

NIVELES DE AGUA Y FRECUENCIAS DE DEFOLIACION EN EL COMPORTAMIENTO DE *Lotus corniculatus* L.

Santiñaque¹, F.H y De Battista², J.P.

Recibido: 02/10/01 Aceptado: 11/07/03

RESUMEN

Lotus corniculatus es afectado por enfermedades de raíz y corona así como el déficit de agua durante el verano. Los objetivos de este trabajo consistieron en estudiar el efecto de dos frecuencias de la defoliación (F: frecuente y A: aliviado), bajo tres niveles de estrés de agua en el suelo (E0, E1 y E2), sobre el comportamiento de la leguminosa y uso del agua. Sin restricción hídrica, el manejo A incrementó el rendimiento de forraje total en un 46% respecto al F. La persistencia de plantas fue afectada únicamente por el déficit de agua. La respuesta del manejo A sobre el rendimiento de forraje disminuyó al aumentar el estrés hídrico. A medida que el déficit se intensificó, se mantuvo la respuesta positiva provocada por el manejo A sobre las variables del crecimiento de raíces pero éste no tuvo efecto sobre el forraje producido en verano. Así, en condiciones de estrés severo, el manejo aliviado tuvo un mayor gasto de agua por evapotranspiración (ET) como consecuencia de una mayor densidad de raíces en el suelo (2,41 cm/cm³). La tasa de absorción de agua por unidad de longitud de raíces en A resultó menor (23,2mg/cm.día), que en F (120,1mg/cm.día), el cuál si bien perdió menos agua por ET, tuvo que aumentar la tasa de absorción de agua debido a la menor densidad de raíces en el suelo (0,61 cm/cm³).

PALABRAS CLAVE: frecuencia de defoliación, estrés hídrico, *Lotus corniculatus*, raíces.

SUMMARY

WATER LEVELS AND DEFOLIATION FREQUENCIES ON THE BEHAVIOR OF *Lotus corniculatus* L.

Birdsfoot trefoil (*L.corniculatus* L.) is affected by root-crown rot diseases and by summer water deficits. The objective of this work was to study the effect of two defoliation frequency (F: frequent and A: sparse), under three levels of soil water stress (E0, E1 and E2), on the birdsfoot trefoil behavior and water use. Without water deficit the A management yielded 46% more total forage than F. Plant persistence was affected only by water deficits. The response to A management on forage yield decreased as water stress increased. When water stress was more intense, the positive response of A management on the root growth characteristics was maintained but it could not affect summer forage production. Therefore, at severe water stress the A management lost more water by evapotranspiration (ET) as a consequence of higher soil root density (21.41 cm/cm³). The water uptake rate per unit of root length resulted lower for A (23.3mg/cm.day), than F management rate (120.1mg/cm.day). Despite its lower water loss by ET it had a higher water uptake rate because their low soil root density (0.61 cm/cm³).

KEY WORDS: defoliation frequency, water stress, forage production, root growth, birdsfoot trefoil.

¹ Est. Exp. Mario A. Cassinoni, Facultad de Agronomía, Paysandú, Uruguay. CP. 60000 E - mail: fersanti@fagro.edu.uy .

² Est. Exp. Agr. Concepción del Uruguay, INTA, C.C. N° 6 (3260) C. del Uruguay, Entre Ríos, Argentina. E - mail: debattistaj@infovia.com.ar

INTRODUCCIÓN

Lotus corniculatus es una de las principales leguminosas perennes utilizada en la siembra de pasturas cultivadas así como en mejoramiento de pasturas naturales en la región que abarca el sur de Brasil, Uruguay y el litoral este de Argentina. Esta región de clima subtropical subhúmedo abarca una gran diversidad de suelos, lo que pone en evidencia la gran capacidad de adaptación de esta especie. No obstante, existen factores que afectan negativamente la producción y persistencia, siendo los principales los problemas de enfermedades de raíz y corona, el déficit de agua en el suelo durante el verano y la interacción entre ambos problemas (Chao *et al.*, 1994; Santiñaque, 1996). No existen estudios a nivel fisiológico en esta especie en relación al efecto de las deficiencias de agua en el suelo durante el verano y su interacción con el manejo de la defoliación durante el período de estrés, si bien se le atribuye gran importancia a estos aspectos para especies forrajeras perennes templadas de fisiología fotosintética de tipo C3 (Brougham, 1959; García, 1979; Carámbula, 1977; Harris, 1978).

No obstante, existe una sólida base de experimentos de corte en condiciones de campo en diferentes situaciones de suelos y años en la región, sobre el efecto del manejo de la defoliación sobre su producción y persistencia. Los resultados han demostrado ventajas de manejos de la defoliación poco frecuentes e intensos en producción de forraje y persistencia en comparación con manejos frecuentes especialmente si estos son intensos (Gardner *et al.*, 1968; Formoso, 1995; De Battista y Costa, 1998; Morales *et al.*, 2000). Se encontró que, dentro de rangos de frecuencia entre 35-50 días, el mayor impacto sobre la producción de forraje estuvo dado por la intensidad de defoliación, habiéndose detectado variabilidad intragenérica, probablemente asociada a variaciones morfofisiológicas, en la magnitud de la respuesta a estas variables de manejo (De Battista y Costa, 1998). En este sentido, se encontró que *L. tenuis* de hábito más prostrado, fue menos afectado que *L. corniculatus*, tanto por la frecuencia como por la intensidad de defoliación. A pesar del efecto positivo de este tipo de manejo (poco frecuentes e intensos), no se ha podido lograr evitar la disminución de la población de plantas, la cual puede iniciarse, en los casos más extremos, en el primer verano de la pastura comenzando a disminuir el rendimiento. Las ventajas de los manejos intensos y poco frecuentes son relativas ya que aún en las mejores condiciones la población de plantas de lotus no sobrevive más de 4 años.

