

Efecto del agregado de fósforo y nitrógeno en el crecimiento de cultivos de alfalfa en rebrotes de primavera y verano en un suelo vertisol de Entre Ríos

SEVILLA, G.H.¹; AGNUSDEI, M.G.²

RESUMEN

Se analizó el efecto de P y N sobre la acumulación de biomasa (AB) primavero-estival (pri06-ver07) de alfalfa (grado de reposo 6) en un suelo vertisol en la provincia de Entre Ríos. En un diseño en bloques completos al azar ($n = 2$) se aplicaron cada otoño 0 o 100 kg P ha⁻¹ y a principio de pri06 y ver07 0 o 150 kg N ha⁻¹, resultando las combinaciones: 0P0N (condición natural), 100P0N (P no limitante) y 100P150N (P-N no limitantes). Se determinó: AB aérea total y de las fracciones hoja y tallo mediante cortes desfasados sobre parcelas independientes y porcentaje de radiación fotosintéticamente activa interceptada (%RFAi). Se ajustaron funciones lineales entre AB y RFAi acumulada para estimar la eficiencia de uso de la radiación (EUR), sigmoideas entre AB y tiempo térmico (TT) y polinómicas entre % RFAi-TT, y AB de hojas y AB de tallos. Los datos se procesaron por ANOVA y Tukey ($\alpha = 0,05$) mediante SAS. El balance hídrico fue generalmente negativo y menor en ver07. La AB máxima se alcanzó ~500 °Cd en 100P0N-100P150N, con tasas de crecimiento (TC) máximas en pri06 de 0,42-0,45 g MS m⁻² °Cd⁻¹, respectivamente. Las TC promedio de pri06 casi duplicaron las de ver07. La EUR para 100P0N-100P150N (0,60 g MS MJ⁻¹) promedió un tercio del potencial esperable para la especie. El %hoja de 100P0N-100P150N en pri06 se estabilizó en ~50% en yema floral temprana (~500 °Cd, 13-14 nudos o máximo %RFAi), manteniéndose relativamente constante en ~50% en el resto de los tratamientos. La AB de hojas no aumentó por encima de 90 g MS tallo m⁻². Independientemente del nivel de nutrientes, 500 °Cd sería el intervalo máximo de pastoreo para evitar pérdidas por senescencia y favorecer el estado fisiológico de las pasturas durante primavera-verano. Se aportan parámetros ecofisiológicos localmente inéditos para la toma de decisiones de manejo, la modelación, como para conocer el potencial productivo de alfalfa en la región.

Palabras clave: *Medicago sativa*, acumulación de biomasa, EUR, nutrientes.

ABSTRACT

The effect of soil P and N availability on the spring-summer (spr06 – sum07) biomass accumulation (BA) of alfalfa (dormancy group 6) in a Vertisol soil was evaluated. In a complete randomized block design ($n = 2$) dressings of 0 or 100 kg P ha⁻¹ each autumn and 0 or 150 kg N ha⁻¹ were applied at the beginning of spr06 and sum07, resulting in the combinations: 0P0N (natural condition), 100P0N (P non-limiting) and 100P150N (P-N non-limiting). Aerial BA and leaf - stem composition in successive harvests on independent plots, % intercepted photosynthetically active radiation (PARi) were determined. Lineal fits were performed for radiation

¹INTA - Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Concepción del Uruguay. CC 6, CP 3260 Concepción del Uruguay, Argentina. Correo electrónico: sevilla.gabriel@inta.gob.ar

²INTA - EEA Balcarce. CC 276, CP 7720 Balcarce, Argentina. agnusdei.monica@inta.gob.ar

use efficiency (RUE) estimation. Curvilinear functions were adjusted to describe the associations between the following variables BA and thermal time (TT), % PARI and TT, leaves and stems BA. Data were processed by ANOVA and Tukey ($\alpha = 0.05$) using SAS. The water balance was generally negative and lower in sum07. BA ceiling was reached ~ 500 °Cd in 100P0N-100P150N, with maximum growth rates (GR) of 0.42-0.45 g DM m⁻² °Cd⁻¹ during spr06, respectively. Average spr06 GR almost doubled those of sum07. The RUE for 100P0N-100P150N (0.60 g DM MJ⁻¹) averaged one-third of the expected potential for the species. The %leaf of 100P0N-100P150N decreased to a plateau of $\sim 50\%$ at "early bud stage" (~ 500 °Cd, 13-14 nodes, or maximum %PARI) during spr06, whereas stayed relatively stable at $\sim 50\%$ in the rest of the treatments. The BA of leaves did not increase above 90 g stem DM m⁻². Regardless of the level of nutrients, 500 °Cd would be the maximum grazing interval recommended to prevent senescence losses and favor pasture physiology during spring-summer. Locally original ecophysiological parameters applicable for management decisions and modeling purposes, as well as to better understand the productive potential of alfalfa in the region are provided.

Keywords: *Medicago sativa*, biomass accumulation, RUE, nutrients.

INTRODUCCIÓN

La generación de conocimientos sobre la incidencia del ambiente en la producción de alfalfa es clave para elaborar criterios de manejo que mejoren el desempeño y la persistencia del cultivo. Según Collino (2008), el potencial productivo de alfalfa en suelos de buena aptitud en Argentina se encontraría generalmente limitado por la radiación, la temperatura y el agua en un amplio rango de condiciones climáticas, con niveles de eficiencia de uso de la radiación (EUR) que serían al menos un 30% inferiores al potencial esperable para la especie (Collino *et al.*, 2005; Teixeira *et al.*, 2007a b c y 2008). Hasta lo que conocemos no se dispone de información local equivalente para suelos con restricciones como los vertisoles, donde se cultiva la especie. Las principales limitantes que presentan los vertisoles se relacionan a una alta proporción de arcillas expansibles que confieren baja capacidad de retención e infiltración del agua y que, además, impiden el normal desarrollo de las raíces en el perfil del suelo (IUSS Grupo de Trabajo WRB, 2007).

