

Curva de dilución e índice de nutrición nitrogenada para *Digitaria eriantha* cv. Irene bajo diferentes regímenes de agua y nitrógeno

FRIGERIO, K.L.¹; BLANCO, E.M.¹; PRIVITELLO, J.M.L.²; PANZA, A.A.²; FRASINELLI, C.A.¹

RESUMEN

Los principales factores ambientales que influyen sobre la productividad de las pasturas son las condiciones de humedad y la disponibilidad de nitrógeno en el suelo. La temperatura también es una de las causas de fluctuación estacional en la producción de biomasa. En *Digitaria* son insuficientes los estudios relacionados con la dinámica de la nutrición con N bajo diferentes niveles de fertilización nitrogenada y condiciones hídricas del suelo. Se propone obtener la curva de dilución nitrogenada teórica y experimentales; estimar el Índice de Nutrición Nitrogenada (INN) y evaluarlo en relación con los Grados Días de Crecimiento (GDC) durante dos ciclos de crecimiento para *Digitaria eriantha* cv. Irene sujeta a condiciones naturales y potenciales de aporte en agua y nitrógeno en primavera-verano. Entre noviembre de 2007 y febrero de 2009, se evaluaron dos niveles de humedad en suelo: condición natural (CN) y capacidad de campo (CC). En CN se aplicaron dos niveles de N: 0 (CN0) y 150 kg.ha⁻¹ (CN150); y en CC 3 niveles de N: 0 (CC0), 150 (CC150) y 300 kg.ha⁻¹ (CC300). Se obtuvo la curva de dilución de N, la concentración crítica y teórica de N, el índice de nutrición nitrogenada, y se estimaron las curvas de acumulación de nitrógeno experimental en relación con los GDC. El aporte de nitrógeno al suelo aumentó la concentración de N en la biomasa para los dos ciclos y las dos estaciones estudiadas. En ambas estaciones las curvas con menores aportes de N (CN0 y CC0) fueron las que produjeron menor biomasa, aun con adecuada disponibilidad hídrica. Sin embargo, con el aporte adecuado de N, el agua pasa a ser el factor limitante (CN150). Los valores menores de INN se obtuvieron en los tratamientos sin aporte de N. La acumulación de nitrógeno se incrementó con el aumento de los grados día tanto en primavera como en verano. Los valores máximos de acumulación se alcanzaron alrededor de los 500 GDC, indistintamente al tratamiento. Para esta especie y en las condiciones ambientales descriptas los niveles adecuados de acumulación de nitrógeno en planta dependen de la disponibilidad de N en el suelo. La disponibilidad de N para la planta tiene mayor efecto cuando hay agua disponible en el suelo. La combinación de ambos factores sinergiza sus efectos individuales. En ambas estaciones se alcanzaron valores de acumulación de temperatura suficientes para que la planta pueda obtener un nivel adecuado de nitrógeno, efecto condicionado a la disponibilidad de N y a la humedad en el suelo.

Palabras clave: estación de crecimiento, gramíneas C4, condición hídrica, fertilización nitrogenada.

ABSTRACT

The main environmental factors that influence the productivity of pastures are the water condition and the availability of nitrogen in the soil. Temperature is also cause seasonal fluctuation in biomass production. In Digitaria there are insufficient studies that relate dynamics of nutrition with N under different levels of nitrogen

¹INTA, EEA San Luis, CC 17, 5730, Villa Mercedes, San Luis, Argentina. Correo electrónico: frigerio.karina@inta.gob.ar

²FICA (UNSL), Ruta 55 ext. Norte, 5730, Villa Mercedes (San Luis).

fertilization and soil water condition. It is proposed to obtain the curve of theoretical and experimental nitrogen dilution; estimating the nitrogen nutrition index (INN) and to evaluate the degrees relative to days of growth (GDC), for two cycles of growth *Digitaria eriantha* cv. Irene subject to natural and potential conditions contribution to water and nitrogen in spring and summer. Two soil moisture levels were evaluated: natural condition (CN) and field capacity (CC) between November 2007 and February 2009. Two levels of N input were applied in CN 0 (CN0) y 150 kg.ha⁻¹ (CN150), and three levels of N input were applied en CC 0 (CC0), 150 (CC150) y 300 kg.ha⁻¹ (CC300). Dilution curve, critical and theoretical N concentration, nitrogen nutrition index were obtained. Also, nitrogen accumulation curves related to growing degree days. The input of nitrogen to the soil increased the N concentration in biomass in both cycles and for the two seasons evaluated. In both seasons curves with lower N inputs (CN0 and CC0) were those that produced less biomass, even with sufficient water availability. However, with adequate supply of N, water becomes the limiting factor (CN150). Lower values of INN were obtained in the treatments without any application of N. The accumulation of nitrogen increased with increasing degree days in spring and summer. The maximum value of accumulation is reached around 500 GDC, regardless of treatment. For this species and the environmental conditions described, adequate levels of accumulation of nitrogen in plant dependent on the availability of N in the soil. The availability of N for the plant has more effect when there is water available in the soil. The combination of both factors synergizes their individual effects. In both seasons accumulation values were reached sufficient temperature for the plant to obtain an adequate level of nitrogen, subject to the availability of N and soil moisture effect.

Keywords: growing season, C4 grasses, water condition, nitrogen fertilization.

INTRODUCCIÓN

En los sistemas ganaderos extensivos de producción el complejo de factores edáficos y climáticos condiciona el tipo de especies vegetales que pueden prosperar y el nivel de productividad que alcanzan. La implantación de pasturas perennes es altamente recomendable en los suelos de San Luis, con tendencia a la erosión eólica (Veneciano, 2006) o en situaciones donde se presenta degradación severa del pastizal (Frasinelli y Veneciano, 2014). Las gramíneas perennes estivales (C4, megatérmicas) se adaptan a condiciones de marcada estacionalidad estival de las lluvias, alta intensidad de la radiación solar y al régimen térmico imperante (Veneciano, 2006).

En la región semiárida central de Argentina se introdujo a *Digitaria eriantha* cv. Irene como complemento de estructuras forrajeras conformadas por pastizales naturales y otras megatérmicas introducidas. También se la utiliza como base forrajera en sistemas de producción de carne para contribuir al incremento de la receptividad y diversidad ganadera regional. Es una especie tolerante a sequía, adaptada a ambientes con precipitaciones estivales no menores a 500 mm. Soporta bajas temperaturas, sin embargo, su rebrote puede ser afectado por temperaturas bajo cero y presencia de heladas tardías. Prospera en suelos con bajo contenido de nutrientes y responde positivamente a la fertilización nitrogenada (Veneciano, 2006).