Es bastante generalizado que el manejo de la defoliación durante el período crítico de verano debería basarse en defoliar poco a las plantas para mantener mayor cantidad de área foliar. Esto permitiría lograr una mejor utilización del agua del suelo. La mayor captación de asimilatos por fotosíntesis para ajuste osmótico, promueve un mayor crecimiento y absorción de agua por las raíces, al disminuir el potencial del agua (ψ) y generar mayores diferencias de ψ con el suelo (Brougham, 1959; Carámbula, 1977; Barker y Chu, 1985; Barker y Caradus, 2001). Por otra parte, también habría beneficios en evitar la pérdida de agua por evaporación del suelo por la cobertura vegetal. Sin embargo, hay trabajos que demuestran que el mantenimiento de pasturas con altos niveles de biomasa durante el período de déficit hídrico resultó en un mayor consumo de agua a través de la transpiración de las plantas (T) en comparación con pasturas que se mantuvieron con poca biomasa verde las que conservaron un mayor contenido de agua en el suelo. Por lo general, esta mayor disponibilidad de agua no se capitalizaría debido a que la remoción de tejidos fotosintéticos realizada para mantener las pasturas con baja biomasa de forraje, afectaría negativamente el crecimiento y persistencia de las plantas durante el estrés. Esto es debido a que se restringe la asimilación de carbono y sus consecuencias sobre los procesos fisiológicos de adaptación al estrés hídrico. De esta manera, la conservación del agua se realizó a expensas de una disminución del crecimiento de la pastura durante el estrés (Langlands y Bennet, 1973; Barker y Chu 1985; Barker y Caradus, 2001).

Por otra parte, la información anterior proviene en su mayoría de regiones templadas con situaciones de estrés hídrico en general mucho menos severo que en las condiciones de la región y el estudio de estos aspectos en general se refiere a especies con características morfofisiológicas diferentes a lotus.

Por tanto, el concepto sobre el perjuicio de realizar pastoreos frecuentes e intensos en comparación con manejos más aliviados durante períodos de sequía, debe ser estudiado en una primera etapa a nivel básico con metodologías que permitan obtener resultados que aporten a la comprensión de las causas y procesos involucrados.

Consecuentemente los objetivos de este trabajo consisten en estudiar el efecto de manejos contrastantes de la defoliación bajo distintos niveles de agua disponible en el suelo sobre el comportamiento del lotus y el consumo del agua del suelo. Estos conocimientos son relevantes no solo para definir con mayor precisión estrategias de manejo del pastoreo sino que pueden ser de utilidad en programas de mejoramiento genético por tolerancia a la sequía en

la especie, ya que permitiría focalizar los estudios de variabilidad genética sobre componentes críticos de la respuesta al estrés hídrico en la misma.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la Estación Experimental Mario A. Cassinoni, Paysandú, (32° S) de la Facultad de Agronomía se realizó un experimento desde julio de 1992 hasta marzo de 1993 en macetas de plástico, en el que se evaluó el efecto de dos frecuencias de defoliación y tres niveles de disponibilidad de agua sobre el crecimiento de lotus.

Acondicionamiento del cultivo

Las macetas, de 9 dm³ de capacidad, 18,8 cm de altura y una superficie de 547 cm², fueron instaladas en el campo a una altura de 1,3 m sobre el nivel del suelo y acondicionadas para lograr un buen drenaje de los excesos de lluvia.

Se utilizó un suelo franco – arenoso (Argisol Subéutrico Melánico) que al momento del llenado de las macetas tuvo un contenido de agua del 13.3% (p/p). El suelo se acondicionó en cada maceta para lograr una densidad aparente homogénea de 1,1 g/cm³.

Para la determinación del contenido de humedad a capacidad de campo (CC) se realizó a laboratorio midiendo el contenido de agua del suelo 24h después de saturadas.

El suelo recibió una fertilización equivalente a 84 kg/ha de P₂O₅ como superfosfato simple (0-22-23-0) para que la disponibilidad de fósforo en el suelo no limitara el crecimiento de las plantas.

El 15 de julio se transplantaron plántulas de lotus de la variedad San Gabriel pregerminadas e inoculadas con *Rhizobium* específico y posteriormente se ajustó el número de plantas por maceta por raleo para lograr un stand de plantas que no limitase el potencial de producción de forraje, dejándose 6 plantas por maceta lo cual es equivalente a 110 pl/m².

Hasta el 11 de noviembre las plantas se mantuvieron en el invernáculo regando diariamente las macetas (80% de CC) para que el agua no limitase el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Manejo de la defoliación y evaluación de biomasa aérea

Cuando las plantas produjeron un nivel de biomasa suficiente determinado por la altura (25 cm) se realizó el primer corte a todas las macetas (16/10). A partir de esta fecha se comenzaron a aplicar los tratamientos de

defoliación consistentes en 2 frecuencias de corte. En promedio para todo el período experimental fueron: manejo frecuente (F) cada 22 días, manejo aliviado (A) cada 44 días. Se dejó un rastrojo residual de 3 cm. Durante todo el experimento el manejo A tuvo 4 cortes (16/10/92, 27/11/92, 11/1/93 y 4/3/93) y el manejo F tuvo 7 cortes: además de las fechas del manejo A, se cortó el 6/11/92, 18/12/92 y 11/2/93. La determinación del rendimiento de materia seca de forraje se realizó con la recolección en cada corte del mismo y secado a estufa (60°C) hasta peso constante. Al final del período experimental se determinó el número de plantas sobrevivientes por maceta.

Manejo del régimen hídrico

A partir del 10 de diciembre de 1992 se comenzaron a aplicar 3 regímenes hídricos hasta el final del experimento. Los niveles hídricos consistieron en mantener diferentes contenidos de agua en el suelo mediante riegos con cantidades diferentes de agua y dejando diferentes tiempos de desecamiento para crear 3 situaciones de estrés hídrico. Estos fueron: sin estrés hídrico (E0) manteniendo un contenido promedio de 18,1% (p/p) de agua en el suelo (82% de CC), estrés intermedio (E1) 14,3% (p/p) (65% de CC) y estrés severo (E2) 13,1% (p/p) (59% de CC).