Para un ambiente determinado, después de la deficiencia hídrica, el fósforo (P) y el nitrógeno (N) son frecuentemente los factores que más condicionan la producción forrajera. Ambos nutrientes se hallan relacionados por el efecto negativo que ejerce la carencia de P sobre la fijación atmosférica de N. La alfalfa es altamente demandante en P, situación que se acentúa en suelos vertisoles por el bajo contenido natural de P que poseen y por la alta fijación a las arcillas (Aydinalp, 2010). Se estima que en Entre Ríos se requeriría fertilizar a la siembra con ~ 30 kg P ha⁻¹ para maximizar la producción de la leguminosa (Quintero *et al.*, 1997). Por su parte el N, regulado por múltiples factores ambientales y de manejo, guarda una estrecha asociación con el N crítico, índice que permite estimar el grado de nutrición nitrogenada durante el crecimiento de los cultivos (Gastal y Lemaire, 2002). En lo referente a la distribución del N en la planta, es interesante la respuesta plástica verificada bajo competencia por luz (Lemaire *et al.*, 2005). En condiciones de sombreado, la planta disminuye tanto su contenido de N como su relación hoja:tallo, lo

que le permite alcanzar niveles superiores del canopeo más iluminados.

En cuanto al manejo de la defoliación, las experiencias desarrolladas se han basado en la aplicación de frecuencias fijas de cosecha del forraje acumulado. En general, los resultados de este tipo de ensayos muestran una asociación negativa entre defoliaciones más frecuentes y la acumulación de reservas carbonadas y nitrogenadas, hecho que se traduce en una reducción de la producción de biomasa total de los rebrotes (Ventroni *et al.*, 2010). Sin embargo, ensayos donde se despejaron los efectos estacionales sobre la acumulación de reservas y la frecuencia de defoliación revelaron que el fotoperíodo y la temperatura pueden incidir más que el manejo sobre las respuestas de las pasturas en algunos períodos (Teixeira *et al.*, 2007a b y c y 2008). En el otoño, por ejemplo, la caída de las temperaturas y el acortamiento del fotoperíodo reducen el crecimiento y generalmente favorecen la acumulación de reservas carbonadas. En primavera, en cambio, las pasturas pueden alcanzar rápidamente un elevado volumen de forraje aún sin haber iniciado la floración. En este contexto, los criterios modernos de manejo de alfalfa proponen que en los períodos de activo crecimiento los ritmos de defoliación se basen preferentemente en la dinámica de crecimiento de las pasturas, teniendo en cuenta indicadores ecofisiológicos como la acumulación térmica y el nivel de interceptación lumínica, en lugar de criterios de desarrollo como la floración o la aparición de yemas basales (Moot *et al.*, 2003).

El objetivo del trabajo fue analizar la dinámica de acumulación de biomasa (AB) en secano de pasturas de alfalfa grado de reposo (GR) 6 bajo diferentes condiciones de disponibilidad de P y N en un suelo vertisol durante la primavera del 2006 (pri06) y el verano del 2007 (ver07). El enfoque analítico se basó en la cuantificación de los componentes ecofisiológicos de la producción de biomasa [radiación fotosintéticamente activa interceptada (RFAi) y EUR], y su asociación con la fenología y el tiempo térmico (TT). Se incluyó un tratamiento en condiciones aproximadamente no limitantes de P y N como punto de referencia. El agregado de N tuvo por finalidad evitar restricciones de

nutrición nitrogenada resultantes de deficiencias no controlables en la fijación simbiótica.

Tanto por el abordaje metodológico como por el ambiente del estudio, los datos obtenidos son inéditos para el área. Estos constituyen el primer paso tendiente a conocer y aprovechar el potencial ecológico de la región para la producción de forraje de alfalfa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se trabajó en la EEA INTA - Concepción del Uruguay (32° 29'S 58° 20' W y 25 m.s.n.m.) sobre un suelo Pelluderte típico con 4,2% de P extractable, 3,5% de materia orgánica (MO) y 6,5 de pH. Hubo dos períodos experimentales: la primavera del 2006 (pri06, del 16-08-06 al 24-10-06) y el verano del 2007 (ver07, del 22-01-07 al 13-03-07).

La temperatura media ($t^{\circ}m$), las precipitaciones (Pp) y la evapotranspiración potencial de Penman (ETP) entre abril 2006-marzo 2007 y el promedio histórico 1980-2007 de estas variables se obtuvieron a 5 km del ensayo. La $t^{\circ}m$ durante el experimento ($18,1 \pm 1,34$ °C) fue similar al promedio histórico ($17,8 \pm 0,08$ °C), mientras que las Pp ($1409 \pm 28,6$ mm frente a $1152 \pm 48,1$ mm) y la ETP ($1364 \pm 15,0$ mm frente a $1209 \pm 20,0$ mm) fueron superiores durante el estudio.

El balance hídrico (diferencia acumulada Pp-ETP) fue negativo por falta de Pp durante más del 80% del tiempo durante la pri06 y ver07 (figura 1). Aunque en la pri06 el déficit hídrico promedio estimado no fue extremo (-56 mm

frente a ~ 20 mm para el promedio histórico 1980-2007), su severidad queda reflejada por la caída consistente hasta niveles extremos (~ 100 mm) propios del verano.

El 26-04-05 (otoño) se sembraron 20 kg ha^{-1} de semilla viable peleteada de alfalfa "ProINTA Luján" (GR 6), en líneas distanciadas a 0,20 m. En un diseño en bloques al azar ($n= 2$) se impusieron los tratamientos de fertilización 0P0N (condición natural), 100P0N (corrección de la deficiencia de P) y 100P150N (P y N no limitantes), resultantes de la aplicación anual cada otoño de 0 o 100 kg P ha^{-1} y 0 o 150 kg N ha^{-1} al inicio de los rebrotes de pri06 y ver07. Conceptualmente, las combinaciones de P y N que se generaron, tuvieron por objetivo evaluar el efecto del P (0P0N frente a 100P0N) y el efecto del N una vez corregida la deficiencia de P (100P0N frente a 100P150N).

