

Efectos de la distancia de siembra sobre la producción de biomasa y la persistencia de un cultivo de alfalfa

Row spacing effects on biomass production and persistence of alfalfa crops

Mattera¹, J., Romero¹, L.A., Cuatrín¹, A. y Grimoldi², A.A.

Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, EEA Rafaela, Argentina
IFEVA-CONICET, Cátedra de Forrajicultura, Facultad de Agronomía - UBA

Resumen

El acercamiento de los surcos permite lograr una distribución más equidistante de las plantas, esta mejora en el arreglo espacial aumenta en general la captación de recursos, especialmente la radiación. El objetivo del trabajo fue estudiar los efectos de la distancia de siembra sobre el arreglo espacial, la producción de biomasa y la persistencia de un cultivo puro de alfalfa. Se realizó un experimento en la EEA INTA-Rafaela (Prov. Santa Fe) donde se evaluaron en una misma densidad tres distancias de siembra entre surcos: 15 cm, 17,5 cm y 21 cm, y dos cultivares de alfalfa: Monarca (sin reposo invernal) y Victoria (reposo invernal intermedio). Se registró la producción de biomasa aérea, la densidad y el peso aéreo de las plantas, y el índice de rectangularidad del canopeo durante tres años de producción del cultivo. La distancia de siembra intermedia (17,5 cm) alcanzó la mayor producción en ambos cultivares, por un incremento de producción principalmente en los meses de primavera-verano. En la distancia de 15 cm se estableció un mayor número de plantas hasta el año y medio del cultivo, pero el peso aéreo por planta fue inferior al resto de los tratamientos. En cuanto al arreglo espacial de las plantas, las parcelas sembradas a mayor distancia (21 cm) presentaron un arreglo más rectangular durante la mayor parte del experimento. En conclusión, la distancia de 17,5 cm combinó características favorables de un mayor peso aéreo por planta que la distancia de 15 cm en los primeros años del cultivo, y un arreglo espacial más cuadrado en relación con la distancia de 21 cm. Se propone que una menor competencia intra-específica y una mayor intercepción de radiación, respectivamente, serían los mecanismos involucrados en las respuestas observadas. La persistencia no se vio afectada por la distancia de siembra ya que el número de plantas al tercer año del cultivo fue similar entre distancias.

Palabras clave: distancia de siembra, alfalfa, arreglo espacial.

Summary

Reducing row spacing allows reaching a better distribution of the plants; the improvement of the spatial arrangement generally increases resource exploitation, especially light interception. The objective of this work was to study the effects of row spacing on spatial arrangement, biomass production and plant persistence of a pure alfalfa crop. The experiment was performed in the EEA INTA-Rafaela (Prov. Santa Fe) where three row distances at the same density were

Recibido: agosto de 2009

Aceptado: diciembre de 2009

1. Ings. Agrs. Técnicos de la EEA INTA-Rafaela. C.C. 22 (2300) Rafaela, Santa Fe. jmattera@rafaela.inta.gov.ar
2. Investigador Adjunto. IFEVA-CONICET, Facultad de Agronomía - UBA

evaluated: 15 cm, 17.5 cm and 21 cm, and two alfalfa cultivars: Monarca (without winter dormancy) and Victoria (intermediate winter dormancy). Aerial biomass production, plant density and aerial plant weight, and canopy rectangularity index during three years were assessed. For both cultivars, the intermediate distance (17.5 cm) was the most productive treatment, principally associated to biomass increments during spring and summer seasons. In the 15 cm distance, it was established a greater number of plants until the first year and a half, but contrarily the aerial weight of the plants was lower than at the rest of the treatments. In relation to the plant spatial arrangement, plots sown at higher distances (21 cm) presented the highest rectangularity index during most of the experiment. In conclusion, the 17.5 cm distance combined two favourable characteristics: a greater aerial plant weight than the 15 cm distance during the first years of the crop, and a more square arrangement in relation to the 21 cm distance. It is proposed that a lower intra-specific competition and a higher radiation interception, respectively, would be the mechanisms involved in the observed responses. The persistence of the crop was not affected by row spacing, due to the number of plants at the end of the experiment was similar between distances.