El control del contenido de agua en el suelo se realizó por pesadas diarias de dos macetas por tratamiento (n=12). El método adoptado para medir el gasto de agua por maceta fue por diferencia de peso diaria, sin considerar el peso fresco del crecimiento de las plantas.

Evaluación de biomasa radicular

Las raíces se evaluaron luego del último corte del experimento. Para separar las raíces del suelo, se lavaron con agua a presión sobre un tamiz de malla de 1 mm.

Las plantas lavadas fueron cortadas en la base de la corona para separar las raíces del rastrojo residual, el que fue desechado. De los tratamientos hídricos E0 y E2 se tomaron las raíces de 2 plantas al azar por maceta para medir L y D de cada una y calcular su superficie (S). Utilizando el promedio de las 2 plantas y el número de plantas por maceta se estimó L y D por planta y por maceta. La densidad de raíces en el suelo (L/cm³) (cm de raíz/cm³ de suelo) se estimó utilizando L y el volumen de suelo por maceta (6675 cm³).

Para la medición de L y D se utilizó el equipo Root Length Measurement System type RLS (Delta-T Devices Ltd.). Las raíces de la totalidad de las plantas sobrevivientes fueron secadas a estufa determinándose peso seco.

Diseño y análisis estadístico

Se utilizó un diseño completamente aleatorizado de las parcelas (macetas) con arreglo factorial de los 6 tratamientos (2 manejos y 3 niveles hídricos) con 3 repeticiones. Los datos se analizaron mediante análisis de varianza, correlación y regresión, y se compararon las medias por la prueba de Tukey (SAS, Institute, 1996). Se establecieron como niveles de significación $p < 0,01$ (**), $p < 0,05$ (*).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Evolución del contenido de agua del suelo

El contenido de agua del suelo promedio de los manejos de la defoliación caracteriza la evolución de los diferentes niveles de estrés hídrico. Los datos corresponden a todo el periodo experimental, por lo que muestran los eventos de lluvias ocurridos (Figura 1). Si bien hubo diferencias en los niveles de agua en el suelo entre los tratamientos, estas no fueron equidistantes ya que los niveles de estrés hídrico intermedio (E1) y severo (E2) tuvieron poca diferencia entre ellos excepto algunos periodos cortos en que se aprecian diferencias. Los picos de aumento del agua en el suelo, en algunos casos por encima de CC (22% p/p), se corresponden con la ocurrencia de lluvias. El contenido de agua en el suelo se mantuvo cercano al 80% de CC para el tratamiento sin estrés de agua (E0), en tanto los niveles E1 y E2 estuvieron siempre por debajo de E0. Los valores

promedio fueron de 18,1%, 14,3% y 13,1% para E0, E1 y E2 respectivamente.

Efecto de la frecuencia de defoliación sin restricción hídrica sobre el rendimiento de forraje

El efecto de la frecuencia de defoliación sin restricción hídrica sobre el rendimiento de forraje cuantifica el potencial de las frecuencias de defoliación utilizadas cuando el agua no es limitante. El efecto del manejo de la defoliación durante primavera y verano agrupados en 3 periodos se presentan en la Figura 2. En cada uno se realizaron dos cortes con la frecuencia F y un corte con la frecuencia A. La menor frecuencia de defoliación incrementó la producción total de forraje en el período en un 46 % respecto del manejo más frecuente. Estos datos concuerdan con los obtenidos por Smith y Nelson (1967) y Alison y Hoveland (1989) quienes obtuvieron incrementos del orden de 65% al pasar de 21 a 42 días entre cortes, con alta intensidad de defoliación (3,5-5 cm); y son mayores a los obtenidos por éstos y otros autores (De Battista y Costa, 1998) cuando se compararon frecuencias superiores a 28-30 días.

Las mayores respuestas a la frecuencia de defoliación ocurrieron en el 2° y 3° período (fines de primavera y verano) probablemente asociadas a variaciones ambientales (radiación y temperatura) y a efectos depresivos acumulados del manejo más frecuente (Figura 2).

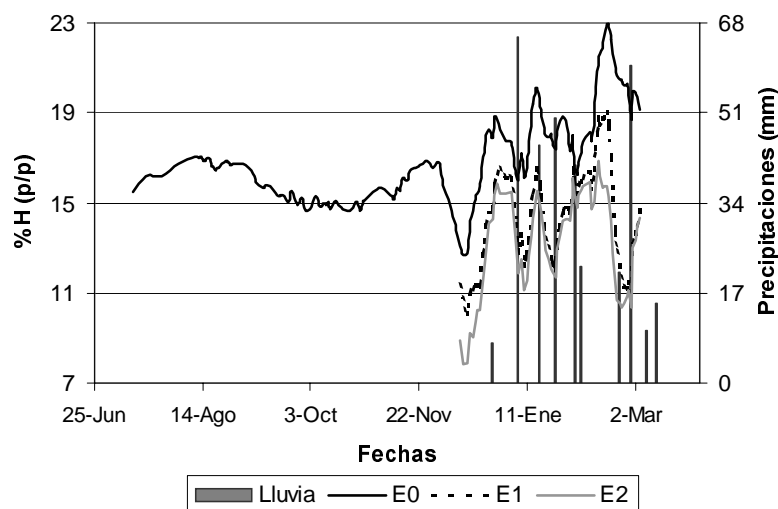


Figura 1. Evolución del contenido de agua en el suelo y eventos de lluvia durante el período experimental. Datos expresados como promedios móviles (n=8).

