los 350 y 439GD, respectivamente (Figura 4).



**Figura 4. Longitud del pseudotallo/tallo con relación a grados días de crecimiento en plantas de *Panicum coloratum* L. cv. Verde, bajo fertilización con distintas dosis de nitrógeno.**

### Número de macollos por planta y dinámica del macollaje

El número de macollos vivos y muertos acumulados, así como el total de macollos aparecidos, fueron similares ( $p > 0,05$ ) entre los tratamientos (Tabla 2). Las variables de dinámica de macollaje analizadas tuvieron un comportamiento similar en todos los tratamientos, llegando a un número máximo de macollos vivos en la tercera fecha de muestreo (7 de noviembre). A partir de ese momento, todos los tratamientos incrementaron en forma similar la cantidad de macollos senescentes (Tabla 3).

**Tabla 2. Número de macollos vivos, muertos y total en plantas de *Panicum coloratum* L. cv. Verde, bajo fertilización con distintas dosis de nitrógeno.**

Tratamientos	Macollos por planta		
	Vivos	Muertos	Totales
N0	23,4 <sup>a</sup>	3,7 <sup>a</sup>	27,0 <sup>a</sup>
N40	24,2 <sup>a</sup>	3,1 <sup>a</sup>	27,3 <sup>a</sup>
N80	23,6 <sup>a</sup>	3,3 <sup>a</sup>	26,9 <sup>a</sup>
N120	25,4 <sup>a</sup>	2,4 <sup>a</sup>	27,8 <sup>a</sup>
Media:	24,1	3,1	27,2
EE:	0,9	0,6	1,2

En la misma columna, letras iguales indican diferencias no significativas ( $p > 0,05$ ), según prueba LSD

EE: error estándar.

**Tabla 3. Dinámica de macollaje de plantas de *Panicum coloratum* L. cv. Verde, bajo fertilización con distintas dosis de nitrógeno.**

Tratamientos	Fechas de muestreo									
	03-oct		24-oct		07-nov		21-nov		05-dic	
	Número de macollos por planta									
	Iniciales	Nacidos	Muertos	Nacidos	Muertos	Nacidos	Muertos	Nacidos	Muertos	
N0	16,6	6,5	0,1	2,1	---	0,5	1,9	0,4	1,5	
N40	19,0	5,5	0,2	2,9	0,1	0,4	1,4	0,4	1,5	
N80	16,5	6,9	---	1,7	0,2	0,6	0,9	0,1	2,0	
N120	19,5	5,6	0,2	3,1	---	0,5	0,6	0,2	1,7	
Media:	17,9	6,1	0,2	2,5	0,2	0,5	1,2	0,3	1,7	
EE:	1,45	0,93	0,17	0,61	0,14	0,22	0,43	0,17	0,47	

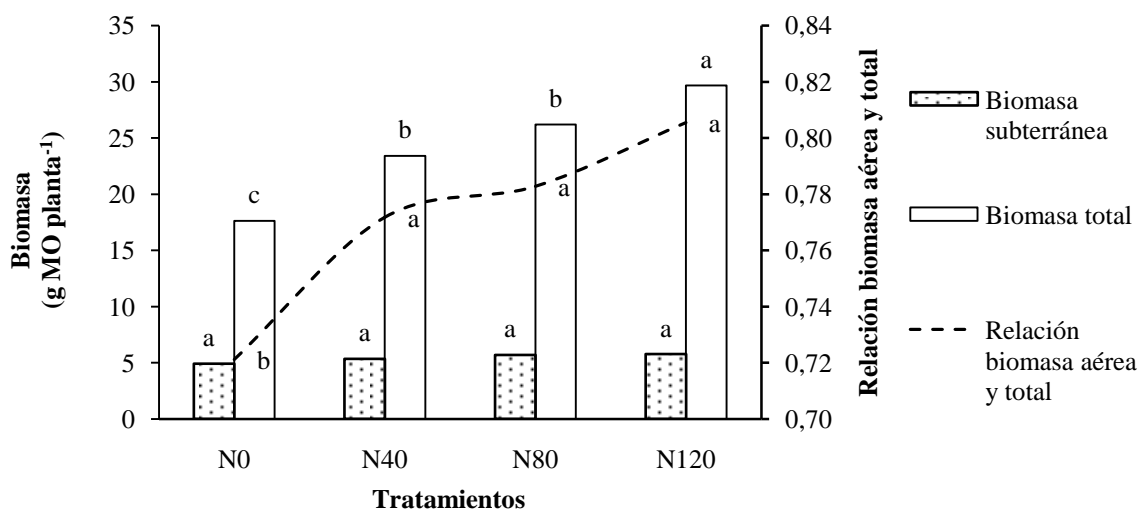
--- Indica que no se registraron macollos muertos.