Key words: sowing distance, alfalfa, spatial arrangement.

Introducción

La distancia de siembra es una práctica que afecta la capacidad de un cultivo para captar recursos, entre ellos la radiación incidente (Bullock et al., 1988). El acercamiento de los surcos, que genera una distribución más equidistante de las plantas, ha sido estudiado en diversos cultivos agrícolas, donde se reportan casos con respuestas favorables sobre el rendimiento por un aumento en la cantidad de radiación fotosintéticamente activa interceptada durante el ciclo del cultivo (Board et al., 1992; Barbieri et al., 2000, Andrade et al., 2002). En pasturas perennes son escasos los antecedentes acerca del efecto del acercamiento de los surcos sobre la producción de forraje. En pasturas de alfalfa existen antecedentes de ensayos realizados en Australia con una mayor producción a menores distancias (Roufail, 1975; Lutz y Morley, 1982). El ensayo realizado por Lutz y Morley (1982) presenta la desventaja de que al acercar la distancia de siembra se incrementó la densidad por lo cual se confunden los efectos de ambas prácticas. En Balcarce (Argentina) al intersembrar alfalfa o trébol rojo sobre pasturas degradadas hallan que menores distancias aumentan el índice de área foliar y la producción en el primer corte (Colabelli et al., 2002). Contrariamente, en

una pastura de agropiro sembrada en un suelo marginal (Natracuol) de la Pampa Deprimida (Argentina) en un año con restricción hídrica, el arreglo más cuadrado produjo menos forraje por una menor eficiencia de uso de la radiación (Bertram, 2008).

La siembra de pasturas de especies perennes se realiza generalmente con altas densidades de semilla de forma tal de asegurar una buena implantación. Esta situación puede determinar condiciones que acentúen la competencia intra-específica del cultivo. En este contexto, los cambios en la distancia de siembra pueden afectar las relaciones de competencia a nivel intra-específico y el tamaño individual de las plantas (Park et al., 2003), y esto influir en las características productivas de la pastura (Colabelli et al., 2002). En los últimos años se ha difundido en la Argentina el uso de maquinarias de siembra que han variado la distancia entre los surcos. Tradicionalmente la distancia entre surcos era de 15 cm a 17,5 cm, y actualmente ha ido aumentando hasta una distancia de 21-22 cm. Naturalmente, a una misma densidad de plantas esta tendencia en el diseño de la maquinaria agrícola produciría arreglos más rectangulares de las plantas. El objetivo de este trabajo fue analizar los efectos de la distancia de siembra sobre la acumulación de biomasa aérea y la

persistencia de alfalfa. De acuerdo con los antecedentes se puso a prueba la hipótesis de que al disminuir la distancia de siembra se genera un arreglo espacial más equidistante entre las plantas que aumenta la producción de biomasa del cultivo de alfalfa. La experiencia se realizó en la EEA INTA-Rafaela durante tres años de producción del cultivo. Esta información es de interés debido a la extensa superficie cultivada con alfalfa en el país, y porque aumentar la producción forrajera resulta un aspecto clave en la intensificación de las tierras destinadas para la ganadería.

Materiales y Métodos

Sitio de estudio

El experimento se realizó en la EEA INTA-Rafaela en el Centro-Oeste de la Prov. de Santa Fe. El clima de la región es sub-húmedo húmedo y mesotermal. El experimento se llevó a cabo en un lote correspondiente al complejo *Leh2* con suelos Argiúdoles típicos (Serie Rafaela) y Argiúdoles ácuicos (Serie Lehman) (Mosconi et al., 1981) con 3,28% de materia orgánica (Walkley y Black) en el estrato superior del suelo (0-15 cm), 65,6 ppm de fósforo (Bray y Kurtz 1) y 6 de pH (agua). Abundantes precipitaciones en el período previo a la implantación (415 mm en febrero y marzo de 2003) e inmediatamente posterior al mismo (30 mm) aseguraron buenas condiciones hídricas en la cama de siembra. Los veranos 2003-04 y 2005-06 fueron más secos que lo normal para Rafaela, las precipitaciones acumuladas fueron respectivamente 52 y 39% inferiores que la serie histórica (352 mm). En cambio, el verano 2004-05 fue normal (353 mm).