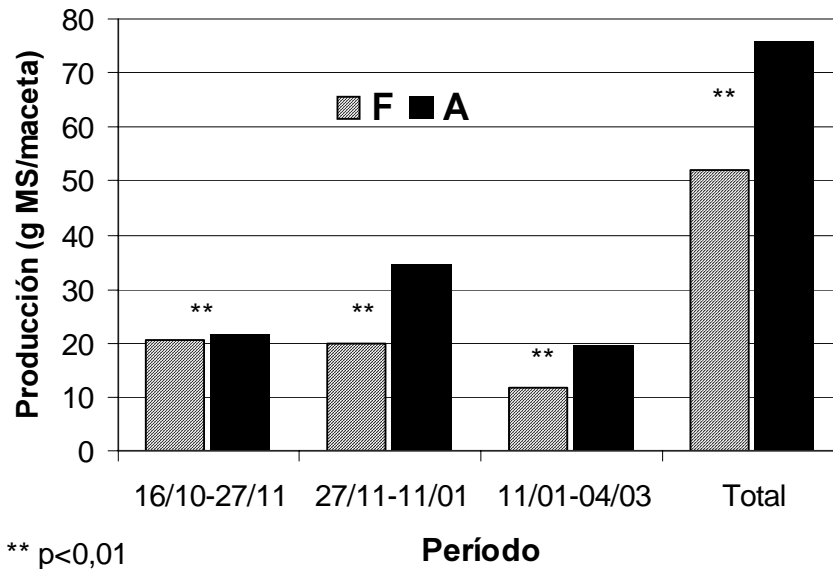


Figura 2. Rendimiento de forraje sin restricción hídrica con frecuencia de defoliación aliviada (A) y frecuente (F) durante todo el periodo experimental.

Persistencia de plantas

El factor que tuvo mayor incidencia sobre la sobrevivencia de las plantas durante el verano (período b: 11/01-04/03) fue el nivel de estrés hídrico (Cuadro 1). El manejo de la defoliación no produjo diferencias en las poblaciones de plantas independientemente del nivel de estrés hídrico. El número de plantas por maceta disminuyó con el aumento de déficit hídrico. La diferencia entre E0 y E1 fue de escasa magnitud mientras que con el nivel de estrés más severo el número de plantas por maceta se redujo drásticamente a menos de la mitad de la población original.

Rendimiento de forraje con distintos niveles de estrés hídrico e interacciones con el manejo de la defoliación

Los resultados obtenidos muestran diferencias en el rendimiento de forraje entre los 3 niveles de estrés promedio de los 2 manejos de corte en los 2 periodos a partir del inicio de los tratamientos de manejo diferencial del agua, los que se corresponden aproximadamente a fines de primavera-verano (a) y verano (b) (Figura 3).

Si bien las diferencias en humedad de suelo entre E1 y E2 no fueron marcadas (Figura 1) se observaron diferencias significativas en la producción de forraje de estos tratamientos indicando la manifestación en las plantas de un nivel de estrés hídrico creciente. En este sentido, Barker y Caradus (2001) señalan que la intensidad del déficit hídrico o sequía es un término puramente relativo, que si bien su intensidad es medida como potencial de agua en el suelo (Mpa), déficit (mm) o contenido de agua en el suelo (g/g, cm³/cm³, %), ninguna de estas variables tiene un efecto lineal sobre la respuesta de las plantas.

El estrés hídrico provocó una depresión del rendimiento disminuyendo al 64 y 51 % en el período (a) y al 45 y 22 % en el período (b), para E1 y E2, respectivamente. Similar respuesta fue informada por Peterson *et al.* (1992) quienes observaron que la producción de lotus bajo estrés hídrico promedió un 21 % del control irrigado.

Resulta evidente la importancia del nivel hídrico durante el verano especialmente en los meses de enero y febrero (período b) en limitar la expresión del potencial de rendimiento de esta especie. Este efecto estuvo determinado en E1 principalmente por una menor producción por planta y en E2 por la combinación de una reducción en el n° de plantas y una menor producción individual, respecto a E0 (Cuadro 1).

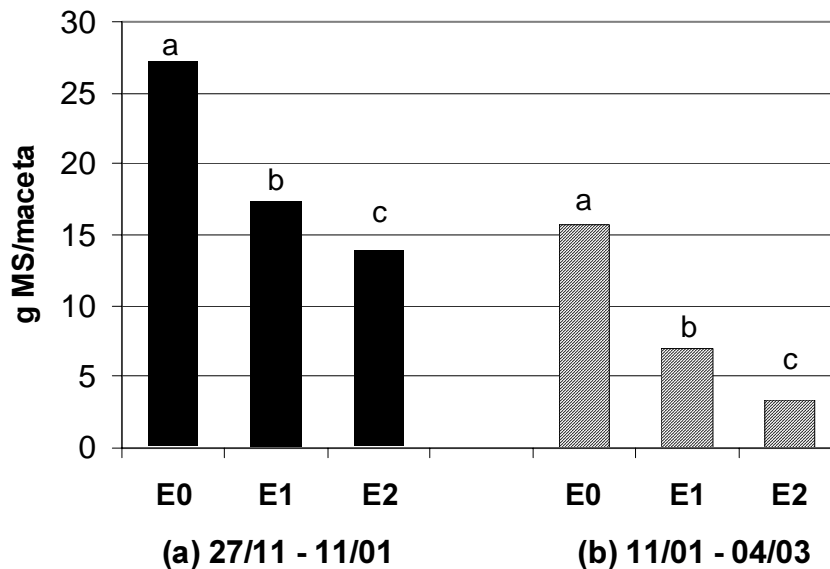


Figura 3. Rendimiento de forraje de lotus con distintos niveles de estrés hídrico. Estrés severo (E2), intermedio (E1) y sin estrés (E0) durante dos periodos: a) 27/11-11/01, (b) 11/01-04/03. Diferentes letras indican diferencias ($p < 0,01$) en el periodo (a) y ($p < 0,05$) en el periodo (b).

Cuadro 1. Efecto del manejo y del estrés hídrico sobre la persistencia de plantas y peso seco de raíces.

Factor	planta /maceta	Peso seco de raíces (g)	
		por planta	por maceta
Manejo	Nº		
A	4,64 a	2,16 a	8,48 a
F	4,53 a	0,89 b	3,92 b
Estrés hídrico			
E0	6,00 a	1,32 a	7,74 a
E1	5,00 b	1,74 a	7,74 a
E2	2,57 c	1,52 a	3,12 b

En cada factor, medias seguidas por letras distintas difieren $p < 0,05$.