EE: error estándar

### Biomasa aérea y subterránea

La biomasa aérea acumulada aumentó con la aplicación de N (12,7c; 18,1b; 20,5b y 23,9a g MO planta<sup>-1</sup> para N0, N40, N80 y N120, respectivamente;  $p < 0,05$ ; EE: 0,95). La variación de estos aumentos fue de 1,43 a 1,88 veces la biomasa aérea acumulada para N0, correspondiendo el valor mayor a N120, y siendo similar ( $p > 0,05$ ) entre N40 y N80

La biomasa total (*i.e.* aérea más subterránea) acumulada difirió ( $p < 0,05$ ) entre las distintas dosis de N, de la misma manera que la biomasa aérea; mientras que la biomasa de raíces fue similar ( $p > 0,05$ ) entre los diferentes tratamientos. Por lo tanto, hubo una correspondencia dentro de la variación de la biomasa total con la relación biomasa aérea/biomasa total, registrándose el menor valor para N0 y el mayor para N120 (Figura 5).



**Figura 5. Biomasa total y subterránea, y la relación entre biomasa aérea y total, en plantas de *Panicum coloratum* L. cv. Verde, bajo fertilización con distintas dosis de nitrógeno. En la misma variable, letras iguales indican diferencias no significativas ( $p > 0,05$ ), según prueba LSD.**

### Concentración, acumulación y eficiencia de uso del N

La aplicación de nitrógeno determinó aumentos en la concentración del mismo en la fracción aérea, con diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre N120, con respecto a las dosis de 0, 40 y 80 kg de N ha<sup>-1</sup> (Tabla 6). Además, el N acumulado en N120 duplicó el valor del control.

**Tabla 6. Nitrógeno acumulado en plantas de *Panicum coloratum* L. cv. Verde, bajo fertilización con distintas dosis de nitrógeno.**

Tratamientos	Concentración de nitrógeno	Nitrógeno acumulado
	--- (%) ---	--- (g N planta <sup>-1</sup> ) ---
N0	1,85 <sup>b</sup>	0,24 <sup>c</sup>
N40	1,90 <sup>b</sup>	0,34 <sup>b</sup>
N80	1,95 <sup>b</sup>	0,40 <sup>b</sup>
N120	2,14 <sup>a</sup>	0,51 <sup>a</sup>
EE:	0,06	0,02

Medias con letras iguales indican diferencias no significativas ( $p > 0,05$ ), según prueba LSD.  
EE: error estándar.

La eficiencia en el uso del N fue similar ( $p > 0,05$ ) entre las diferentes dosis. Sin embargo, la aplicación de nitrógeno determinó aumentos en la eficiencia fisiológica de uso del nitrógeno en N120, con respecto a N40 (Tabla 7).



**Tabla 7. Eficiencia agronómica y eficiencia fisiológica de uso del nitrógeno de plantas de *Panicum coloratum* L. cv. Verde, bajo fertilización con distintas dosis de nitrógeno.**

Tratamientos	Eficiencia agronómica --- (kg MS kg <sup>-1</sup> N aplicado) ---	Eficiencia fisiológica --- (kg MS kg <sup>-1</sup> N recuperado) ---
N40	14,09 <sup>a</sup>	14,38 <sup>b</sup>
N80	10,26 <sup>a</sup>	18,64 <sup>ba</sup>
N120	9,80 <sup>a</sup>	21,50 <sup>a</sup>
EE:	2,1	1,8

Medias con letras iguales indican diferencias no significativas ( $p > 0,05$ ), según prueba LSD.

EE: error estándar.

## DISCUSIÓN

### Longitud final de lámina foliar

El incremento en la longitud final de lámina foliar, al aumentar la cantidad de hojas acumuladas por macollo, estaría modulado por la calidad de la luz (Skinner y Simmons, 1993; Gautier y Varlet-Grancher, 1996) y la posición del meristema apical dentro del seudotallo. Así, a medida que incrementa el área foliar y disminuye la calidad, intensidad y composición de la luz dentro del canopeo, se incrementa la longitud final de las hojas nuevas. Sin embargo, a partir de la quinta hoja (Figura 2) su longitud comienza a disminuir, lo cual se correspondería con la elevación del meristema apical por la elongación de los entrenudos, y la consiguiente disminución en el tiempo de elongación de cada lámina.