En ambientes templados los principales factores ambientales que influyen sobre la productividad de las pasturas son las condiciones de humedad y la disponibilidad de nitrógeno en el suelo (Lafitte, 2001; Lemaire, 2001). El nitrógeno (N)

se considera como el factor limitante más importante, después del déficit hídrico para la producción de biomasa en ecosistemas naturales (Lemaire *et al.*, 2008). Por un lado, en sistemas de cultivos y pastizales la práctica de la fertilización nitrogenada provee un suministro suficiente de N a las plantas a fin de lograr el rendimiento potencial permitido por las condiciones climáticas existentes (Lemaire *et al.*, 2008). Por otro lado, los efectos de la deficiencia hídrica son difíciles de ser disociados de los efectos correspondientes a la menor disponibilidad de N (Morales, 1998; Lemaire, 2001).

Se sabe que el contenido de N en la planta decae durante el ciclo de crecimiento de los cultivos. Esto es debido a respuestas fisiológicas a situaciones como la posición de las hojas en la canopia y al aumento proporcional de tejidos estructurales y de almacenamiento a medida que transcurre el ciclo del cultivo (Plénet y Lemaire, 2000). Lemaire y Salette (1984a) introducen la idea de la relación entre el nitrógeno consumido por la planta y la materia seca acumulada y establecen una ecuación alométrica que vincula estas dos variables. A partir de esta ecuación se obtiene una curva donde cada punto representa la mínima concentración de N observada en planta para una determinada acumulación de biomasa aérea. Esta curva se denomina de dilución de nitrógeno (CDN). Varios autores indican que cada especie tiene su propia CDN de acuerdo a sus características histológicas y morfológicas (Lemaire y Gastal, 1997, Justes, 1994, Colnenne *et al.*, 1998). Greenwood *et al.* (1990) además determinaron que existen diferencias entre los grupos metabólicos C3 y C4.

Para estudiar el estado de nutrición con nitrógeno se utiliza el índice de nutrición nitrogenada (INN), que relaciona el

contenido de N experimental con el N crítico o teórico que debería contener la biomasa obtenida en una muestra. El INN se define como el contenido de N en la biomasa aérea de una pastura relativo al mínimo contenido de N necesario para maximizar su crecimiento (N crítico, N_c). Este índice constituye una herramienta para determinar deficiencia o exceso de N en un cultivo (Lemaire *et al.*, 2008).

El estado de nutrición nitrogenada de una pastura de gramíneas depende de la disponibilidad de agua del suelo. Para explicar y analizar la nutrición mineral de los cultivos, en este caso nitrogenada, es necesario relacionarlo con la condición hídrica de los suelos (Durand *et al.*, 2010). En *Digitaria* no hay datos aún que describan estados potenciales o intermedios en cuanto a la disponibilidad del recurso hídrico y nitrogenado como de la sinergia entre estas variables.

Se plantea una condición hídrica potencial, es decir, el suelo siempre en capacidad de campo, y se varían los niveles de N. De esta manera, se puede estudiar el efecto por separado de cada una de estas variables, considerando que a mayor aporte de N al suelo se obtiene una mayor acumulación de biomasa y de N en la planta. Se evalúa también, el efecto de los distintos niveles de aporte de N al suelo para un valor fijo de acumulación de biomasa, donde se puede observar una acumulación diferencial de N. Por una parte, también se estudia la acumulación de biomasa y de N en planta en una condición hídrica natural, variando los aportes de N al suelo. De esta manera se obtienen curvas de dilución de nitrógeno experimentales (CDNe) según los tratamientos considerados, que se pueden comparar con una curva de dilución de nitrógeno teórica (CDNt) obtenida a partir de una biomasa teórica que aumenta progresivamente. Por otra parte, la temperatura es una de las causas de fluctuación estacional en la producción de biomasa

(Nascimento y Adese, 2004). El efecto de la temperatura sobre la morfogénesis depende del genotipo de las plantas, que presentan una temperatura base por debajo de la cual se limitan los procesos de crecimiento y desarrollo y posteriormente no se produce actividad fotosintética.

En la zona de Villa Mercedes (San Luis) se han realizado trabajos sobre producción primaria y secundaria en *Digitaria* (Frasinelli y Veneciano, 2014; Veneciano, 2006; Privitello y Gabutti, 2004); son escasos los estudios relacionados con la dinámica de la nutrición con N bajo diferentes niveles de fertilización nitrogenada y condiciones hídricas del suelo.

En el presente trabajo se propone i) obtener la curva de dilución nitrogenada (CDN) teórica y experimental, ii) estimar el índice de nutrición nitrogenada (INN) iii) evaluar la acumulación de N en biomasa en relación con los Grados Días de Crecimiento (GDC), durante dos ciclos de crecimiento de la especie *Digitaria eriantha* cv. Irene sujeta a condiciones naturales y potenciales de aporte en agua y nitrógeno en primavera-verano.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del sitio y tratamientos

El ensayo fue conducido en el campo experimental de la EEA INTA San Luis (33° 39' S, 65° 24' W) en la provincia de San Luis, entre noviembre de 2007 y febrero de 2009.

Las características del suelo se presentan en la tabla 1, el cual corresponde a un ustipsamente típico (Serie Cramer) con tamaño de partícula franco gruesa, mineralogía mixta, pH ácido, sin horizonte limitante, siendo una antigua área medanosa rebajada (Peña Zubiarte y D'Hiriart, 2000).

Primavera				
Ciclo	2007		2008	
Tratamiento	GDC (°C)	N acum (kg.ha ⁻¹)	GDC (°C)	N acum (kg.ha ⁻¹)
CN0		10,4b ± 0,9		12,1c ± 1,7
CN150		39,3b ± 11,3		66,0b ± 16,7
CC0	499,8	26,9b ± 4,1	576,6	13,4c ± 4,1
CC150		72,2b ± 1,9		72,0b ± 12,6
CC300		148,6a ± 69,5		112,4a ± 9,6
Verano				
ciclo	2007-08		2008-09	
CN0		13,3c ± 5,7		10,9c ± 2,8
CN150		89,5b ± 1,5		63,6b ± 7,5
CC0	548,4	17,8c ± 9,3	534,5	10,7c ± 0,7
CC150		155,9a ± 3,2		91,4b ± 36,7
CC300		173,9a ± 46,0		163,0a ± 2,4

Tabla 1. Características del suelo del lugar del ensayo.