La interacción entre manejos de defoliación y niveles de agua fue significativa para los 2 periodos considerados, y los resultados muestran que la respuesta al manejo tiende a disminuir a medida que disminuye el contenido de agua en el suelo (Figura 4). Este efecto es especialmente marcado en el periodo (b) correspondiente a los meses más críticos del verano debido a las altas tasas de evapotranspiración potencial (ETP) en este período. Estos resultados son coincidentes con los reportados en un experimento de campo de 3 años de duración sobre dife-

rentes frecuencias de pastoreo aplicadas a diferentes variedades de lotus (Gardner *et al.*, 1968). Se observó que no hubo diferencias entre las frecuencias sobre el rendimiento de forraje estival de la variedad San Gabriel en ninguno de los años estudiados. Sin embargo, se detectaron diferencias significativas en otoño, invierno y primavera. En resumen del análisis de la interacción manejo y niveles de agua en el suelo durante el verano se puede concluir que la respuesta positiva del lotus en producción de forraje, a los manejos poco frecuentes e intensos, es altamente de-

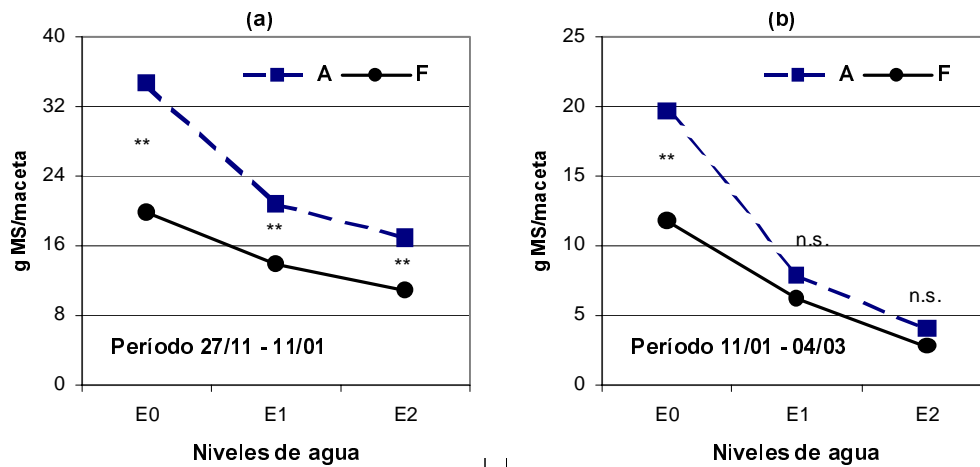


Figura 4. Rendimiento de forraje en lotus. Interacciones entre manejos de la defoliación y distintos niveles de estrés hídrico. Periodos a) 27/11-11/01 y b) 11/01 – 04 /03. ** $p < 0,01$, n.s.: no significativo.

pendiente de las condiciones hídricas del suelo durante el verano, las que asociadas a las altas temperaturas minimizarían los efectos positivos del manejo de la defoliación.

Raíces y relaciones con el rendimiento de forraje

El manejo fue el factor que más efecto tuvo sobre el peso seco de raíces por planta (PSR/pl) y no se detectó efecto de los niveles de estrés hídrico sobre esta variable (Cuadro 1). El PSR/pl fue mayor con el manejo A, siendo la diferencia con respecto al manejo F de 143 %. Sin embargo, cuando se estudia el efecto de los factores manejo y niveles de agua sobre el peso seco total por maceta (PSR/mac), se encontró que ambos factores provocaron efectos significativos (Cuadro 1). El manejo A aumentó a más del doble el PSR/mac en comparación con el manejo F. Entre niveles de agua solo se detectaron diferencias ($p < 0,01$) entre E2 con respecto a E0 y E1. La interpretación de estos resultados se basa en que el peso de raíces por maceta es determinado por dos componentes: el peso de raíces por planta y el número de plantas por maceta (Cuadro 1). Las variaciones en el peso de raíces por maceta originadas por el manejo se debieron fundamentalmente al efecto sobre el peso de raíces por planta, mientras que el estrés hídrico afectó al peso de raíces por maceta a través de una disminución en el número de plantas ya que no hubo diferencias significativas entre niveles de estrés en el peso de raíces por planta (Cuadro 1).

Los datos obtenidos sobre las características de las raíces por planta y por unidad de volumen de suelo (L/pl, S/pl, L/cm³ y S/cm³), así como el diámetro promedio de las raíces (D) en los distintos manejos y niveles de estrés hídrico E0 y E2 se presentan en el Cuadro 2.

Se detectaron diferencias significativas entre manejos para L/pl, L/cm³ y S/cm³, en tanto que los niveles hídricos E0 y E2 solo afectaron al L/cm³ y S/cm³ de suelo. El D no fue afectado significativamente por los tratamientos aunque se detectó una tendencia del manejo A en producir raíces levemente más gruesas en comparación con el F.

Asimismo, en E2, se observó una tendencia a mayores valores de D, L/pl. y S/pl. que los de E0, debido probablemente al menor número de plantas supervivientes en E2.

El L/pl, L/cm³ y S/cm³ fue mayor con el manejo A en comparación con el F. El estrés hídrico lo afectó negativamente a la densidad de raíces en el suelo (L/cm³).

Si bien no se detectaron interacciones significativas entre frecuencias de defoliación y niveles de estrés hídrico para los variables de raíces, sí ocurrieron para la producción de biomasa aérea durante el verano (Figura 4b).

Así en E2 el efecto de la menor frecuencia de defoliación (A) incrementó la biomasa radicular (PSR/pl, PSR/mac) pero no tuvo efecto sobre el forraje producido durante el verano (Figura 4b), mientras que en E0 provocó aumentos en ambas variables.

El efecto positivo del manejo A en E2 sobre las raíces sería debido a que bajo estas condiciones de estrés las plantas realizaron un crecimiento preferencial de las raíces a expensas de la parte aérea, lo cual no ocurrió en el manejo más frecuente.