Entonces, los mayores incrementos observados en los tratamientos fertilizados, para las longitudes finales de lámina (Figura 2), al aumentar el número de hojas por macollo, podrían ser explicados por el aumento en el tiempo de elongación foliar (Gastal y Lemaire, 2015), en conjunto con una mayor tasa de elongación foliar (TEF) por efecto del N. En tal

sentido, el aumento en el tiempo de elongación foliar se correspondería con una mayor ( $p < 0,05$ ) longitud de las vainas de las hojas sucesivas (*i.e.*, seudotallo; Figura 4), para los tratamientos que incluyeron fertilización con N. Varios estudios, demostraron que la longitud de la vaina de una hoja expandida afecta la longitud final de la lámina de la hoja siguiente (Davies *et al.*, 1983), por lo que el incremento en la longitud de los seudotallos se correspondería con un aumento en la longitud de las láminas. Por lo tanto, la TEF en gramíneas puede incrementarse de 3 a 4 veces, en respuesta a la fertilización con N (Gastal *et al.*, 1992), dado el efecto que ejerce el N sobre la tasa de división celular (Gastal y Nelson, 1994). Además, la TEF estaría afectada por la calidad de la luz (*i.e.*, relación rojo/rojo lejano, luz azul; Cassal *et al.*, 1987; Gautier y Varlet Grancher, 1996), por lo que el cambio en el ambiente lumínico con el incremento en el IAF y en la estructura de los macollos (*i.e.*, alargamiento de entrenudos) podrían haber contribuido a modificar dicha tasa a través del periodo de evaluación.

### **Aparición de hojas y filocrono**

La tasa de aparición de hojas presenta un rol central en la morfogénesis de las plantas, dado que tiene un efecto directo sobre cada uno de los cuatro componentes estructurales (*i.e.*, relación lámina/tallo, tamaño foliar, número de macollos y número de hojas por macollo; Lemaire y Chapman, 1996). Si bien se sugiere que el N solo tiene un ligero efecto sobre la TAH y sobre la tasa de senescencia foliar (Gastal y Lemaire, 1988), en el presente trabajo la aplicación de N aumentó entre 1,37 y 1,60 veces la TAH (Figura 3) y entre 1,42 y 3,14 veces la senescencia foliar, con respecto al control (Tabla). Así, la fertilización aumentó la acumulación de lámina foliar (Tabla 1), a nivel de macollo, asociado con incrementos en la TAH (Figura 3) y, probablemente, con incrementos en la TEF. En tanto que, la mayor

cantidad de lámina muerta en la dosis de 120 kg de N ha<sup>-1</sup> se podría corresponder con el mayor tamaño foliar, y una probable anticipación de la senescencia por autosombreo. Por lo tanto, el uso de la fertilización con N en esta especie puede requerir del ajuste en el manejo del pastoreo (*i.e.*, modificaciones de frecuencia e intensidad).

### **Número de macollos por planta y dinámica del macollaje**

Varios estudios demostraron un efecto positivo del N sobre el macollaje, tanto en especies templadas (Simons y Lemaire, 1987) como tropicales (Mathews *et al.*, 2004). Sin embargo, en el presente trabajo, tanto la aparición como la muerte de macollos por planta fueron similares entre tratamientos. Ello se relacionaría con un equilibrio entre la aparición y muerte de macollos, el cual estaría determinado, primariamente, por la evolución del índice de área foliar (IAF; Lemaire y Chapman, 1996), el cual fue estimado por la incorporación de N. Entonces, a medida que las plantas aumentan su IAF, disminuiría gradualmente la intensidad y calidad de luz que llega a la zona basal, lo cual reduce la tasa de macollaje y desencadenaría la muerte de macollos jóvenes (Simons y Lemaire, 1987). Por lo tanto, es probable que bajo las condiciones del presente trabajo, donde el crecimiento se encontraría limitado por el tamaño de la maceta, el IAF haya sido el principal determinante de la aparición y muerte de macollos, en lugar del N aplicado.