	PRIMAVERA 07	VERANO 07-08	PRIMAVERA 08	VERANO 08-09
Precipitaciones durante el ciclo (mm)	169,1	234,4	240,3	172,3

Tabla 2. Ocurrencia de precipitaciones durante las estaciones estudiadas.

Datos propios Estación Meteorológica EEA San Luis.

Las precipitaciones durante los ciclos de cultivo estudiados se presentan en la tabla 2.

El ensayo se condujo sobre una pastura de *Digitaria eriantha* Steud. cv. Irene implantada en el año 1998. Las estaciones de crecimiento evaluadas fueron:

- primavera 2007 (23-nov a 23-dic-2007) y 2008 (25-nov a 30-dic-2008).
- verano 2007-08 (2-ene a 28-ene 2008) y 2008-9 (30-dic a 6-feb 2009).

Los tratamientos evaluados reprodujeron dos situaciones extremas: la potencial, con condiciones hídricas del suelo óptimas y máxima disponibilidad de nitrógeno (suelo en capacidad de campo con altos niveles de N agregado); y la condición natural o limitante en cuanto a humedad del suelo y disponibilidad nitrogenada. Además se establecieron tratamientos que representaban un gradiente entre estas dos situaciones. Así, la combinación de distintos niveles de los dos efectos (hídrico y de N) derivó en cinco tratamientos:

- CC 0: capacidad de campo sin agregado de N.
- CC 150: capacidad de campo con 150 kg. N ha⁻¹.
- CC 300: capacidad de campo con 300 kg. N ha⁻¹.
- CN 0: condición hídrica natural sin agregado de N.
- CN 150: condición hídrica natural con 150 kg. N ha⁻¹.

Cada tratamiento contó con dos repeticiones. La combinación CN300 (condición hídrica natural + 300 kg. N ha⁻¹) no se realizó ya que según ensayos previos en la zona, este nivel de fertilizante produce el "quemado" del cultivo debido al escaso aporte hídrico natural. El arreglo experimental fue un diseño anidado (Montgomery, 1991). Se consideró la condición hídrica (CH) como parcela principal y los niveles de N fueron distribuidos dentro de cada nivel de CH.

Para alcanzar la CH óptima se dispuso un sistema de riego por goteo en las parcelas correspondientes. El suelo mantuvo capacidad de campo (CC) por lo que los riegos se realizaron cuando el agua útil disponible descendía al 75%.

La fuente de nitrógeno utilizada fue urea (46% N₂). En todos los tratamientos se aplicó fósforo, como fosfato monocalcico (21% P₂O₅), hasta alcanzar 20 ppm. Nitrógeno y fósforo se aplicaron una sola vez al inicio de cada ciclo de crecimiento, luego del corte de limpieza.

Para determinar el crecimiento desde el inicio del rebrote hasta la meseta de intercepción de la radiación (IR) y obtener registros en secuencia se utilizaron seis parcelas (4 m²) donde cada parcela correspondió a una fecha de corte.

Durante el período de ensayo se registraron la precipitación (PP), la evapotranspiración ambiental (ETP) y la temperatura media diaria (TMD), datos que fueron aportados por la estación agrometeorológica perteneciente a la EEA San Luis. Además periódicamente se determinó la humedad del suelo para realizar los ajustes en el riego.

Variables evaluadas y análisis de datos

Se evaluaron:

Biomasa aérea: en cada unidad de muestreo se realizaron los cortes de material verde para determinar la acumulación de materia seca de biomasa aérea, correspondiente a planta entera (APE, g.m⁻²). Los cortes se efectuaron a partir de una IR de 40-50% hasta alcanzar el 99%. La superficie del marco utilizado para el muestreo fue de 0,25 m². Para determinar la APE se llevaron las muestras de forraje cortado a estufa a 60 °C durante 48 horas, previa separación del material en hoja (H, g.m⁻²) y tallo (T, g.m⁻²).

Intercepción de la radiación: (IR) Se midió con un analizador LICOR LAI 2000 previo al corte de biomasa.

Grados diarios de crecimiento (GDC): con los registros de temperatura media diaria se calcularon los GDC. Para *Digitaria* se consideró una temperatura base de 11 °C. Esta se obtiene de la ecuación: $GDC = (T_{med} - T_b) * n$, donde T_{med} es la temperatura media diaria de un período determinado, T_b es la temperatura basal determinada para cada especie, y n es la cantidad de días del período estudiado. Esta T_b se determinó de acuerdo a lo estudiado para otras especies forrajeras megatérmicas (Da Silva *et al.*, 2012).

Contenido de nitrógeno en hojas (%Nh) y en tallos (%Nt): se estimaron con el método micro Kjeldahl (Bremner, 1965). Con estos valores se estimaron los contenidos de N por superficie (kg.ha⁻¹).

La curva de dilución de N (CDN) se estimó a partir de la ecuación propuesta por Lemaire y Salette (1984 a, b): $N_c = a \cdot BA^{-b}$, donde N_c es el nitrógeno crítico expresado en g.kg⁻¹ y BA es la biomasa aérea en Mg.ha⁻¹, el coeficiente a representa la concentración de N en planta cuando la biomasa del cultivo es 1 Mg.ha⁻¹. El coeficiente b indica la dilución que estima la relación de descenso de la concentración de N cuando se incrementa la biomasa del cultivo. Según estudios previos, la CDN no se puede aplicar a valores bajos de biomasa aérea (<1 Mg.ha⁻¹). En estos casos, la concentración crítica de N tiene un valor constante debido a la pequeña disminución del N crítico con el aumento

de biomasa aérea y la poca competencia por la luz entre plantas aisladas (Lemaire y Gastal, 1997). Los coeficientes *a* y *b* aconsejados para especies forrajeras megatérmicas son 36 y 0.34, respectivamente (Lemaire *et al.*, 2008).

Concentración crítica de N (*N_c*): a partir de la biomasa se calculó para cada tratamiento la CDN obteniendo las curvas de dilución experimentales de cada tratamiento (CD-Nexp). Estas cinco curvas se compararon con una curva de dilución nitrogenada teórica (CDN_t) que se obtuvo a partir de una biomasa teórica que aumenta progresivamente de 1 hasta 20 Mg.ha⁻¹.

Índice de nutrición nitrogenada (INN): se calculó como el cociente entre la concentración de N total de la biomasa acumulada experimental y la concentración de N crítico (*N_c*) que corresponde a la cantidad de biomasa experimental medida en el último corte. Para valores de INN cercanos a 1 se considera un adecuado estado de nutrición nitrogenada, valores menores indican nutrición limitada, y valores mayores a 1 exceso de nutrición (Marino *et al.*, 2004).