Cuadro 2. Efecto del manejo y del estrés hídrico sobre el diámetro, largo y superficie de raíces por planta y por unidad de volumen de suelo.

Factor Manejo	Diámetro mm	L/pl cm/pl	L/cm³ cm/cm³	S/pl cm²/pl	S/cm³ cm²/cm³
A	0,835 a	5760 a	3,41 a	1335 a	0,818 a
F	0,770 a	2510 b	1,49 b	686 a	0,367 b
Estrés hídrico					
E0	0,785 a	3720 a	3,39 a	924 a	0,839 a
E2	0,820 a	4550 a	1,51 b	1097 a	0,345 b

En cada factor, medias seguidas por letras distintas difieren $p < 0,05$.

El manejo F provocaría una restricción adicional al déficit de agua debido a que sería más detrimental que el manejo A para la fotosíntesis de las plantas.

Esto impediría la asimilación y acumulación de carbohidratos y otros compuestos en la parte aérea de las plantas y la translocación de los mismos a las raíces provocando una mayor concentración de compuestos orgánicos e inorgánicos (disminución del ψ en las células de las raíces o ajuste osmótico), para que puedan continuar su crecimiento hacia zonas más húmedas y extraer agua del suelo por mayor diferencia de ψ entre las raíces y el suelo (Jones, 1988).

Cuando se estudió la relación entre raíces por maceta y biomasa aérea (R/BA) (período b) (datos no presentados) se observó que la relación R/BA fue mayor en condiciones de estrés hídrico y manejo aliviado (ej: AE1 y AE2) y menor sin restricción hídrica y/o con manejos frecuentes (ej: FE0 y FE2), lo cuál estaría indicando que cuando las plantas sufren déficit hídrico se produce un aumento de la relación entre raíces y parte aérea (R/PA), como estrategia para que la absorción de agua no se resienta. Por otra parte, el efecto de la defoliación frecuente operó de manera inversa provocando reducciones en la R/PA. Resultados similares han sido reportados en los trabajos de Russell (1977), Davidson (1978), Turner y Begg (1978), Jones (1988), Nabinger (1998) y Santiñaque (2001).

Consumo de agua por evapotranspiración y tasa promedio de absorción de agua

El gasto de agua por ET promedio para los meses de Diciembre, Enero y Febrero se presentan en la Figura 5. La ET fue mayor en todos los meses para el manejo aliviado en comparación con el manejo frecuente (Figura 5a), coincidiendo con lo reportado por Barker y Chu (1985), Barker y Caradus (2001) y Santiñaque (2001). Estos autores re-

portaron menores pérdidas de agua del suelo manteniendo a las pasturas con poca biomasa de forraje verde reduciéndose así el consumo de agua.

A altos déficits hídricos es preferible para las plantas tener poca área foliar verde para minimizar la pérdida de agua por las hojas y el calentamiento provocado por la radiación, si esto no ocurre mediante el pastoreo, se producirá por senescencia de hojas (Barker y Caradus, 2001).

Por otra parte la ET disminuyó sensiblemente a medida que el estrés hídrico fue más severo (Figura 5b). Las diferencias entre E0, E1 y E2 en la ET se explica considerando que cuando no existen limitantes de agua en el suelo, el control de la ET se halla en la atmósfera, y en condiciones secas, en el suelo. En condiciones intermedias, puede hallarse parte en la atmósfera, parte en el suelo y parte en las plantas (Black, 1975).

En la Figura 6 se presentan los datos de tasa de absorción de agua promedio diaria del mes de febrero expresada como mm³ de agua por cm de raíz por maceta obtenidos en este trabajo.

Se observaron efectos significativos del manejo y de la interacción manejo x estrés hídrico, la que fue debida a una mayor diferencia entre los manejos en situación de estrés hídrico (E2) en comparación con el efecto en E0.

Así el manejo F presentó una tasa de absorción superior al manejo A especialmente en E2. En general las diferencias entre manejos fueron consecuencia de que el manejo A tuvo mayor densidad de raíces (3,41 cm/cm³) que el manejo F (1,49 cm/cm³), mientras que los valores de ET fueron similares (7,47 y 7,07 mm/d, para A y F, respectivamente). En E2 el manejo A tuvo una densidad de raíces de 2,41 cm/cm³ en tanto para el manejo F fue de 0,61 cm/cm³ y la ET fue 4,69 y 4,37 mm/día para A y F respectivamente.

Considerando estas relaciones y su implicancia agronómica, cuanto mayor sea la densidad de raíces en el