La acumulación de biomasa aérea (AB) de materia seca (MS, g MS m^{-2}) se determinó sobre los 5,6 m^2 centrales de parcelas independientes de 9 m^2 mediante cortes desfases entre una y dos semanas a partir de los cortes iniciales de homogeneización el 16-08-06 en pri06 y el 22-01-07 en ver07. Se efectuaron cinco cortes en primavera y cuatro en verano con motosegadora manual, dejando una altura de rastrojo remanente de 2,5 cm. Los tres primeros cortes en primavera y dos primeros en verano se hicieron en estado vegetativo, el cuarto de primavera y tercero de verano en yema floral temprana —"early bud stage"— (Kalu y Fik, 1981) y el quinto de primavera y cuarto de verano en plena floración. Simultáneamente se sacaron dos muestras, una para estimar MS y otra para determinar composición en hoja y tallo.

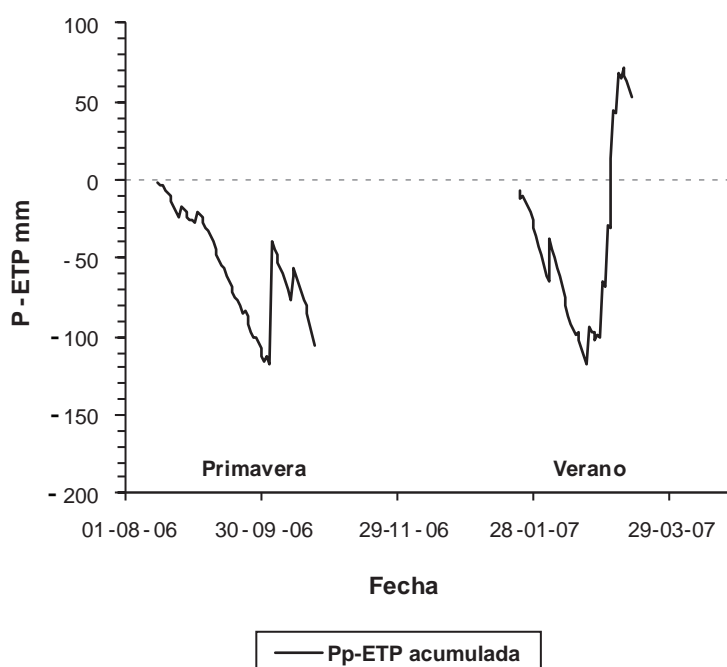


Figura 1. Diferencia acumulada entre las precipitaciones (Pp) y la evapotranspiración potencial de Penman (ETP) en los períodos de primavera (agosto-octubre 2006) y verano (enero-marzo 2007).

Se calculó el porcentaje de radiación fotosintéticamente activa interceptada (%RFAi) como $\%RFAi = \{RFA_0 - [(RFA_{n_1} + RFA_{n_2} + RFA_{n_3})/3]\} \times 100 / RFA_0$, usando la radiación fotosintéticamente activa (400-700 nm) incidente (RFA_0) y difusa no interceptada en la base del canopy por encima del material muerto (RFA_{ni}), medida mediante un sensor CAVA BAR-RAD (Cavadevices.com) semanalmente a las 12 h. En cada muestreo se realizó una medición de RFA_0 y tres de RFA_{ni} por parcela. Considerando una relación lineal RFAi-tiempo, la RFAi acumulada en cada rebrote ($MJ\ m^{-2}$) se calculó como: $\sum (\%RFAi\ diaria \times RFA)$, donde RFA= Radiación Global $\times 0,48$ (Gosse *et al.*, 1986).

Se ajustaron curvas sigmoideas de AB-TT (temperatura base 5 °C) según la ecuación $y = a / \{1 + \exp[-(x-b)/c]\}$, donde a = asíntota superior, b = punto de inflexión y c = asíntota inferior. A partir de sus derivadas primera y segunda, se determinaron la duración (°Cd) y las tasas de crecimiento (TC, $g\ MS\ m^{-2}\ ^\circ Cd^{-1}$) de las fases retardada o exponencial (*lag*) y lineal o de TC máximas. Se ajustaron funciones polinómicas de segundo grado para la relación %RFAi-TT y de tercer grado para la relación biomasa de hojas-biomasa de tallos. Se estimó la EUR ($g\ MS\ MJ^{-1}$) como la pendiente de regresiones lineales $y = a + b \times x$ entre la $\sum RFAi$ (x) y la AB (y) en cada fecha de muestreo. La pendiente no se forzó por el origen dado que la ordenada al origen (a) difirió de cero en tres de las ecuaciones. Las variables TT, TC y %RFAi máxima ($n = 2$) se analizaron con ANOVA y pruebas de comparaciones múltiples de Tukey

($\alpha = 0,05$). Los modelos y coeficientes de regresión de la AB-TT, el %RFAi-TT ($n = 10$ en pri06 y $n = 8$ en ver07), la EUR ($n = 8$) y la biomasa de hojas-biomasa de tallos ($n = 54$) se analizaron con un ANOVA (ajuste de los modelos y significancia de los coeficientes de regresión), covarianza (paralelismo de los b) y contrastes ortogonales (tres o más b , $\alpha = 0,05$). Todos los análisis se realizaron utilizando el paquete estadístico SAS (SAS, 2008).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Acumulación de biomasa

La AB fue adecuadamente descrita por funciones sigmoideas (figura 2 a y b). El agregado de P (100P0N frente a 0P0N) afectó significativamente la AB final aumentándola en un 74% y 34% para pri06 (figura 2a) y ver07 (figura 2b), respectivamente. La deficiencia de P es característica de los vertisoles de Entre Ríos (Quintero *et al.*, 2000), siendo sus formas inorgánicas uno de los nutrientes edáficos menos disponibles (Vance *et al.*, 2003).

