

## Eficiencia del uso de la radiación de cultivares de alfalfa de distinto grado de reposo en Córdoba, Argentina

### Radiation use efficiency of dormant and non dormant alfalfa cultivars in Cordoba, Argentina

Guzmán, C., Spada, M. del C. y Mombelli, J. C.

Estación Experimental Agropecuaria INTA Manfredi, Córdoba, Argentina. cguzman@manfredi.inta.gov.ar

#### Resumen

En INTA Manfredi (Córdoba- Argentina) se realizó un ensayo con el objetivo de conocer la eficiencia del uso de la radiación de cultivares de alfalfa con reposo invernal intermedio y sin reposo a través de las diferentes estaciones del año. Entre 2004 y 2006 se evaluaron los cultivares Pro INTA Luján (GR6) y Bárbara SP INTA (GR9) sembrados en bloques al azar con dos repeticiones. En cada período de rebrote semanalmente se extrajeron dos muestras de 0,1 m<sup>2</sup>. En cada una se determinó el área foliar y biomasa y radiación solar incidente sobre y debajo del canopeo. El área foliar se estimó usando patrones fotográficos. La eficiencia de intercepción de la radiación (f) se calculó como la relación entre el valor de radiación fotosintéticamente activa incidente (RFA<sub>inc</sub>) sobre y bajo el canopeo, la eficiencia del uso de la radiación (EUR) a partir de la regresión lineal entre la biomasa aérea acumulada y la RFA<sub>int</sub> acumulada. Los valores de biomasa acumulada se analizaron por ANOVA y las medias se compararon con la prueba LSD ( $\alpha= 0,05$ ). Las pendientes de las regresiones lineales entre cultivares en cada período de rebrote y entre estaciones se compararon utilizando un modelo de regresión con variables dummies. La EUR fue similar ( $p<0,001$ ) entre Pro INTA Luján y Bárbara SP INTA; en primavera fue de 1,60 gMJ<sup>-1</sup>, en invierno de 0,7 gMJ<sup>-1</sup> y en verano y otoño de 1,28-1,30 gMJ<sup>-1</sup>. Sólo en otoño se alcanzó un IAF 5 con una intercepción de 90%; en primavera y verano el IAF fue de 4,13 y 3,13 respectivamente con un porcentaje de intercepción de 74%. Los cultivares con reposo intermedio y sin reposo utilizan la radiación con igual eficiencia. Las mayores diferencias se encuentran entre estaciones, estas serían el resultado de la variabilidad de temperaturas medias. La EUR se estabilizó con una temperatura media entre 18 a 22°C, inferiores a la encontrada en la misma área ecológica.

#### Introducción

La alfalfa (*Medicago sativa* L.) es la forrajera perenne de mayor importancia en la Argentina, debido a su producción, calidad del forraje y a su adaptación a diferentes ambientes. La amplia diversidad de ambientes y cultivares donde se cultiva determina que existan las grandes variaciones en su producción (Spada, 2007). En la Región Central de Córdoba (Argentina) se utilizan cultivares de reposo intermedio y sin reposo y como en todos los ambientes las diferencias de producción estacional e interanual están afectadas por los cambios en la temperatura, radiación solar y precipitaciones.

La producción de biomasa total es una función de la radiación solar fotosintéticamente activa incidente (RFA<sub>inc</sub>), de la eficiencia con la que el cultivo la intercepta y la eficiencia con que la planta utiliza la energía interceptada (EUR) para convertirla en materia seca.

Tanto la eficiencia de intercepción como la RFA interceptada (RFA<sub>int</sub>) tienen una relación directa con el Índice de Área Foliar (Heichel y col., 1988). No toda la radiación incidente durante los sucesivos rebrotes es utilizada por el cultivo, debido a que en los primeros periodos de crecimiento las plantas carecen del área foliar suficiente como para interceptarla. Es por ello que para lograr las mayores tasas de crecimiento se debería alcanzar valores próximos al Índice de Área Foliar (IAF) crítico que se define como el IAF cuando se intercepta el 95 % de la RFA<sub>inc</sub>, y se estima que en alfalfa alcanza un valor de 5 (Heichel y col., 1988).