Los INN de los tratamientos se analizaron mediante ANOVA y las medias de cada uno de ellos fueron comparadas con test de DGC (alfa=0,05).

A partir de la concentración de N en planta (%N) se elaboraron las curvas de acumulación de Nexp (kg.ha⁻¹) en relación con los GDC, usando la curva de crecimiento de Gompertz (Archontoulis y Miguez, 2013) para su mejor ajuste. Todos los análisis estadísticos se realizaron con el software InfoStat/P (V. 2012).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Acumulación de N en planta y CDN teórica y experimentales

Al utilizar la ecuación propuesta por Lemaire y Salette (1984 a, b) se obtuvieron las curvas experimentales y teórica para las estaciones primavera y verano, que abarcan el ciclo de crecimiento de *Digitaria* (figura 1 y 2). Los coeficientes *a* y *b* y el coeficiente de determinación de dichas curvas se observan en la tabla 3.

El aporte de nitrógeno al suelo aumentó la concentración de nitrógeno en la biomasa aérea para los dos ciclos y las dos estaciones estudiadas. Los valores más bajos de acumulación de N se encontraron en los tratamientos que no recibieron N, tanto en CN como en CC. En primavera la acumulación varió entre 10,4 y 26,9 kg N.ha⁻¹, mientras que en verano la acumulación osciló entre de 10,6 y 27,8 kg de N.ha⁻¹ (figura 1 y 2). Los valores más altos se encontraron en los tratamientos con 300 kg N.ha⁻¹. Marino *et al.* (2004) obtuvieron CDN muy similares para raigrás anual, donde comparó las curvas con una CDN de referencia, al variar los aportes de N al suelo entre 0 y 250 kg de N.ha⁻¹.

En primavera, las curvas correspondientes a las cinco condiciones evaluadas se ubicaron por debajo de la curva teórica (CDN_t). Las dos situaciones más próximas a la CDN_t correspondieron a las curvas de CC300 y CC150 (figura 1). En verano, CC300 y CC150 superaron en un tramo a la CDN_t. Esto indica que una mayor disponibilidad de N

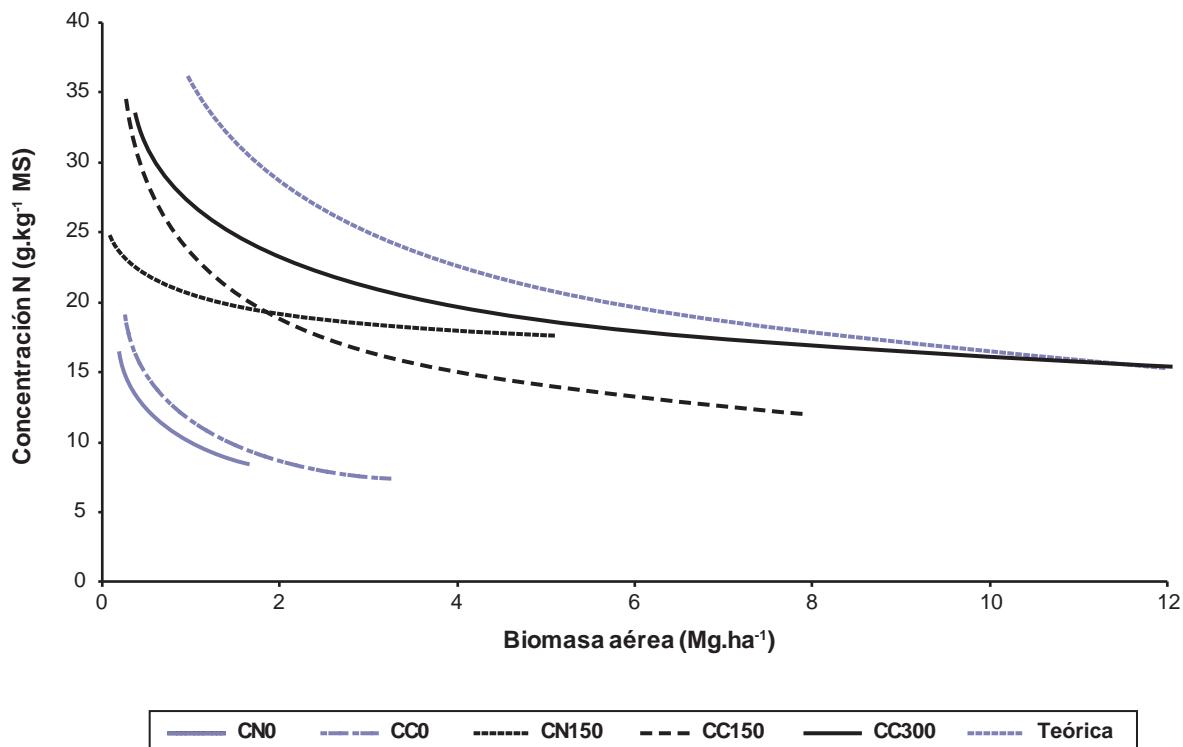


Figura 1. Curvas de dilución de nitrógeno en planta entera para primavera (2007 y 2008).