Por su parte, el agregado de N (100P150N) no mejoró la AB final respecto del tratamiento 100P0N. Ello no indica que ambos tratamientos dispusieron de N en cantidades equivalentes, sino que las pasturas no requirieron más N que el disponible en 100P0N para asistir las demandas de crecimiento en ambas estaciones. Se requieren evaluaciones adicionales sobre contenido de N en planta para analizar en qué medida los bajos niveles de crecimiento

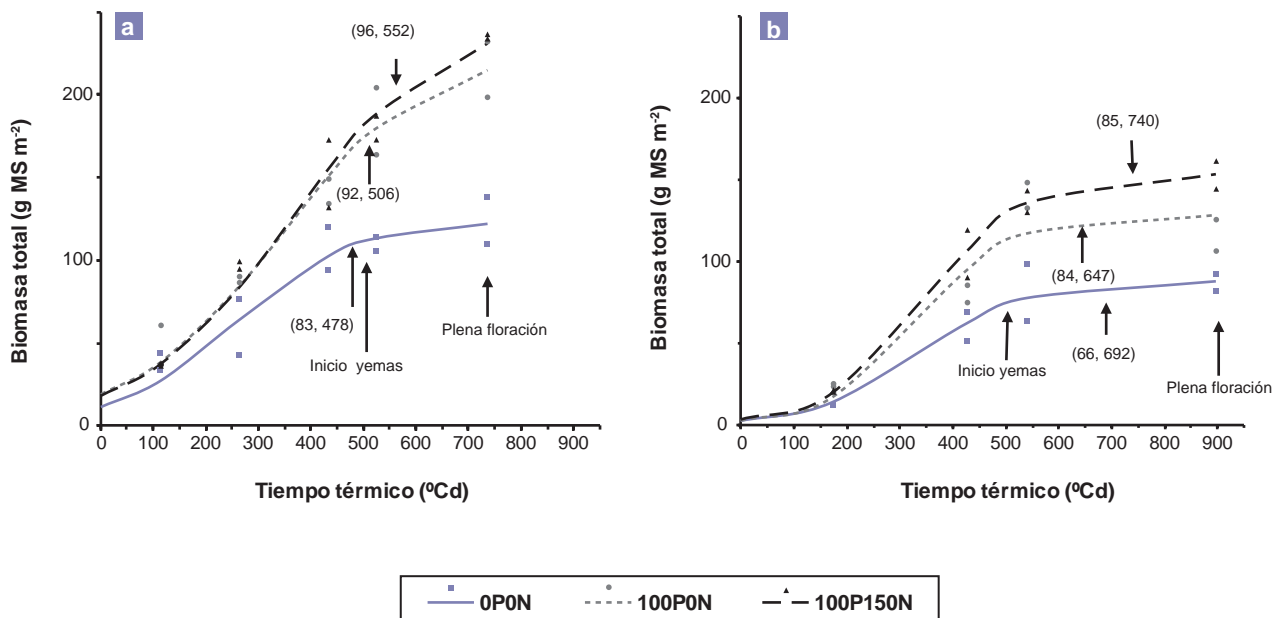


Figura 2. Acumulación de biomasa aérea total ($g\ MS\ m^{-2}$) para las combinaciones de 0 o 150 $kg\ ha^{-1}$ de nitrógeno estacionales y 0 o 100 $kg\ ha^{-1}$ anuales de fósforo (■0P0N, ●100P0N y ▲100P150N) durante el rebrote (°Cd) en primavera (a) y verano (b). Las ecuaciones de ajuste para biomasa total en primavera fueron (figura 2a) 0P0N= $124,1 / \{1 + \exp[-(x-254,6)/112,9]\}$, 100P0N= $227,8 / \{1 + \exp[-(x-337,9)/140,2]\}$, 100P150N= $247,1 / \{1 + \exp[-(x-358,1)/142,4]\}$, y en verano (figura 2b) 0P0N= $88,5 / \{1 + \exp[-(x-338,2)/100,5]\}$, 100P0N= $128,8 / \{1 + \exp[-(x-336,9)/87,1]\}$ y 100P150N= $154,4 / \{1 + \exp[-(x-351,3)/93,2]\}$. El tiempo térmico (°Cd) donde se produce la máxima interceptación de radiación (%RFAi) se indica entre paréntesis (%RFAi, °Cd).

estuvieron asociados a subnutrición nitrogenada y, eventualmente, a limitaciones en la fijación simbiótica.

Las pasturas templadas como la alfalfa requieren entre 100-150 kg de N ha⁻¹ para cubrir sus demandas potenciales para alcanzar la producción techo en un ciclo de rebrote (Lemaire *et al.*, 1992; Agnusdei *et al.*, 2010). De acuerdo con el modelo de dilución de N en planta (Lemaire y Sallette, 1984; Lemaire *et al.*, 1985; Greenwood *et al.*, 1990), la AB esperable si las pasturas hubieran usado alrededor de 150 kg N ha⁻¹, rondaría los 5500 kg MS ha⁻¹. Tomando este nivel de referencia, los valores de AB observados en el experimento (figura 2 a y b) sugieren que el crecimiento de las pasturas durante los rebrotes de pri06 y ver07 estuvo restringido entre dos y cuatro veces, dependiendo del tratamiento y la estación, respecto del potencial alcanzable por la especie bajo óptimas condiciones ambientales.

Estacionalmente, la AB final fue menor en ver07 que en pri06 (figura 2 a y b). En ambas estaciones el balance entre Pp y ETP fue mayormente negativo (figura 1), aunque las menores temperaturas primaverales habrían disminuido la demanda atmosférica en esta estación, provocando una mayor disponibilidad de agua del perfil.

Las restricciones ambientales no solo pueden afectar la producción final de forraje, sino también la dinámica de crecimiento (figura 2). La tabla 1 presenta el tiempo térmico (TT) estimado del arranque del rebrote (fase de crecimiento exponencial) y del período de TC máximas (fase lineal), con sus correspondientes valores de TC. Los tratamientos 100P0N y 100P150N durante pri06 presentaron similar dinámica de crecimiento y un nivel máximo de %RFAi de 94 ± 1,2%. El resto de los casos no alcanzó este nivel de captura de radiación, con valores de 83 ± 3,5, 66 ± 2,8, 84 ± 1,4 y 85 ± 1,4 %RFAi para 0P0N en pri06 y 0P0N, 100P0N y 100P150N en ver07, respectivamente.