Varios autores (Enrico y col., 2005, Brown y col., 2006, Collino y col., 2005), coinciden en que el crecimiento de cultivos perennes, como es la alfalfa, es mucho más complejo que el de cultivos anuales debido a que la biomasa producida no solo depende de la radiación solar interceptada por el follaje, sino también de la removilización de las reservas acumuladas en rebrotes previos. Por tal motivo se encuentra un amplio rango de valores de EUR, que oscilan de 0,3 a 1,9 gMJ<sup>-1</sup>.

De acuerdo a Colino y col. (2005) la variación en la EUR a lo largo del ciclo de crecimiento está altamente influenciada por la temperatura, quienes obtuvieron mayores EUR en primavera que en verano y menores en otoño e invierno. Del mismo modo, Brown y col. (2006) observaron una disminución de 0,9 gMJ<sup>-1</sup> en verano a 0,55 gMJ<sup>-1</sup> en otoño, estimando que la relación entre EUR y temperatura es lineal, detectándose un incremento de 0,091 gMJ<sup>-1</sup> por cada aumento unitario de la temperatura. Ambos autores afirman que las menores eficiencias estarían afectadas por las bajas temperatura y por la movilización de fotoasimilados desde las hojas hacia los órganos de reservas. En este sentido Justes y col. (2002) midieron una mejora de la EUR de 0,37 a 1,02 gMJ<sup>-1</sup> con un incremento de 5° en la temperatura de primavera.

El reposo invernal de la alfalfa es una característica genética en respuesta a la disminución del fotoperiodo y a las bajas temperaturas de otoño e invierno. De acuerdo a Collino y col. (2005) en Córdoba la EUR de cultivares sin reposo (Monarca SP INTA) y de reposo intermedio (Victoria SP INTA) fue similar en otoño y verano ( $0,8 - 1 \text{ gMj}^{-1}$ ) y mínimas en invierno y primavera ( $0,62- 0,78 \text{ gMj}^{-1}$ ). Para los mismos cultivares, Pece y Cangiano (2002) encontraron en el SE de la provincia de Buenos Aires la misma tendencia, aunque con valores de EUR que oscilaron entre 1,1 y  $1,97 \text{ gMj}^{-1}$ . En función a la EUR Collino y col. (2005) definieron que la temperatura óptima de crecimiento de alfalfa oscila entre  $21^{\circ}\text{C}$  y  $26^{\circ}\text{C}$ , y que para llegar al momento de utilización se requiere un tiempo termal de  $580^{\circ}\text{C}$  (Moot, 2001).

El objetivo del presente estudio fue conocer la eficiencia del uso de la radiación de cultivares de alfalfas con reposo invernal intermedio y sin reposo a través de las diferentes estaciones del año.

### Materiales y Métodos

El ensayo se realizó en la Estación Experimental Agropecuaria INTA Manfredi ( $31^{\circ} 41' \text{S}$  y  $63^{\circ} 46' \text{O}$ ) entre el año 2004 y 2006. Se sembraron los cultivares ProINTA Luján (GR6) y Bárbara SP INTA (GR9) en bloques al azar con dos repeticiones. Cada cultivar se sembró en cinco parcelas de  $9 \text{ m}^2$  distanciados a 20 cm, cada parcela corresponde a una semana de muestreo.

En cada período de rebrote los muestreos se realizaron semanalmente extrayendo de cada parcela dos muestras de  $0,1 \text{ m}^2$ . En cada una se determinó el área foliar ( $\text{cm}^2$ ) y biomasa ( $\text{g m}^{-2}$ ). Coincidente con estas mediciones se midió la fracción de la radiación solar incidente ( $\text{RFA}_{\text{inc}} \text{ MJ m}^{-2}$ ) sobre y debajo del canopeo en cinco sectores de la parcela con un ceptómetro (Bar-Rad) cubriendo un metro ancho. Cuando las plantas alcanzaban el 10 % de floración se midió la producción acumulada de forraje ( $\text{tn MS ha}^{-1}$ ) sobre una superficie de  $5 \text{ m}^2$ . El área foliar, para el cálculo del IAF se estimó en la totalidad de las hojas de la unidad de muestreo mediante el uso de patrones fotográficos (Williams y col., 1964). Solamente se consideraron las hojas totalmente expandidas, y las que presentaban menos del 50% con signos de senescencia o enfermedades foliares.