### **Biomasa aérea y subterránea**

La tasa de acumulación de biomasa de las plantas está determinada por la tasa con la cual se acumula carbono. A su vez, la tasa de acumulación de C depende del contenido de N en sus tejidos y, por lo tanto, del nivel de nutrición con N de las plantas, debido al efecto

directo que ejerce dicho elemento sobre la actividad fotosintética de las hojas (Robson y Parson, 1978). Además, la utilización del C en la actividad meristemática, tal como la relacionada con la tasa de elongación foliar, también depende de la nutrición con N (Gastal *et al.*, 1992). En el presente trabajo, el aumento en la biomasa aérea acumulada determinado por la aplicación de N pudo deberse, tanto al incremento en la longitud (Tabla 1) y cantidad de láminas acumuladas por macollo (Figura 3), como al incremento en longitud de losseudotallos (Figura 4). Sin embargo, el N no estimuló la aparición de macollos (Tabla 3), tal como fue discutido precedentemente.

Por otro lado, se sugiere que la deficiencia de N puede determinar, como respuesta, una mayor partición de foto-asimilados hacia la raíz, permitiendo así una mayor exploración del suelo (Bushby *et al.*, 1992). En tanto que, otros autores, informan que el crecimiento foliar y delseudotallo son más sensibles al aporte de N que el crecimiento de la raíz (Onillon *et al.*, 1995; Gastal y Durand, 2000). Esto último, fue lo que se encontró en el presente trabajo, donde la acumulación de biomasa subterránea fue similar entre los diferentes tratamientos, por lo que incrementos en la dosis de N determinaron aumentos sólo en la proporción de biomasa aérea en la biomasa total acumulada (Figura 5).

### **Concentración, acumulación y eficiencia de uso del N**

El aumento en la concentración y acumulación de N en las plantas, con la fertilización (Figura 6; Tabla 6), es una respuesta que fue informada para numerosas especies a través del mundo, al igual que el incremento en el crecimiento (Mathews *et al.*, 2004). La similar EAN, observada entre tratamientos, sugiere que las plantas pudieron absorber el N aplicado, aún en la dosis más elevada, indicando que incrementos por sobre la máxima dosis de N aplicada, podrían aún seguir favoreciendo el crecimiento. Por otro lado, el incremento en la EFN con la

aplicación de N (40 vs 120 kg N ha<sup>-1</sup>; Tabla 7) podría ser una consecuencia de la re-movilización del N. En este sentido, Lemaire y Chapman (1996) sugieren que, en plantas sin defoliar, la cantidad de N asimilado requerido para la producción de una nueva hoja disminuye progresivamente, en la medida que las hojas senescentes provean cantidades elevadas de N re-circulante. Al respecto, Lemaire y Culleton (1989) informan que entre un 75 a 80% del N foliar es reciclado dentro de la planta, en la medida que el material foliar muere.

Las GPCE, en general, presentan una baja concentración de N en sus tejidos, por lo que el mantillo generado presenta una relación C:N elevada (>30) que estimula la inmovilización microbiana del N (Bushby *et al.* 1992), afectando el proceso de mineralización y su posterior disponibilidad para las plantas. La mineralización neta de N alcanzaría valores irrelevantes durante la descomposición de los residuos vegetales, con un nivel de N inferior a 0,75% (Knops *et al.*, 2002), siendo este un valor normal en tejidos senescentes de GPCE sin fertilizar (Ferri, 2011). De este modo, se reduciría la cantidad de N disponible en el suelo, durante el proceso de descomposición, afectando el crecimiento de las plantas. Por lo tanto, la fertilización nitrogenada incrementaría el N interno re-circulante, y también, la deposición y calidad del mantillo (Beare *et al.*, 2005) al aumentar la cantidad de nutrientes asimilados. Esto último, favorecería su descomposición y determinaría un aporte mayor de N a la pastura (Lupwayi y Haque, 1999) que podría atenuar los efectos del “envejecimiento” sobre la producción y calidad nutricional del forraje de GPCE.

## CONCLUSIÓN

La fertilización con N afectó la expresión de variables morfogénicas a nivel de macollos y, en consecuencia, la estructura de la planta. La tasa de aparición de hojas aumentó

en forma significativa, al igual que las variables estructurales, tamaño final de lámina foliar y longitud del seudotallo/tallo, pero el número de macollos por planta no fue estimulado por la aplicación de N. A su vez, los incrementos en la tasa de aparición de hojas, tamaño foliar y longitud de seudotallo/tallo determinaron una mayor acumulación de biomasa aérea por planta. La biomasa subterránea acumulada, por otro lado, fue similar entre tratamientos.