Las TC promedio de pri06 fueron 1,7 veces mayores que las de ver07 (0,35 ± 0,002 vs 0,21 ± 0,008, tabla 1). Por su parte, el TT hasta alcanzar 80% de la RFAi en los

tratamientos que luego llegaron a 90-95% de la RFAi fue en promedio ~2,6 veces menor que el resto. Esto muestra que la caída en las TC, tanto por deficiencia de P como hídrica, prolongó más que proporcionalmente el arranque del crecimiento de las pasturas e impidió que estos últimos tratamientos alcanzaran TC máximas. El TT promedio estimado para la fase de las TC máximas de los tratamientos fertilizados en pri06 fue de 383 °Cd. Los restantes tratamientos no alcanzaron a expresar TC máximas, con un TT de 449 °Cd.

Análisis del crecimiento

El análisis del crecimiento permite evaluar la forma en que los tratamientos afectaron la captura de radiación y su conversión en biomasa. Ambos componentes ecofisiológicos son estimados a partir de dos parámetros: la Σ RFAi durante el rebrote y la EUR.

Los valores de EUR (figura 3) fueron menores en 0P0N (0,37 ± 0,074 b) respecto a 100P0N (0,57 ± 0,062 a) y 100P150N (0,59 ± 0,041 a) para los rebrotes de pri06, pero no difirieron en ver07 (0P0N= 0,50 ± 0,086 a; 100P0N= 0,48 ± 0,135 a y 100P150N= 0,63 ± 0,103 a). Independiente de las diferencias observadas entre tratamientos, se destacan los bajos valores alcanzados, que para los tratamientos fertilizados en primavera (~0,60 g MS MJ⁻¹) equivale a un tercio del potencial de alfalfa (Gosse *et al.*, 1986; Teixeira *et al.*, 2008 y 2011). Estos valores dimensionan el grado de limitación para el crecimiento de la alfalfa en el ambiente estudiado.

Por un lado, la severa sequía experimentada durante la mayor parte del período experimental (figura 1) hace que el cultivo deba explorar el suelo buscando agua (Collino *et al.*, 2005), hecho que puede estar severamente comprometido en los vertisoles.

También la temperatura pudo estar lejos de la temperatura óptima. Mientras Collino *et al.* (2005) encontraron que la EUR en alfalfa aumenta 0,086 g MS MJ⁻¹ °C⁻¹ hasta una

		Fase lag		Fase lineal	
		Tiempo térmico	TC	Tiempo térmico	TC
Tratamientos que alcanzaron 90-95%RFAi	100P0N Pri	162 ± 2,5b	0,31 ± 0,030a	386 ± 83,5a	0,42 ± 0,045a
	100P150N Pri	178 ± 14,0b	0,30 ± 0,000a	379 ± 68,0a	0,45 ± 0,050a
Tratamientos que no alcanzaron 90-95%RFAi	0P0N Pri	431 ± 44,0a	0,24 ± 0,010ab	-	-
	0P0N Ver	481 ± 48,0a	0,15 ± 0,030b	-	-
	100P0N Ver	421 ± 0,5a	0,23 ± 0,050ab	-	-
	100P150N Ver	461 ± 57,0a	0,27 ± 0,015a	-	-

Tabla 1. Valores del tiempo térmico (°Cd) y sus correspondientes tasas de crecimiento (TC, g MS m⁻² °Cd⁻¹) en la fase retardada o exponencial (lag) para las combinaciones de 0 o 150 kg ha⁻¹ de nitrógeno estacionales y 0 o 100 kg ha⁻¹ anuales de fósforo (0P0N, 100P0N y 100P150N) en primavera (Pri) y verano (Ver) y en la fase lineal o de tasas máximas para 100P0N y 100P150N en primavera (Pri).

Letra distinta dentro de columna indica diferencia significativa (a= 0,05).

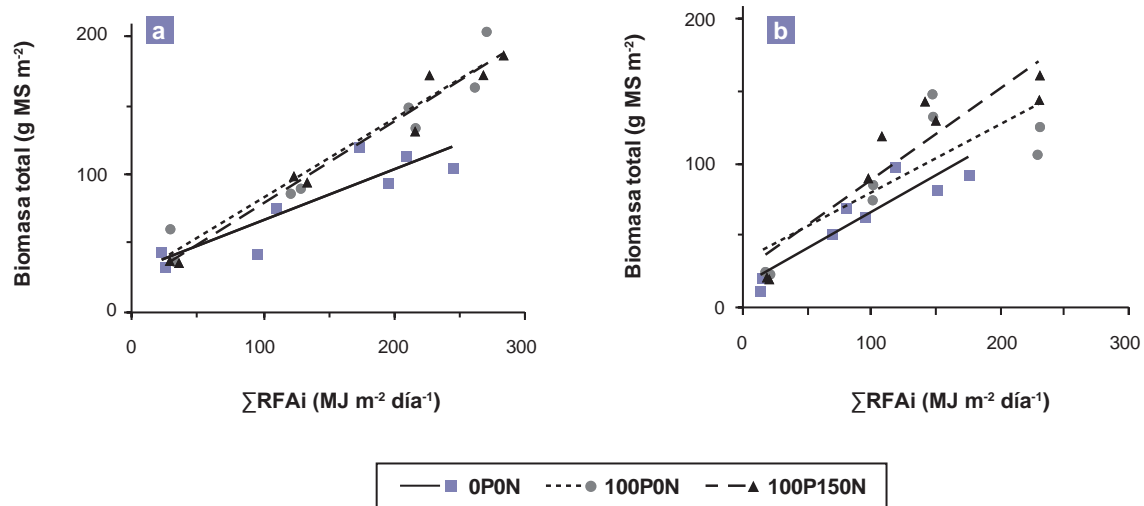


Figura 3. Biomasa acumulada en relación con la radiación fotosintéticamente activa interceptada acumulada (g MS MJ^{-1}) en primavera (a) y verano (b) para las combinaciones de 0 o 150 kg ha^{-1} de nitrógeno estacionales y 0 o 100 kg ha^{-1} anuales de fósforo (■ 0P0N, ● 100P0N ▲ 100P150N). Las pendientes de regresión representan la EUR (eficiencia de uso de la radiación). En primavera los valores fueron: 0P0N= $29,4 + 0,37 \times R^2 = 0,81$, 100P0N= $26,3 + 0,57 \times R^2 = 0,93$ y 100P150N= $20,1 + 0,59 \times R^2 = 0,97$ y en verano: 0P0N= $17,2 + 0,50 \times R^2 = 0,85$, 100P0N= $32,2 + 0,48 \times R^2 = 0,67$ y 100P150N= $26,4 + 0,63 \times R^2 = 0,87$.