Diariamente se registraron datos climáticos (temperatura media diaria, precipitaciones) y la radiación solar incidente. A partir de estos datos, se estimó el tiempo termal asumiendo una temperatura base de  $5^{\circ}\text{C}$ . La eficiencia de interceptación de la radiación (f) se calculó como la relación entre el valor de  $\text{RFA}_{\text{inc}}$  sobre y bajo el canopeo y la eficiencia del uso de la radiación (EUR) se obtuvo a partir de la regresión lineal entre la biomasa aérea acumulada y la  $\text{RFA}_{\text{inc}}$  acumulada. Esta última se obtuvo como el producto de  $\text{RFA}_{\text{inc}} \cdot f$ . Los valores de biomasa acumulada se analizaron por ANOVA y las medias se compararon con la prueba LSD ( $\alpha = 0,05$ ). Las pendientes de las regresiones lineales entre cultivares en cada período de rebrote y entre estaciones se compararon utilizando un modelo de regresión con variables dummies (INFOSTAT, 2002).

### Resultados y Discusión

En ambos períodos de evaluación se realizaron siete cortes con una producción promedio de  $15 \text{ tn MS ha}^{-1}$ , sin diferencias ( $p > 0,05$ ) entre ProINTA Luján y Bárbara SP INTA. Al momento del corte, en todos los casos se llegó a sumas térmicas similares, con un rango de  $420$  a  $460^{\circ}\text{C}$ , a pesar de que los valores de temperatura medias variaron ampliamente entre estaciones, por este motivo, los días transcurridos entre utilizaciones varió, con valores extremos de 25 días en verano y 70 en invierno.

Como la biomasa acumulada estacional fue similar entre los participantes se presenta la información promedio de ambos cultivares (Cuadro 1).

Cuadro 1. Biomasa Acumulada (MS), radiación fotosintéticamente activa incidente acumulada ( $\text{RFA}_{\text{inc}}$ ), eficiencia de uso de la radiación (EUR), sumas térmicas y temperatura media ( $^{\circ}\text{C}$ ). Manfredi 2004-2005

Estación	Biomasa acumulada MS ( $\text{g m}^{-2}$ )	$\text{RFA}_{\text{inc}}$ acumulada MJ $\text{m}^{-2}$	EUR g MJ	Tiempo termal $^{\circ}\text{C}$	Temperaturas medias $^{\circ}\text{C}$
Primavera	370,3	209,0	1,60	447,4	16,1
Verano	249,8	120,9	1,28	458,0	22,2
Otoño	320,9	176,6	1,30	420,7	17,7
Invierno	401,4	282,9	0,70	447,1	11,4

La elevada biomasa acumulada en invierno se debería a la alta proporción de tallos que incrementa el porcentaje de materia seca, además el alto valor  $\text{RFA}_{\text{inc}}$  de sería una consecuencia del prolongado período de reposo en invierno y la baja nubosidad durante esta estación en Córdoba.

La relación entre biomasa y  $RFA_{int}$  acumulada fue lineal ( $p < 0,05$ ) y el análisis de regresión detectó que las pendientes de las regresiones en cada período de rebrote eran homogéneas, por lo tanto la EUR fue similar ( $p < 0,001$ ) entre Pro INTA Luján y Bárbara SP INTA. El rango de valores de EUR se encuentra dentro de los citados por Pece y Cangiano (2006), a pesar que la radiación y la temperatura del SE de Buenos Aires son inferiores a los óptimos para el crecimiento.

En primavera, ambos cultivares, fueron más eficientes en el uso de la radiación con un valor de  $1,60 \text{ gMJ}^{-1}$ , mientras que en invierno la eficiencia fue de  $0,7 \text{ gMJ}^{-1}$ . Por el contrario, en verano y otoño se observaron valores similares  $1,28-1,30 \text{ gMJ}^{-1}$ . Estas eficiencias son coincidentes con los datos citados por Collino y col. (2005). Estos autores encontraron, en la misma zona de influencia que la EUR se estabiliza con temperaturas de  $21-26^\circ\text{C}$ , por el contrario en este ensayo la temperatura en los períodos de máxima EUR varió entre  $16$  y  $22^\circ\text{C}$ . El valor máximo de EUR se registro en primavera con una temperatura de  $16^\circ\text{C}$  lo que podría estar reflejando una removilización de reservas acumuladas durante el reposo invernal.