La fertilización con N determinó un efecto positivo sobre una de las variables que define la calidad nutricional de gramíneas perennes de crecimiento estival, tal como es la concentración de dicho elemento en la materia seca. Sin embargo, la aplicación de N podría suprimir en parte este efecto positivo, dado que incrementaría la proporción de seudotallo/tallo en la pastura. El incremento en la biomasa aérea acumulada por kg de N aplicado (*i.e.*, eficiencia agronómica) fue similar (11,4 kg MS kg<sup>-1</sup> N aplicado) entre dosis de N. Por otro lado, la biomasa aérea acumulada por kg de incremento en el N acumulado proveniente del fertilizante (*i.e.*, eficiencia fisiológica) respondió positivamente a los aumentos en la dosis de N. Estos resultados sugieren que, bajo condiciones de pastoreos rotativos con descansos prolongados, las plantas de *P. coloratum* L. tendrían la capacidad de reutilizar el N de las hojas envejecidas.

Los aumentos producidos en la concentración de N en la fracción aérea, ante incrementos en la dosis de fertilizante, permitiría inferir que el mantillo podría tener una menor relación C:N, que facilitaría la mineralización del N y disminuiría la inmovilización de este nutriente en el suelo, aunque sería necesario avanzar en su investigación.

El presente trabajo, aporta información vinculada con el análisis de la actividad morfogénica a nivel de unidad de crecimiento autotrófico (macollos), la cual permitió interpretar la respuesta a nivel de planta para avanzar en la definición de pautas de manejo de pasturas de mijo perenne. Sin embargo, para extrapolar dicha información al nivel de pastura,

se requiere comprender las interacciones competitivas y la respuesta de las plantas a la remoción de biomasa por el pastoreo.

## **BIBLIOGRAFIA**

- Ball, A.S. y Drake, B.G. 1997. Short-term decomposition of litter produced by plants grown in ambient and elevated atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations. *Global Change in Biology* 3:29-35.
- Beare, M.H.; Curtin, D.; Thomas, S.; Fraser, D.M. y Francis, G.S. 2005. Chemical components and effects on soil quality in temperate grazed pasture systems. En: *Optimization of nutrients cycling and soil quality for sustainable grassland*. Jarvis *et al.* (eds.), pp. 25-36. Wageningen Academic Publishers. Wageningen, Netherlands.
- Bushby, H.V.A.; Vallis, I. y Myers, R.J.K. 1992. Dynamics of C in a pasture grass (*Panicum maximum* var. *trichoglume*)-soil system. *Soil Biology and Biochemistry* 24:381-387.
- Cassal, J. J.; Sanchez, R.A. y Deregibus, V.A. 1987. The effect of light quality on shoot extension growth in three species of grasses. *Annals of Botany* 59:1-7.
- Cornish, P.S. 1987. Root growth function in temperate pastures. En: *Temperate pastures: their production, use and management*. J.L. Pearson y G.E. Robards (eds.), pp. 79-98. Australian Wool Corporation, CSIRO. Melbourne, Vic.
- Davies, A.; Evans, M.E. y Exley, J.K. 1983. Regrowth of perennial ryegrass as affected by simulated leaf sheaths. *Journal of Agricultural Science* 101:131-137.

- Di Rienzo, J.A.; Casanoves, F.; Balzarini, M.G.; González, L.; Tablada, M. y Robledo, C.W. 2008. InfoStat, versión 2008, Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Doberman, A.R. 2005. Nitrogen use efficiency – state of art. Agronomy – Faculty Publications. Paper 316, University of Nebraska, Lincoln, USA. 16 p.
- Ferri, C.M. 2011. The seasonal and inter-annual patterns of biomass accumulation and crude protein in kleingrass (*Panicum coloratum*) in the semiarid Pampean region of Argentina. Journal of Agriculture and Natural Resources 38:191-198.
- Frank, E.O.; Llorens, E.M. y Cabral, D.R. 1998. Productividad de los pastizales de la Provincia de La Pampa, Gobierno de la Provincia de La Pampa, INTA, 167 p.
- Gastal, F.; Belanger, G. y Lemaire, G. 1992. A model of the leaf extension rate of tall fescue in response to nitrogen and temperature. Annals of Botany 70:437-442.
- Gastal, F. y Durand, J.-L. 2000. Effects of nitrogen and water supply on N and C fluxes and partitioning in defoliated swards. En: Grassland Ecophysiology and Grazing Ecology. G. Lemaire, J. Hodgson, A. de Moraes, C. Nabinger y P.C. de F. Carvalho (eds.) pp. 15-39. CAB International. Wallingford, Oxon, UK.
- Gastal, F. y Lemaire, G. 1988. Study of a tall fescue sward grown under nitrogen deficiency conditions. En: Proceeding of the XII<sup>th</sup> Meeting of European Grassland Federation, Dublin, Irish Grassland Association, Belclare, Ireland, pp. 323-327.
- Gastal, F. y Lemaire, G. 2015. Defoliation, shoot plasticity, sward structure and herbage utilization in pasture: review of the underlying ecophysiological processes. Agriculture 5:1146-1171.