temperatura de $21,3 \text{ }^\circ\text{C}$, en el presente ensayo el 70% del tiempo en pri06 y el 50% en ver07 la temperatura estuvo fuera de ese punto óptimo. Por su parte, temperaturas supra óptimas durante el 39% de las horas de sol ($29,1 \pm 0,13 \text{ }^\circ\text{C}$) y durante el 90% de la noche ($21,0 \pm 0,12 \text{ }^\circ\text{C}$) el ver07, pudieron afectar la fotosíntesis neta por mayores pérdidas de carbono respirado.

En pri06, más allá de los bajos valores de EUR, la AB final de 0P0N fue alrededor de un 33% menor que cuando se aplicó P (100P0N). El resultado indica que la deficiencia de P afectó en menor medida la RFAi y, por ende el desarrollo del área foliar (23%), que su conversión en biomasa de forraje (77%). En ver07, 0P0N sufrió una reducción total del orden del 27% respecto a 100P0N. La disminución en la RFAi fue del 71%, mientras que el efecto sobre la EUR fue 29%. Contrariamente, el N no afectó a los componentes del crecimiento en ninguno de los dos rebotes (100P0N frente a 100P150N).

Efectos sobre la estructura de la pastura

En los tratamientos con fósforo (100P0N y 100P150N) de pri06, el %hoja disminuyó $0,03\%$ por $^\circ\text{Cd}$ hasta $\sim 500 \text{ }^\circ\text{Cd}$ (figura 4 b y c), correspondiente al estadio de yema floral temprana (“early bud stage”, Kalu y Fik, 1981). Esta drástica caída a valores de $\sim 50\%$ coincide con lo observado por Romero *et al.* (1987) entre los estadios de yema temprana e inicio de floración (56 a 47%).

El aumento de tallos en la alfalfa responde al alargamiento del fotoperíodo (Lemaire *et al.*, 1985), como también al incremento de la competencia lumínica dentro del canopeo (Lemaire *et al.*, 2005). En los tratamientos con fósforo (100P0N-100P150N) de pri06, el cambio en la partición de

biomasa entre hojas y tallos observado al alcanzar $\sim 500 \text{ }^\circ\text{Cd}$ coincidió con el máximo %RFAi (90-95%), sugiriendo una respuesta plástica frente al sombreado del canopeo. La pérdida de hojas basales también pudo influir en el aumento en la proporción de tallos. Así, Brown *et al.* (2005) encontraron que la tasa de senescencia del tallo primario pasó de $\sim 0,3$ a $1,08 \text{ hojas nudo}^{-1}$ luego que la pastura alcanzó el 95% RFAi.

Por el contrario, 0P0N en pri06 y los tres tratamientos de ver07 mantuvieron alta estabilidad del %hoja (figura 4 a, d, e y f), lo cual se explicaría en el bajo nivel de sombreado experimentalado ($\sim 80\%$ RFAi).

La biomasa de hojas (y) aumentó marcadamente hasta $\sim 90 \text{ g MS m}^{-2}$ de tallos (x) para el conjunto de los datos ($y = 1,1617x + 0,0013x^2 - 0,00003x^3$, $R^2 = 0,90$), valor por encima del cual toda acumulación adicional de tallos no fue compensada por un incremento equivalente en hojas. Desde un punto de vista aplicado, identificar estos niveles críticos permitiría definir manejos de alfalfa que optimicen la producción y la calidad nutritiva del forraje.

Consideraciones de manejo

El presente trabajo buscó generar conocimiento local falante que ayude a flexibilizar y complementar las pautas de manejo de aplicación corriente en cultivos de alfalfa. Entre los resultados más destacados se puede mencionar la gran consistencia que mostró el patrón de crecimiento y desarrollo, llegándose a inicio de yemas florales (“early bud stage”) y al techo de acumulación de biomasa foliar en $\sim 500 \text{ }^\circ\text{Cd}$ (figuras 2 y 4), independientemente de la dispo-