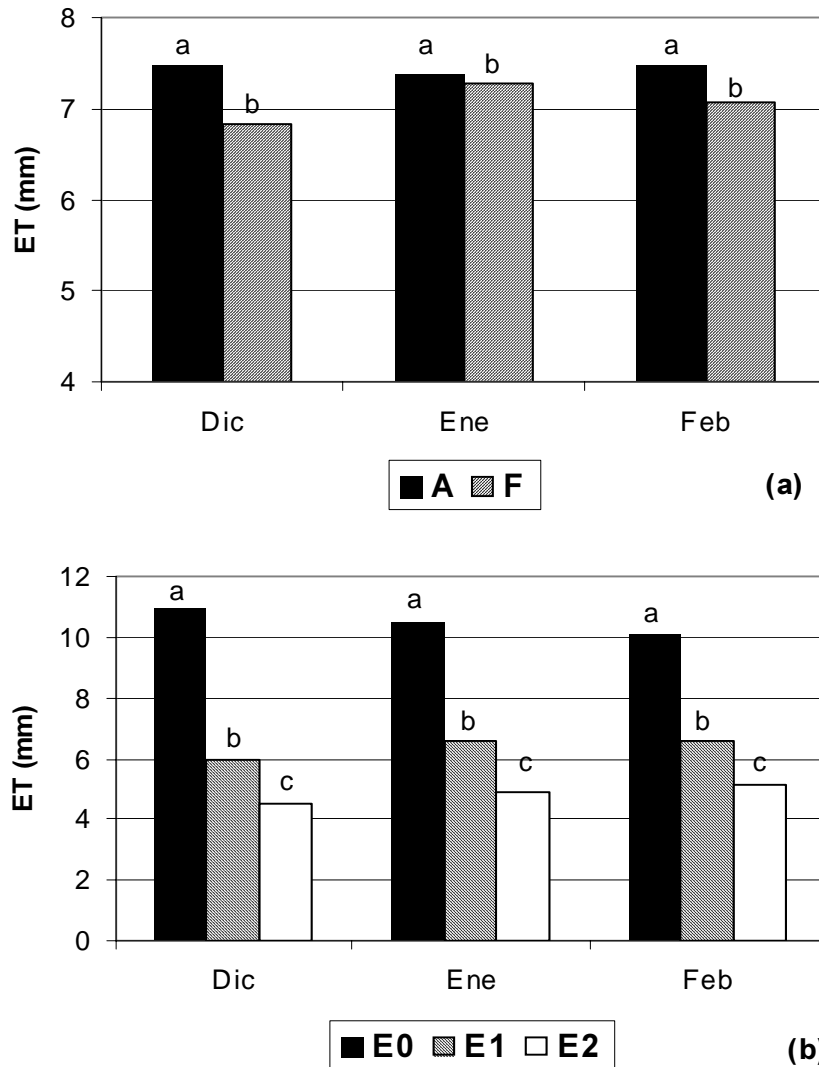


Figura 5. Efecto del manejo (a) y el estrés hídrico (b) sobre la evapotranspiración (ET) media mensual de lotus.

suelo se puede mantener constante una determinada tasa de transpiración de la pastura hasta potenciales de agua en el suelo mas bajos que cuando la densidad de raíces es menor y requiere una mayor diferencia de ψ_{suelo} y $\psi_{\text{raíz}}$ para suplir el flujo de agua para mantener la tasa de ET (Slatyer, 1967). Si el arraigamiento es denso, cada cm de longitud de raíces de la población de plantas deberá absorber poca

agua por unidad de tiempo para junto con lo que absorbe el resto de las raíces de la pastura, restituir a las plantas los mm de agua diarios que deben transpirar. En esta situación la diferencia entre ψ_{suelo} y $\psi_{\text{raíz}}$ puede ser pequeña, en cambio si el arraigamiento es poco denso se requerirán mayores valores de $(\psi_{\text{suelo}} - \psi_{\text{raíz}})$ para mantener la tasa de absorción.

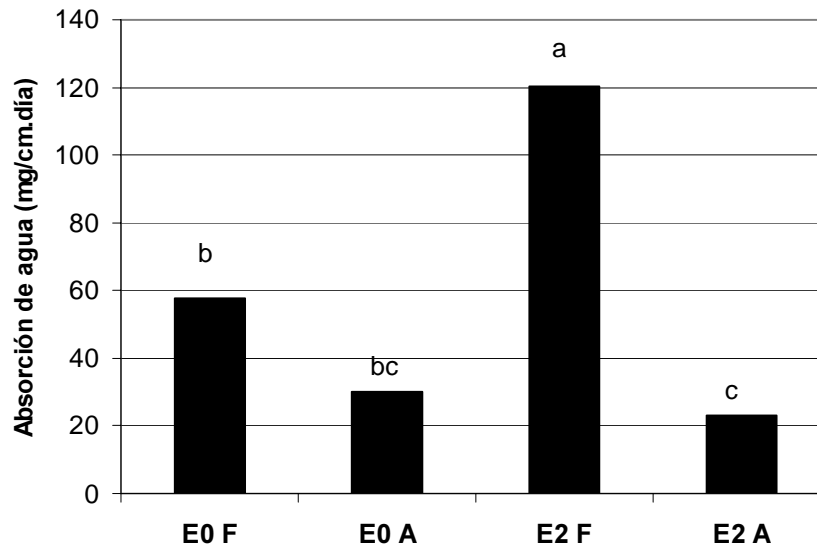


Figura 6. Tasa de absorción de agua diaria (mg/cm raíz) para niveles de estrés hídrico y manejos de defoliación. Medias para el mes de febrero.

CONSIDERACIONES FINALES

Los resultados obtenidos demuestran que el efecto del manejo de la defoliación bajo distintos niveles de agua en el suelo y su influencia sobre el crecimiento y uso del agua en lotus es complejo, e involucra una serie de procesos fisiológicos muchos de los cuales no han sido objeto de este estudio.

El efecto que tuvieron en lotus el manejo aliviado en contraposición con manejo frecuente de la defoliación en relación con los niveles de estrés hídricos parece depender del balance de los beneficios y desventajas de dichas estrategias de manejo dada por una estrecha coordinación entre la parte aérea y las raíces de las plantas. Los resultados obtenidos sobre persistencia de plantas indicarían que ambos manejos fueron ineficaces para impedir la muerte de plantas bajo estrés hídrico severo durante el verano en las condiciones del presente experimento. Por otra parte, estos estudios requerirán de futuros trabajos en condiciones de campo. Sin embargo, el manejo A permitió sostener mayor crecimiento aéreo bajo estrés durante fines de primavera verano (período a). Si bien este manejo no tuvo efecto sobre la producción de forraje netamente estival (período b), mantuvo una mayor densidad y masa de raíces en el suelo, que podría implicar una mejor respuesta de las plantas cuando se levantaran las restricciones hídricas.

No obstante, es posible que existan niveles de frecuencia y/o momentos de la defoliación que provoquen un mejor balance entre rendimiento de biomasa total de las plantas, partición entre raíces y parte aérea y el consumo de agua del suelo por ET.