- Gastal, F. y Nelson, C.J. 1994. Nitrogen use within the growing leaf blade of tall fescue. *Plant Physiology* 105:191-197.
- Gautier, H. y Varlet-Grancher, C. 1996. Regulation of leaf growth of grass by blue light. *Physiology of Plant*. 98:424-430.
- Hernández, O. 1991. Manejo del cultivo y respuesta al pastoreo. En: El pasto llorón. Su biología y manejo. Fernández O.A., Brevedan R.E. y Gargano A.O (eds.), pp. 277-322. CERZOS, UNS, Bahía Blanca.
- Knops, J.M.H.; Bradley, K.L. y Wedin, D.A. 2002. Mechanisms of plant species impact on ecosystem nutrient cycling. *Ecology Letters* 5: 454-466.
- Lemaire, G. y Chapman, D. 1996. Tissue flows in grazed plant communities. En: The ecology and Management of Grazing Systems. J. Hodgson y A.W. Illius (eds.), pp 3-36. CAB International, Wallingford, Oxon, UK.
- Lemaire, G. y Culleton, N. 1989. Effects of nitrogen applied after the last cut in autumn on a tall fescue sward. 2. Uptake and recycling of nitrogen in the sward during winter. *Agronomie* 9:241-249.
- Lupwayi, N.Z. y Haque, I. 1999. Leucaena hedge row intercropping and cattle manure application in the Ethiopian highlands. I. Decomposition and nutrient release. *Biology and Fertility of Soils* 24:182-195
- Mathews, B.W.; Miyasaka, C. y Tritschler, J.P. 2004. Mineral nutrition of C4 forage grasses. En: Warm-Season (C4) Grasses. L.H. Moser, B.L. Burson y L.E. Sollenberger (eds.), pp. 217-265. ASA, CSSA, SSSA, Madison, Wisconsin, USA.
- Myers, R.J.K. y Robbins, G.B. 1991. Sustaining productive pastures in the tropics; 5: Maintaining productive sown grass pastures. *Tropical Grassland* 25:104-110.

- Onillon, B.; Durand, J.-L.; Gastal, F y Tournebize, R. 1995. Drought effects on growth and carbon partitioning in a tall fescue sward grown at different nitrogen rates. *European Journal of Agronomy* 4:91-100.
- Petruzzi, H.J.; Stritzler, N.P.; Adema, E.O.; Ferri, C.M. y Pagella, J.H. 2003. Mijo Perenne, Publicación técnica N° 51. EEA Anguil INTA, Ediciones INTA, 28 p.
- Robson, M.J. y Parson, A.J. 1978. Nitrogen deficiency in small closed communities of S24 ryegrass. 1. Photosynthesis, respiration, dry matter production and partition. *Annals of Botany* 42:1185-1197.
- Simons, J.C. y Lemaire, G. 1987. Tillering and leaf area index in grasses in vegetative phase. *Grass and Forage Science* 42:373-380.
- Skinner, R.H. y Simmons, S.R. 1993. Modulation of leaf elongation, tiller appearance and tiller senescence in spring barley by far-red light. *Plant Cell Environment* 16:555-562.
- Stritzler, N.P.; Pagella, J.H.; Jouve, V.V. y Ferri, C.M. 1996. Semi-arid warm season grass yield and nutritive value in Argentina. *Journal of Range Management* 49:121-125.
- Vendramini, J.M.B.; Dubeux, J.C.B. y Silveira, M.L. 2014. Nutrient cycling in tropical pasture ecosystems. *Agrária - Revista Brasileira de Ciências Agrárias* 9:308-315.