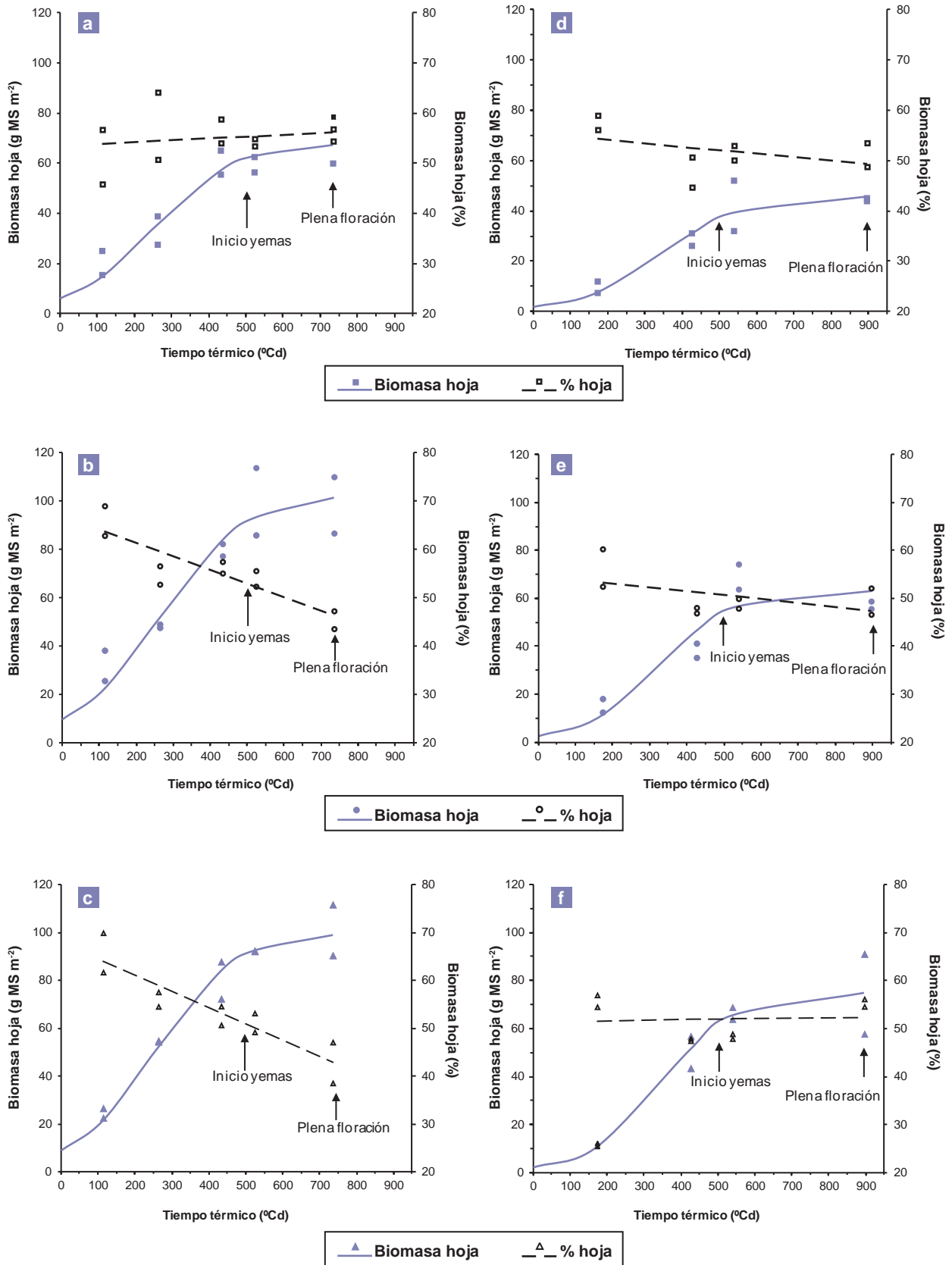


Figura 4. Evolución de la acumulación de biomasa de hojas (g MS m⁻²) y del porcentaje de hojas (%) en relación con el tiempo térmico (°Cd) en primavera (a, b y c) y verano (d, e y f) para las combinaciones de 0 o 150 kg ha⁻¹ de nitrógeno estacionales y 0 o 100 kg ha⁻¹ anuales de fósforo (para biomasa de hojas ■0P0N, ●100P0N y ▲100P150N y para % de hoja □0P0N, ○100P0N y △100P150N). Las ecuaciones de ajuste no se presentan por razones de simplicidad.

nibilidad de nutrientes, la estación o el nivel de sombreado. Desde un punto de vista práctico, si la temperatura media prevista para un mes dado es por ejemplo 20 °C (temperatura base 5 °C), la suma térmica de dicho mes será 450 °Cd. Por lo tanto, alrededor de ese momento la pastura debería consumirse, evitando exceder el tiempo máximo recomendado (~500 °Cd) entre dos utilizaciones sucesivas.

Si bien el intervalo señalado no tiene en cuenta de manera explícita la dinámica de reposición de reservas en las raíces como elemento para definir el intervalo óptimo de defoliación, estudios relativamente recientes (Moot *et al.*, 2003) demostraron que aun en rotaciones largas (42 días), los cambios en el nivel de reservas carbonadas subterráneas son mínimos cuando el fotoperíodo es mayor al umbral requerido para la floración de la alfalfa, tal como sucede durante la primavera y el verano en la región pampeana, principal región alifera del país. De acuerdo con lo expuesto, y tal como lo plantean Moot *et al.* (2003), el intervalo entre defoliaciones previo al otoño no debería guiarse por el estado de desarrollo de las plantas (como porcentaje de floración o yemas basales), sino básicamente por parámetros asociados a la dinámica de crecimiento de las pasturas.

Nuestros resultados indican que 500°Cd puede considerarse como un parámetro orientativo del intervalo máximo de rebrote requerido para que la alfalfa sea nuevamente pastoreada durante primavera-verano de modo de compatibilizar objetivos de producción, eficiencia de utilización y calidad nutritiva del forraje bajo las condiciones de la presente experiencia.

CONCLUSIONES

Los resultados corroboran el efecto negativo de la deficiencia de P para los cultivos de alfalfa.

Los niveles de EUR alcanzados en los tratamientos fertilizados fueron aproximadamente un tercio del valor potencial esperado para esta especie, indicando que el ambiente edafo-climático resultó fuertemente limitante para el crecimiento primavero-estival de las pasturas.

El techo de acumulación de biomasa de hojas requirió una suma térmica desde el inicio del rebrote de ~500 °Cd, coincidente con el inicio de yemas florales ("early bud stage"), lapso que fue relativamente estable entre tratamientos y condiciones climáticas. El parámetro es sugerido como indicador del tiempo óptimo de rebrote de alfalfa durante primavera y verano.

Los resultados presentados aportan parámetros ecofisiológicos sobre la dinámica de crecimiento de la alfalfa, los cuales constituyen información básica para la toma de decisiones de manejo, como también para su uso en modelación.

BIBLIOGRAFÍA

AGNUSDEI, M.; ASSUERO, A.; LATTANZI, F.; MARINO, M. 2010. Critical N concentration can vary with growth conditions in

forage grasses: implications for plant N status assessment and N deficiency diagnosis. *Nutr. Cycl. Agroecosyst.* 88, 215-230.