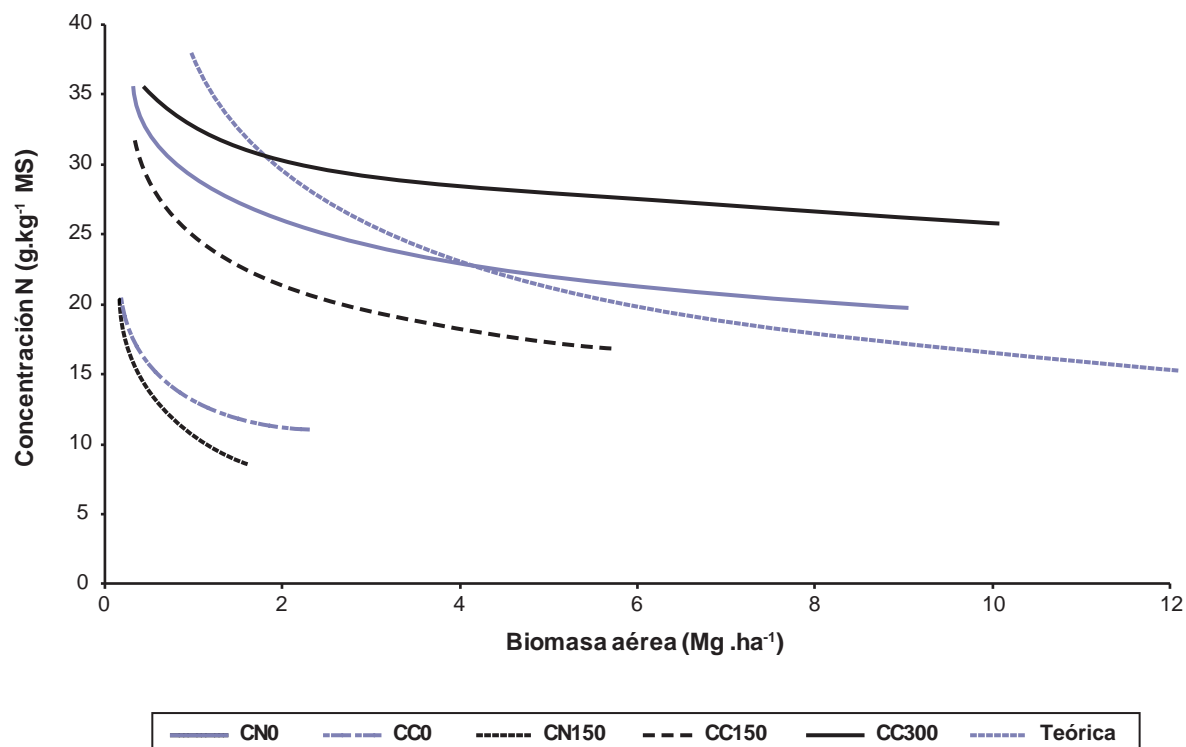


Figura 2. Curvas de dilución de nitrógeno en planta entera para verano (2007-08 y 2008-09).

Tratamiento	A	b	R ²
Primavera			
CN0	10	-0,306	0,53
CC0	11	-0,367	0,48
CN150	23	-0,32	0,60
CC150	20	0,088	0,10
CC300	27	0,225	0,54
Verano			
CN0	11	-0,335	0,46
CC0	13	-0,2	0,30
CN150	24	-0,205	0,33
CC150	27,91	-0,162	0,14
CC300	31	-0,092	0,12

Tabla 3. Coeficientes a y b para las CDN experimentales y coeficiente de determinación de la ecuación de Lemaire y Salette (2008).

en verano sería más aprovechable por la planta que en primavera, ya que la concentración de N en planta aumenta a iguales condiciones de disponibilidad edáfica de N (figura 2). La *Digitaria*, como toda C4, se comporta con mayor eficiencia en condiciones ambientales propias del verano, como la mayor radiación fotosintéticamente activa. Esta mayor eficiencia se traduce en una mayor acumulación de biomasa y de N que en primavera.

Tanto en primavera como en verano las curvas con menores aportes de N (CN0 y CC0) fueron las que produjeron menor biomasa aérea, aún con adecuada disponibilidad hídrica. Sin embargo, con niveles no limitantes de N el agua pasa a ser el factor limitante (CN150).

Los bajos valores de R² de algunos tratamientos se debieron a la variabilidad encontrada para la acumulación de biomasa dentro de cada uno de esos tratamientos.

Índice de nutrición nitrogenada (INN)

La tabla 4 muestra las diferencias en el INN para las cinco condiciones evaluadas en los cuatro ciclos de crecimiento. El INN varió desde 0,2 a 1,55.

En primavera, para ambos ciclos, los tratamientos estuvieron limitados por N, aunque CC300 se acercó al estado óptimo de nutrición (tabla 4). En el verano de ambos ciclos CC300 no estuvo limitado por N mientras que CN150 alcanzó el óptimo en el primer año; en cambio, en el segundo año estuvo muy por debajo de este (tabla 4). Esto es debido a que los tratamientos CN están más afectados por las condiciones naturales, mientras que los CC tienen valores más estables durante los distintos ciclos.

Por una parte, estos resultados concuerdan con lo esperado para cultivos C4. Ziadi *et al.* (2008) estudiaron la CDN y el INN para maíz en primavera utilizando 6 niveles de fertilización de N e informaron que con fertilizaciones de 20, 40 y 100 kg de N.ha⁻¹ se obtuvieron INN inferiores a 1, pero con aportes de 150 y 200 kg de N.ha⁻¹ se obtuvieron

Primavera				
ciclo	2007		2008	
Tratamiento	Biomasa (Mg.ha ⁻¹)	INN	Biomasa (Mg.ha ⁻¹)	INN
CN0	1,2	0,26d ±0,01	1,4	0,27d ±0,01
CN150	1,7	0,76c ±0,17	0,4	0,65c ±0,13
CC0	2,8	0,39d ±0,01	1,7	0,27d ±0,02
CC150	5,8	0,63c ±0,01	6,9	0,56c ±0,02
CC300	9,9	0,90c ±0,33	7,1	0,86b ±0,06
Verano				
ciclo	2007-08		2008-09	
CN0	0,8	0,45d ±0,13	1,4	0,25d ±0,04
CN150	3,6	1,07b ±0,06	4,9	0,63c ±0,02
CC0	1,4	0,40d ±0,08	1,1	0,28d ±0,02
CC150	6,7	1,23b ±0,06	7,1	0,69c ±0,11
CC300	8,9	1,55a ±0,13	8,8	1,08a ±0,07

Tabla 4. Índice de nutrición nitrogenada (INN) para las cuatro estaciones de crecimiento evaluadas (media y desvío estándar) para cada condición.

Letras distintas representan diferencias significativas (test DGC, $p < 0,05$) por ciclo para INN.

valores alrededor de 1. Por otra parte, Li *et al.* (2012) trabajaron en maíz para determinar CDN e INN utilizando 6 niveles de N, de 0 a 350 kg N.ha⁻¹, durante la primavera y encontraron valores de INN superiores a 1 en aplicaciones de 210 y 280 kg de N.ha⁻¹.

Acumulación de N en biomasa aérea y grados diarios de crecimiento (GDC)

Para evaluar la dinámica del N durante el ciclo de crecimiento de *Digitaria eriantha* se relacionó la acumulación de N en biomasa con los GDC. Esta relación puede observarse en las figuras 3 y 4. Las curvas de acumulación de N en planta entera en función de los GDC presentaron mejor ajuste con la función sigmoidea de Gompertz.

La acumulación de nitrógeno se incrementó con la acumulación de temperatura tanto en primavera como en verano, pero no de igual forma. Mientras que los tratamientos sin limitantes de agua y N respondían a la mayor acumulación de temperatura, los tratamientos en condiciones naturales no se mostraban muy afectados por esta variable. En primavera, la acumulación de N fue mayor en el primer año que en el segundo para los tratamientos con aporte de N, y en verano del primer año se observa mayor acumulación de N en los tratamientos sin limitantes de N.