Tratamiento y diseño experimental

Se sembraron dos cultivares de alfalfa ampliamente difundidos en el país: Monarca (sin reposo invernal) y Victoria (con reposo invernal intermedio). Ambos materiales fueron desarrollados por el INTA y se utilizan como testigos en los ensayos de la red de alfalfa del INTA (Spada, 2008). En Rafaela los cultivares sin reposo invernal presentan la ventaja de

alcanzar mayores tasas de crecimiento en otoño-invierno. Las semillas no fueron inoculadas, ya que en el lote se realizan frecuentemente ensayos de alfalfa y la presencia de poblaciones de *Sinorhizobium meliloti* naturalizadas fue observada en reiteradas oportunidades.

Se evaluaron tres distancias de siembra entre surcos: 15 cm, 17,5 cm y 21 cm. Las distancias evaluadas se eligieron en relación con las tendencias observadas en los equipos disponibles para la siembra de pasturas. La densidad de siembra fue de 7 kg de semilla ha^{-1} , relativamente más baja a la utilizada comúnmente por productores pero suficiente para lograr pasturas altamente productivas (Romero et al., 1991). La densidad de siembra fue la misma en todos los tratamientos, para lo cual se ajustó en cada distancia la cantidad de semillas sembradas por metro lineal de surco, logrando así la misma densidad de semillas por m^2 (ver arreglo espacial en Figura 1). Es decir, a medida que se acercan los surcos, se alejan las semillas en la hilera de siembra siendo en este caso la distribución más equidistante.

El ensayo se sembró el 14/05/03 con un diseño de bloques completos aleatorizados ($n=3$) y se evaluó durante un período de tres años. El suelo se preparó mediante labranza convencional con dos labores de rastra de discos y una labor con rastra de dientes para uniformar el terreno. La siembra se realizó con una sembradora monosurco. Previamente se marcaron surcos de 5 m de longitud, estableciendo seis surcos por parcela en la distancia de 15 cm, cinco surcos en la de 17,5 cm y cuatro surcos en la de 21 cm, de esta forma se obtuvieron parcelas de tamaño similar. Las parcelas se mantuvieron libres de malezas por medio de la aplicación de herbicidas selectivos.

Mediciones

La producción de biomasa se evaluó por medio de cortes durante los tres años de duración del ensayo. El primer corte se realizó a los 140 días desde la siembra. A partir de ese momento, se hicieron otros 20 cortes distribuidos en los tres años. Los cortes se