Por tanto, se considera importante en futuros trabajos estudiar en experimentos de campo con la inclusión de más niveles de frecuencia de la defoliación y combinaciones de las mismas en primavera y verano para cuantificar estas relaciones y su efecto sobre la producción y persistencia de la especie. En relación con las variables de respuesta estudiadas en este trabajo y su utilidad en programas de mejoramiento genético de la especie, resulta evidente que el rendimiento o tasa de crecimiento de forraje durante el verano es una característica, que usada en forma aislada, tendría poco valor para mejorar la tolerancia a la sequía de lotus.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a los Ings. Agrs. Ana Terzaghi, Daniel Martino y Alejandro Morón por su valiosa colaboración y contribución en distintos aspectos de este trabajo. A la Sección Suelos de INIA La Estanzuela por la colaboración de su personal en el uso de equipos y trabajos de laboratorio.

BIBLIOGRAFÍA

- ALISON, M.W and HOVELAND, C. S. 1989. Birdsfoot trefoil management. II. Yield, Quality, and Stand Evaluation. *Agronomy Journal*. 81: 745 - 749.
- BARKER, D.J. and CARADUS, J.R. 2001. Adaptation of forage species to drought. Proceedings of the XIX International Grassland Congress. S.P. Brazil pp. 241 - 254.
- BARKER, D.J. and CHU, A.C.P. 1985. Strategies for dryland pasture management - a review. *Proc. Agr. Soc. of New Zealand*. 15: 115 -119.
- BLACK, C. A. 1975. Relaciones Suelo - Planta. Ed. Hemisferio Sur. 866p.
- BROUGHAM, R.W. 1959. The effects of frequency and intensity of grazing on the productivity of a pasture of short - rotation ryegrass and red and white clover. *New Zealand J. Agric. Res.* 2 : 1232 - 1248.
- CARÁMBULA, M. 1977. Producción y Manejo de Pasturas Sembradas. Ed. Hemisferio Sur. 464p.
- CHAO , L., DE BATTISTA, P., and SANTIÑAQUE, F. H. 1994. Incidence of birdsfoot trefoil crown and root rot in west Uruguay and Entre Rios (Argentina). In: International Lotus Symposium. Ed. Beuselink, P.R., Roberts, C.A. University of Missouri. USA. pp 206 -208.
- DAVIDSON, R. L. 1978. Root systems - the forgotten component of pastures. In: *Plant Relations in Pastures*. Ed. Wilson, J.R. CSIRO. pp. 86 - 94.
- DE BATTISTA, J.P y COSTA, M.C. 1998. Efecto del régimen de defoliación sobre la producción de dos especies de lotus. INTA. EEAC. del Uruguay. *Producción Animal. Inf. Téc.* N° 4. pp 75 -79.
- FORMOSO, F. 1996. Bases morfológicas y fisiológicas del manejo de pasturas. In: *Producción y Manejo de Pasturas*. Ed. Risso, D., Berretta, E. J. y Morón, A. INIA Tacuarembó. Serie Técnica 80. pp. 1 - 19.
- GARCÍA, J. 1979. Manejo estival de *Festuca Arundinacea*. In: 2ª Reunión Técnica de la Facultad de Agronomía. Montevideo. Uruguay. pp. 13.
- GARDNER, L., CENTENO, G., DE LUCIA, R y ALBURQUERQUE, H. 1968. Comportamiento de once variedades de *Lotus corniculatus* en La Estanzuela. Centro de Investigaciones Agrícolas "Dr. Alberto Boerger", Boletín Técnico N° 8. Uruguay. 23 p.
- HARRIS, W. 1978. Defoliation as a determinant of the growth, persistence and composition of pasture. In: *Plant Relations in Pastures*. Ed. Wilson, J.R. CSIRO. pp. 67 - 85.
- JONES, M.B. 1988. Water relations. In: *The Grass Crop*. Ed. Jones, M.B and Lazenby, A. Chapman and Hall Ltd. pp. 205 - 241.
- LANGLANDS, J.P and BENNET, I.L. 1973. Stocking intensity and pastoral production. I. Changes in the soil and vegetation of a sown pasture grazed by sheep at different stocking rates. *J. Agric. Sci. Camb.* 81: 193 - 204.
- MORALES, A., DE BATTISTA y SANTIÑAQUE, F.H. 2000. Efecto de la intensidad de defoliación sobre la producción y persistencia de *Lotus corniculatus* L. sembrado en cobertura sobre una pastura natural. In: XVI Reunión Latinoamericana de Producción Animal. Montevideo. Uruguay.
- NABINGER, C. 1998. Principios de manejo e productividad de pastagens. In: *Ciclo de Palestras em Producao e Manejo de Bovinos para Corte. Enfase: Manejo e Utilizacao Sustentavel de Pastagens*. ULBRA. RS. Brasil. pp. 54 - 107.
- PETERSON, P.R., SCHEAFFER, C.C. and HALL, M.H. 1992. Drought effects on perennial forage legumes yield and quality. *Agronomy Journal*. 84: 774 - 779.
- RUSSELL, R.S. 1977. *Plant Root Systems: Their function and interaction with the soil*. Ed. Mc Graw Hill. 298p.
- SANTIÑAQUE, F. H. 2001. Defoliation and water deficit: their influence on pasture growth and water use of white clover. Proceedings of the XIX International Grassland Congress. S.P. Brazil pp. 58 - 59.
- SANTIÑAQUE, F.H. 1996. Relaciones agua - planta en pasturas. In: *Manejo y Fertilidad de Suelos*. Ed. Morón, A., Martino, D y Sawchik, J. INIA La Estanzuela. Serie Técnica 76. pp. 125 - 128.
- SAS INSTITUTE. 1996. *SAS/STAT. Guide for Personal Computers*. Ed. SAS Inst., Cary, N.C.
- SLATYER, R. O. 1967. *Plant - Water Relationships*. Ed. Academic Press. 366p.
- SMITH, D. and NELSON, C.J. 1967. Growth of birdsfoot trefoil and alfalfa. I. Responses to height and frequency of cutting. *Crop Sci.* 7: 130 - 133.
- TURNER, N.C. and BEGG, J.E. 1978. Responses of pasture plants to water deficits. In: *Plant Relations in Pastures*. Ed. Wilson, J.R. CSIRO. pp. 50 - 66.