Aunque con rangos de temperaturas menores a las citadas por de Brown y col. (2006) y Justes y col. (2002) en Nueva Zelanda la EUR entre primavera e invierno fueron similares, de  $1,6$  a  $0,7 \text{ gMJ}^{-1}$ .

En la Figura 1 se presentan los valores de IAF a través de los días donde se observa que los máximos porcentajes de intercepción de la radiación están siempre relacionados con los mayores valores de IAF. De cualquier modo, excepto en otoño se interceptó menos del 75% de la radiación, valores similares a los de Justes y col. (2002), pero sustancialmente menores a los registrados por di Nucci en Paraná, Argentina (comunicación personal).

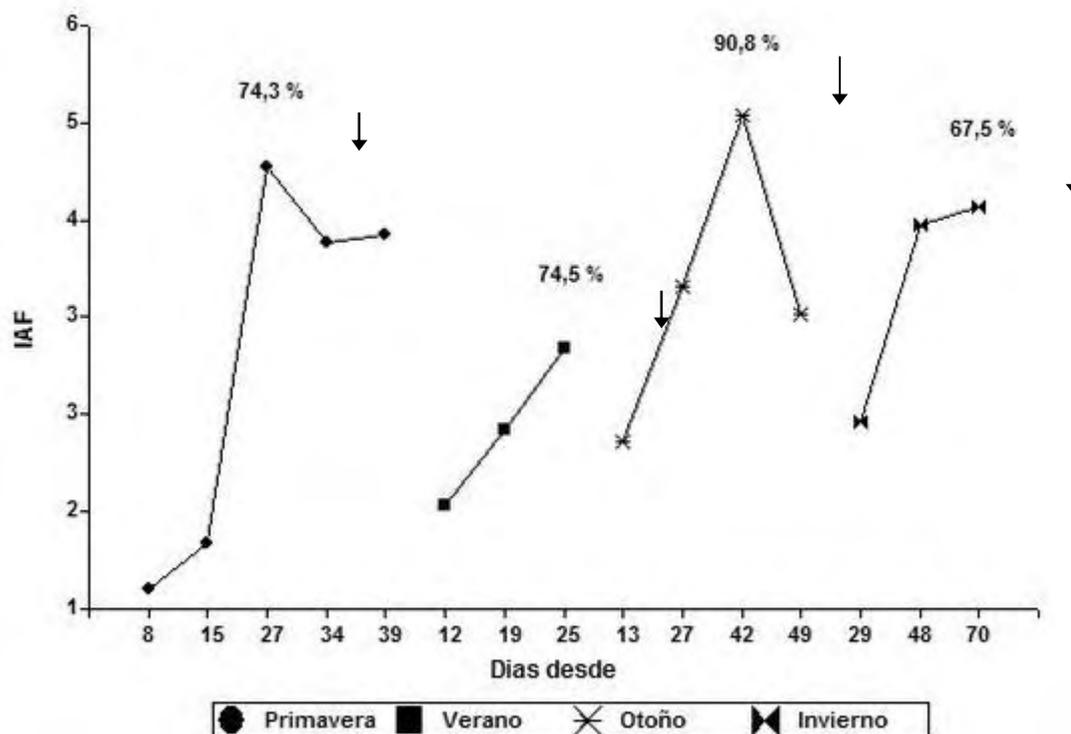


Figura 1. Índice de Área Foliar en función del tiempo en las diferentes estaciones del año (la flecha indica el porcentaje máximo de intercepción). Manfredi, Argentina.

Sólo en otoño se alcanzó un IAF 5, el que se considera óptimo para un cultivo bien desarrollado (Heichel y col. 1988), estos valores fueron similares a los encontrados por Justes y col. (2002) con equivalentes condiciones climáticas y sumas térmicas. Por el contrario, difieren de los registrados en Paraná que la máxima intercepción en primavera se alcanzó con un IAF inferior a 2 (Di Nucci, comunicación personal). Los autores citados muestran que el IAF aumenta de forma lineal hasta llegar a la máxima intercepción y a partir de este momento se mantiene estable hasta el corte. En la Figura 1 se observa que a lo largo del periodo de crecimiento, hasta alcanzar el máximo porcentaje de intercepción, el IAF tiene una tendencia lineal y luego, principalmente en primavera y otoño muestra una caída. Esto se explicaría por una

perdida de hojas por enfermedades foliares en otoño o senescencia en los estratos inferiores debido al sombreo en primavera.