Los valores observados en las curvas son similares en ambas estaciones y ciclos, siendo alrededor de 500 GDC donde se alcanzan los mayores valores de concentración de N. Alrededor de este valor, las curvas alcanzan una meseta, lo que indica una menor tasa de crecimiento a partir de 500 GDC (figura 3 y 4).

La respuesta de *Digitaria* a la acumulación de grados días, según la condición hídrica del suelo, también fue observada en otras gramíneas C4, como lo reportado por Ferri (2011) quien estudió la acumulación de biomasa aérea en relación con la suma térmica y la variabilidad de las precipitaciones en pasto Klein (*Panicum coloratum*), donde la acumulación de MS fue menor en la condición seca que en la condición lluviosa.

En *Digitaria*, la acumulación de GDC también afecta a otras variables morfológicas. Borcosqui y Privitello (2014) relacionaron longitud foliar con GDC y precipitaciones acumuladas, concluyendo que GDC fue el factor que mejor explicó la variación en la longitud foliar.

Los tratamientos que no recibieron aportes de N, CN0 y CC0, no lograron alcanzar niveles suficientes de acumulación nitrogenada en planta.

El tratamiento potencial, C300, alcanzó la más alta acumulación de N. Además se diferenció significativamente del resto de los tratamientos en tres de los cuatro períodos evaluados, primavera 07-08 y 08-09 y en verano 08-09. En verano 07-08, CC300 y CC150 no mostraron diferencias con significancia estadística; en cambio, en el verano 08-09 resultaron diferentes (tabla 5). Estos resultados se debieron a que en el verano 07-08 las precipitaciones fueron más altas que en el siguiente (tabla 2). En el resto de las estaciones, CC150 y CN150, no se diferenciaron estadísticamente, mostrándose como situaciones intermedias entre la potencial y las situaciones con restricciones de N, CC0, o de N y agua, CN0.

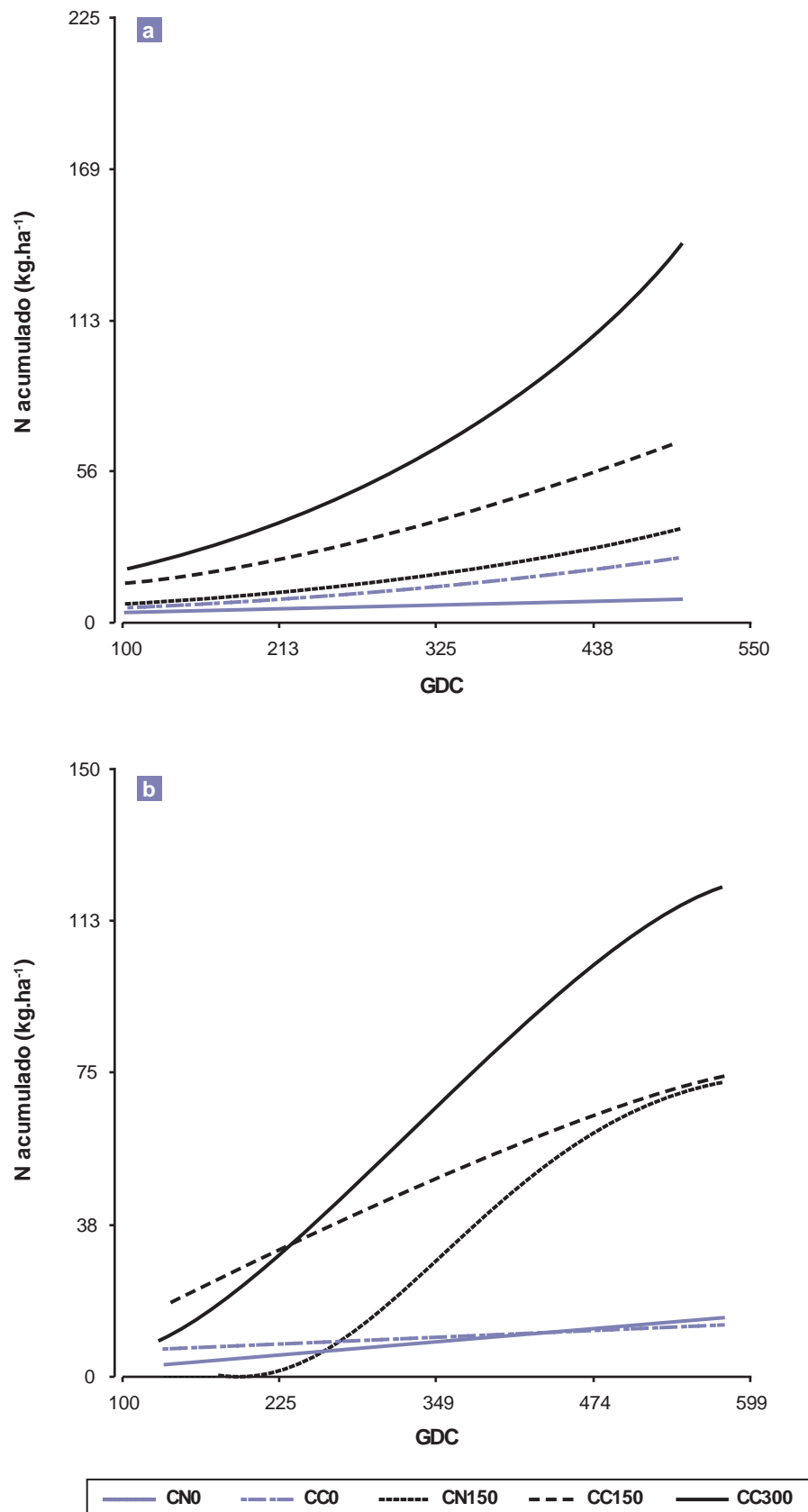


Figura 3. Curvas de acumulación de N en función de la temperatura acumulada (GDC) para primavera 2007 (a) y primavera 2008 (b)