AYDINALP, C. 2010. Some important properties and classification of vertisols under Mediterranean climate. *Afr. J. Agric. Res.* 5, 449-452.

BROWN, H.; MOOT, D.; TEIXEIRA, E. 2005. The components of lucerne (*Medicago sativa*) leaf area index respond to temperature and photoperiod in a temperate environment. *Eur. J. of Agron.* 23, 348-358.

COLLINO, D.; DARDANELLI, J.; DE LUCA, M.; RACCA, R. 2005. Temperature and water availability effects on radiation and water use efficiencies in alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Aust. J. Exp. Agric.* 45, 383-390.

COLLINO, D. 2008. El ambiente y el rendimiento potencial de la alfalfa. En Reunión Anual de Forrajeras "Oportunidades y desafíos en un escenario que cambia". INTA EEA Pergamino. http://www.inta.gov.ar/pergamino/info/documentos/2008/forrajeras/Forrajeras08_comillo.pdf [Verificación: junio 2009]

GASTAL, F.; LEMAIRE, G. 2002. N uptake and distribution in crops: an agronomical and ecophysiological perspective. *J. Exp. Bot.* 53, 789-799.

GOSSE, G.; VALET-GRANCHER, C.; BONHOMME, R.; CHARTIER, M.; ALLIRAND, J.; LEMAIRE, G. 1986. Production maximale de matière sèche en rayonnement solaire intercepté par un couvert végétal. *Agronomie* 6, 47-56.

GREENWOOD, D.; LEMAIRE, G.; GOSSE, G.; CRUZ, P.; DRAYCOTT, A.; NEETSON, J. 1990. Decline % N in C₃ and C₄ crops with increasing plant mass. *Ann. Bot.* 66, 425-436.

IUSS GRUPO DE TRABAJO WRB. 2007. Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos N.º 103. FAO, Roma. 117 p.

KALU, B.; FICK, G. 1981. Quantifying morphological development of alfalfa for herbage quality. *Crop Sci.* 21, 267-271.

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.; CRUZ, P.; GOSSE, C.; CHARTIER, M. 1985. Etude des relations entre la dynamique de prélèvement d'azote et la dynamique de croissance en matière sèche d'un peuplement de luzerne (*Medicago sativa* L.). *Agronomie* 5, 685-692.

LEMAIRE, G.; KHAITY, M.; ONILLON, B.; ALLIRAND, J.; CHARTIER, M.; GOSSE, G. 1992. Dynamics of accumulation and partitioning of N in leaves, stems and roots of lucerne in a dense canopy. *Ann. Bot.* 70, 429-435.

LEMAIRE, G.; AVICE, J.; KIM, T-H.; OURRY, A. 2005. Developmental changes in shoot N dynamics of lucerne (*Medicago sativa* L.) in relation to leaf growth dynamics as a function of plant density and hierarchical position within the canopy. *J. Exp. Bot.* 56, 935-943.

MOOT, D.; BROWN, H.; POLLOCK, K.; TEIXEIRA, E. 2003. Crop growth and development affect seasonal priorities for lucerne management. En: Moot, D.J. (Ed.) *Legumes for dryland pastures*. Proceedings of a New Zealand Grassland Association symposium, Lincoln University, 18-19 Noviembre 2003. *Grassland Research and Practice Series*. Grassland Research and Practice Series N.º 11, 201-208.

QUINTERO, C.; BOSCHETTI, N.; BENAVIDEZ, R. 1997. Efecto residual y refertilización fosfatada de pasturas implantadas en Entre Ríos (Argentina). *Ci. Suelo (Argentina)*. 15, 1-5.

QUINTERO, C.; RISO, L.; GONZALEZ, A.; IZAGUIRRE, M. 2000. Estado de fertilidad de los suelos de Entre Ríos. Principales limitaciones. *Rev. Fac. Agron. (Buenos Aires)*. 20, 15-19.

ROMERO, F.; VAN HORN, H.; PRINE, G.; FRENCH, E. 1987. Digestibility of Florida 77 Alfalfa and Florigrade Rhizoma Peanut. *J. Anim. Sci.* 65, 786-796.

SAS INSTITUTE INC. 2008. SAS/STAT® 9.2 User's Guide. Cary, NC: SAS Institute Inc.

TEIXEIRA, E.; MOOT, D.; BROWN, H.; FLETCHER, L. 2007a. The dynamics of lucerne (*Medicago sativa* L.) yield components in response to defoliation frequency. *Eur. J. of Agron.* 26, 394-400.

TEIXEIRA, E.; MOOT, D.; BROWN, H.; MICKELBART, M. 2007b. Seasonal patterns of root C and N reserves of lucerne crops (*Medicago sativa* L.) grown in a temperate climate were affected by defoliation regime. *Eur. J. of Agron.* 26, 10-20.

TEIXEIRA, E.; MOOT, D.; BROWN, H.; POLLOCK, K. 2007c. How does defoliation management impact on yield, canopy forming processes and light interception of lucerne (*Medicago sativa* L.) crops? *Eur. J. of Agron.* 27, 154-164.

TEIXEIRA, E.; MOOT, D.; BROWN, H. 2008. Defoliation frequency and season affected radiation use efficiency and dry matter partitioning to roots of lucerne (*Medicago sativa* L.) crops. *Eur. J. of Agron.* 28, 103-111.

TEIXEIRA, E.; BROWN, H.; MEENKEN, E.; MOOT, D. 2011. Growth and phenological development patterns differ between seedling and regrowth lucerne crops (*Medicago sativa* L.). *Eur. J. of Agron.* 35, 47-55.

VANCE, C.; UHDE-STONE, C.; ALLAN, D. 2003. Phosphorus acquisition and use: critical adaptations by plants for securing a nonrenewable resource. *New Phytol.* 157, 423-447.

VENTRONI, L.; VOLENEC, J.; CANGIANO, C. 2010. Fall dormancy and cutting frequency impact on alfalfa yield and yield components. *Field Crop. Res.* 19, 252-259.