A pesar de que el porcentaje de intercepción máximo de primavera y verano fue similar (74%), los valores del IAF difieren ampliamente. En primavera fue de 4,13 y en verano de 3,13. Este fenómeno se debería al menor crecimiento en verano, con plantas de baja altura, densidad de tallos y área foliar característico de esta estación, como consecuencia del déficit hídrico, mientras que en primavera las mejores condiciones ambientales generaron pasturas con mayor densidad de tallos y área foliar.

### Conclusiones

En la región central de Córdoba los cultivares con reposo intermedio y sin reposo utilizan la radiación con igual eficiencia.

Las mayores diferencias en la EUR se encuentran entre estaciones y serían el resultado de la variabilidad de temperaturas medias entre estaciones. La EUR se estabilizó con una temperatura media entre 18 a 22°C, inferiores a la encontrada en la misma área ecológica.

El IAF vario a través de las estaciones, si bien no se llegó al IAF crítico se encuentra dentro de los valores normales para el cultivo de alfalfa.

### Literatura Citada

- Brown, H.E; D.J Moot; and E.I. Teixeira, 2006. Radiation use efficiency and biomass partitioning of lucerne (*Medicago sativa*) in a temperate climate. *European journal of Agronomy* [en línea] 56 (4). pp:319-390,2006.[fecha de consulta: 8 de mayo de 2007] Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/journal/11610301>
- Collino, D.J.; J. L. Dardanelli; M. J. ; De Luca and R.W. Racca. 2005. Temperature and water availability effects on radiation and water use efficiencies in alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Aust. J. Exp. Agric.* 45: 383-390.
- Enrico, C and S Pasquele. 2005. Pig slurry applications to alfalfa: productivity, solar radiation utilization, N and P removal. *Field Crops Research* [en línea] 95 (2-3). p 135-155, 2006 [fecha de consulta: 25 de abril de 2007] Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/journal/03784290>
- Heichel, G.H., Delaneg, R.H. and Cralle, H.T. 1988. Carbono asimilación, partition an utlization. En: Hanson, A.A., Barnes, D.K y Hill, R.R. (ed) *Alfalfa an alfalfa improvement*. Agronomy Monograph N° 29,CSSA/SSSA, Madison,Wi,(6), p 196-227.
- Infostat. 2002. Software estadístico. Infostat, versión 1.1.Grupo Infostat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- Justes, E. ; P. Thiébeau ; J.C.H. Avice ; G. Lemaire, G.J. Volenecand and A. Ourry. 2002. Influence of summer sowing dates, N fertilization and irrigation on autumn VSP accumulation and dynamics of spring regrowth in alfalfa (*Medicago sativa* L.). *Jurnal of experimental botany* [en línea] 53 (3666): 111-121. [fecha de consulta: 26 de mayo de 2007] Disponible en : <http://jxb.oxfordjournals.org/cgi/content/abstract/53/366/111>
- Mott, D.J.; M.J. Robertson and K.M. Pollock. 2001. Validation of the APSIM-Lucerne model for phenological development in a cool-temperate climate. *Proceedings of the Australian Agronomy Conference, Australian Society of Agronomy*. [en línea]. [fecha de consulta: 25 junio 2006] Disponible en:<http://www.regional.org.au/au/asa/2001/6/d/moot.htm>
- Pece, M.A y C.A. Cangiano. 2002. Tasa de acumulación de la biomasa aérea de alfalfa en respuesta a la radiación. 25° Congreso Argentino de Producción Animal, 22 (1): 120-121.
- Spada, M. del C. 2007. Evaluación de cultivares y panorama varietal. In: *El cultivo de la alfalfa en Argentina*. D.Basigalup ed. (en prensa).
- Williams, R.F; L.T. Evans and L.J. Ludwig. 1964. Estimation of leaf area for clover and Lucerne . *Aust. J. Agric.* 15: 231-233.