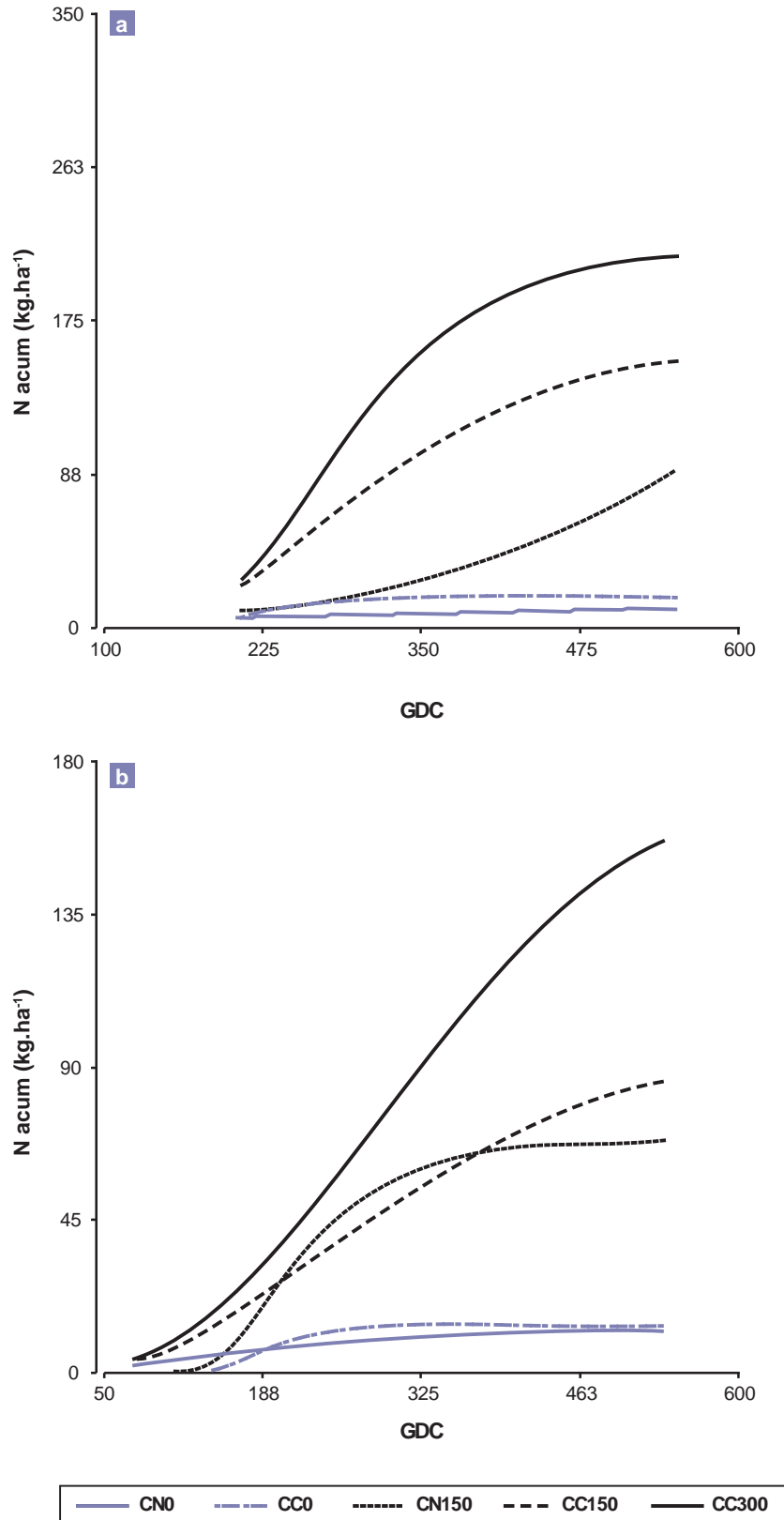


Figura 4.Curvas de acumulación de N en función de la temperatura acumulada (GDC) para verano 2007-08 (a) y verano 2008-09 (b).

Primavera				
ciclo	2007		2008	
Tratamiento	GDC (°C)	N acum (kg.ha ⁻¹)	GDC (°C)	N acum (kg.ha ⁻¹)
CN0	499,8	10,4b ± 0,9	576,6	12,1c ± 1,7
CN150		39,3b ± 11,3		66,0b ± 16,7
CC0		26,9b ± 4,1		13,4c ± 4,1
CC150		72,2b ± 1,9		72,0b ± 12,6
CC300		148,6a ± 69,5		112,4a ± 9,6
Verano				
ciclo	2007-08		2008-09	
CN0	548,4	13,3c ± 5,7	534,5	10,9c ± 2,8
CN150		89,5b ± 1,5		63,6b ± 7,5
CC0		17,8c ± 9,3		10,7c ± 0,7
CC150		155,9a ± 3,2		91,4b ± 36,7
CC300		173,9a ± 46,0		163,0a ± 2,4

Tabla 5. Acumulación de nitrógeno en planta (N, kg.ha⁻¹) y grados diarios de crecimiento (GDC, °C) en una pastura de *Digitaria eriantha* en Villa Mercedes, San Luis. Media y desvío estándar para cada ciclo, estación y última fecha de determinación.

Letras distintas representan diferencias significativas (test DGC, p<0,05) por ciclo para Nacum.

CONCLUSIONES

Las curvas de dilución nitrogenada estimadas en este trabajo para *Digitaria eriantha* en San Luis informan acerca del gradiente que ocurre desde una condición natural de disponibilidad hídrica y nitrogenada en el suelo hasta la condición potencial, pasando por situaciones intermedias, y en dos estaciones de crecimiento para representar la influencia del efecto de variables ambientales como precipitación y temperatura.

Además, se estimaron índices de nutrición nitrogenada para esta especie, diferenciando por gradientes de aportes hídricos, nitrogenados y variables ambientales (primavera y verano). Un elevado aporte de nitrógeno provoca la sobre nutrición de la pastura (INN mayores a 1). Se confirma que aportes de N sin adecuada disponibilidad hídrica no provocan aumentos de acumulación de N ni mejoran el INN.

Con respecto a la relación de la acumulación de N con la acumulación de temperatura a través de cada uno de los ciclos de crecimiento, en este trabajo se cuantifican los GDC (500 °C) necesarios para alcanzar la meseta de acumulación de N en planta.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó con la financiación del proyecto INTA-AEFP52-26292 "Producción, calidad y manejo sustentables de las pasturas templadas y megatérmicas". Agradecemos a Mónica Agnusdei (EEA INTA Balcarce)

por acompañar el proceso de ejecución de los ensayos, a Verónica Casado (AER INTA Delta) y a Luciana Martínez Calsina (INTA IIACS) por el apoyo brindado.

BIBLIOGRAFÍA

- ARCHONTOULIS, S.V.; MIGUEZ, F.E. 2015. Nonlinear Regression Models and Applications in Agricultural Research. *Agronomy Journal* 105 (2) 786–798.
- BORCOSQUI, A.A.; PRIVITELLO, M.J.L. 2014. Análisis morfo-genético a nivel de macollo de *Digitaria eriantha* Steudel subesp. *eriantha* en el semiárido sanluiseño. Trabajo final. Director: Privitello, M.J.L. Fac. Ing y Cs. Agrop. UNSL.
- BREMNER, J.M. 1965. Total nitrogen. En: Black, C (ed.) *Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy 9. Am. Soc. Agron. Wisconsin, EE. UU.* pp. 1149–1177.
- COLNENNE, C.; MEYNARD, J.M.; REAU, R.; JUSTES, E.; MERRIEN, A. 1998. Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter oilseed rape. *Annals of Botany*, 81: 311-317.
- DA SILVA, E.A.; DA SILVA, W.J.; BARRETO, A.C.; BARBOSA DE OLIVEIRA JR., A.; VALENTE PAES, J.M.; MENDES RUAS, J.R.; SÁVIO QUEIROZ, D.M. 2012. Dry matter yield, thermal sum and base temperatures in irrigated tropical forage plants. *R. Bras. Zootec.*, v. 41, n.º 3, pp. 574-582.
- DI RIENZO, J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZÁLEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C.W. 2012. InfoStat versión 2012. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- DO NASCIMENTO JR, D. y ADESE, B. 2004. Acumulo de biomasa na pastagem. II Simpósio sobre manejo estratégico da pastagem, UFV, Vicosas, Brasil.

- DURAND, J.L.; GONZÁLEZ-DUGO, V.; GASTAL, F. 2010. How much do water deficits alter N nutrition status of forage crops? *Nutrient Cycling Agroecosystem* 88: 231–243.
- FERRI, C.M. 2011. Patrones estacionales e interanuales de acumulación de biomasa y proteína bruta en mijo perenne (*Panicum coloratum*), en la región Pampeana semiárida central de Argentina. *Ciencia e investigación agraria*, 38(2):191-198. *Ciencia e investigación agraria*, 38(2):191-198. (Disponible: www.rcia.uc.cl verificado: octubre de 2014).
- FRASINELLI, C.A.; VENECIANO, J.H. (ed). 2014. *Sistemas bovinos sobre gramíneas megatérmicas perennes en San Luis*. Ediciones INTA 2014, pp. 9–10.
- GREENWOD, D.J.; LEMAIRE, G.; GOSSE, G.; CRUZ, P.; DRAYCOTT, A.; NEETESON, J.J. 1990. Decline in percentage N of C3 and C4 crops with increasing plant mass. *Ann. Bot.* 66,425–436.
- JUSTES, E.; MARY, B.; MEINARD, J.M.; MACHET, J.M.; THELIER-HUCHE, L. 1994. Determination of a critical nitrogen dilution curve for winter wheat crops. *Annals of Botany*, 74: 397–407.
- LAFITTE, H.R. 2001. Fisiología del maíz tropical. En: PALIWAL, R.L.; GRANADOS, G.; LAFITTE, H.R.; VIOLIC, A.D. (Ed.) *El maíz en los trópicos: Mejoramiento y producción*. Núm: X7650 ISBN:9253044578 ISSN: 1014-3041 FAO Plant Production and Protection Series, Versión: 28, (disponible en: <http://www.fao.org/docrep/003/x7650s/x7650s05.htm> verificado: noviembre de 2014).
- LEMAIRE, G.; JEUFFROY, M.H.; GASTAL, F. 2008. Diagnosis tool for plant and crop N status in vegetative stage. Theory and practices for crop N management. *European Journal of Agronomy*, 28, pp. 614–624.
- LEMAIRE, G.; GASTAL, F. 1997. N uptake and distribution in plant canopies. En LEMAIRE, G. (Ed.) *Diagnosis of the nitrogen status in crop*. Springer-Verlag, pp 3–43.
- LEMAIRE, G.; SALETTE, J. 1984. Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prélèvement d'azote pour un peuplement de graminées fourragères. I. Etude de l'effet du milieu. *Agronomie* 4: 423–430.
- LEMAIRE, G.; SALETTE, J. 1984. Relation entre dynamique de croissance et dynamique de prélèvement d'azote pour un peuplement de graminées fourragères. II. Etude de la variabilité entre genotypes. *Agronomie* 4: 431–436.
- LEMAIRE, G. 2001. Ecophysiology of grasslands: dynamic aspects of forage plant populations in grazed swards. *Journal International Grassland Congress*, volume 19, pp. 29–37.
- MARINO, M.A.; MAZZANTI, A.; ASSUERO, S.G.; GASTAL, F.; ECHEVERRIA, H.E.; ANDRADE, F. 2004. Nitrogen dilution curves and Nitrogen use efficiency during winter-spring growth of annual Ryegrass. *Agronomy Journal*, 96: 601–607.
- MONTGOMERY, D.C. 1991. *Diseño y análisis de experimentos*. Grupo editorial Iberoamérica S. A. de C. V. pp. 393–408.
- MORALES, A.A. 1998. *Morfogênese e repartição de carbono em Lotus corniculatus L cv. São Gabriel sob o efeito de restrições hídricas e luminosas*. Tese (Mestrado em Zootecnia) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. UFRGS, 1998, p. 74.
- PEÑA ZUBIATE, C.A.; D'HIRIART, A. 2000. *Carta de suelos de la República Argentina*. Hoja Villa Mercedes. Provincia de San Luis. INTA y Gobierno de la Pcia. de San Luis. Escala 1:100000.
- PLÉNET, D.; LEMAIRE, G. 2000. Relationships between dynamics of nitrogen uptake and dry matter accumulation in maize crops. Determination of critical N concentration. *Plant and soil*, 216, pp. 65–82.
- PRIVITELLO, M.J.L.; GABUTTI, E.G. 2004. *Producción y calidad nutricional de forrajeras cultivadas y nativas del semiárido sanluiseño*. ISBN 987-43-7875-1.
- VENECIANO, J.H. 2006. *Gramíneas estivales perennes para ambientes semiáridos: Características y productividad*. Información técnica n.º 171, EEA INTA San Luis, p. 84.
- ZIADI, N.; BRASSARD, M.; BÉLANGER, G.; CAMBORIUS, A.N.; TREMBLAY, N.; NOLIN, M.C. CLAESSENS, A.; PARENT, L.E. 2008. Critical nitrogen curve and nitrogen nutrition index for corn in Eastern Canada. *Agronomy Journal*, 100: 271–276.