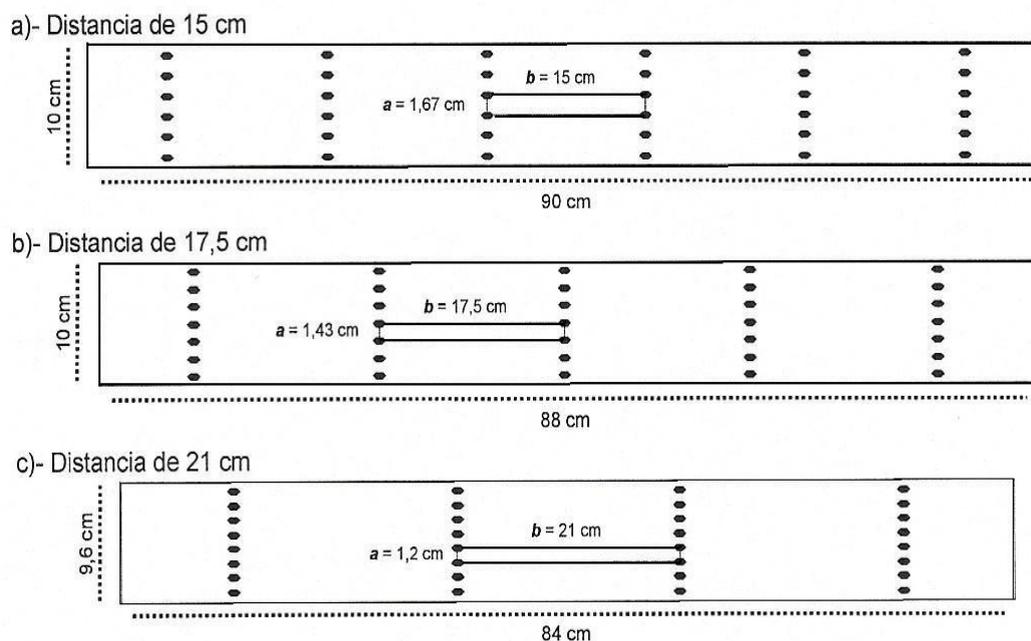


Figura 1: Arreglo espacial teórico de las semillas para tres distancias de siembra: a)- 15 cm, b)- 17,5 cm, y c)- 21 cm. La densidad de siembra fue la misma en las tres distancias evaluadas. La separación entre semillas dentro del surco está representada por la letra *a*, en tanto que la letra *b* identifica la separación entre los surcos.

Figure 1: Theoretical spatial arrangement of the seeds for three row spacings: a)- 15 cm, b)- 17,5 cm, and c)- 21 cm. Sowing density was equal for the three studied distances. Seeds within the row separation is represented by the letter *a*, while letter *b* identifies row separation.

efectuaron con las parcelas en 10% de floración en primavera-verano (33 ± 7 días entre cortes) y con una frecuencia más baja en otoño-invierno (60 ± 17 días entre cortes). Los cortes se realizaron con motoguadadora a una altura de 4 cm sobre el suelo. La superficie cortada de cada parcela fue de: $4,5 \text{ m}^2$ para 15 cm, $4,4 \text{ m}^2$ para 17,5 cm, y $4,2 \text{ m}^2$ para 21 cm. Se registró el peso fresco del material cosechado y se tomaron muestras para estimar el porcentaje de materia seca del forraje en cada parcela. Dichas muestras fueron secadas en estufa (60°C) durante 48 hs. Los valores se convirtieron a materia seca y se estandarizaron a una misma unidad de superficie (hectárea) para las comparaciones entre tratamientos.

La persistencia de las pasturas se evaluó a través de la evolución del número de plantas en cada tratamiento a través de los tres años de duración del ensayo. Los recuentos de plantas se realizaron en siete oportunidades (30/09/03, 23/03/04, 17/11/04, 04/04/05, 19/10/05, 27/12/05 y 02/03/06). Se efectuaron el día posterior a cada uno de los rebrotes para facilitar la identificación de cada una de las coronas, en forma visual y manual, inspeccionando detalladamente la base de las plantas. Se realizaron sobre la parte central de cada parcela en una superficie de: $0,9 \text{ m}^2$ para 15 cm, $0,88 \text{ m}^2$ para 17,5 cm; y $0,84 \text{ m}^2$ para 21 cm. Todos los recuentos fueron posteriormente estandarizados a una misma unidad de superficie (m^2). Se estimó el peso aéreo

promedio por planta a través del cociente de la producción de materia seca m^{-2} y el número de plantas m^{-2} .

Para evaluar el arreglo espacial de las plantas en cada tratamiento, se calculó el índice de rectangularidad como el cociente entre la distancia entre surcos y la distancia entre plantas de un mismo surco (Willey y Heath, 1969). Para el cálculo se utilizaron las distancias experimentales (15 cm, 17,5 cm y 21 cm) y la distancia promedio entre plantas de un mismo surco registradas en los recuentos periódicos de número de plantas (asumiendo una distribución regular de plantas en la hilera). Un índice igual a uno indica un arreglo espacial cuadrado, donde la distancia entre surcos es igual a la distancia entre plantas del mismo surco. A medida que el índice se aleja de la unidad el arreglo espacial se hace más rectangular.

Análisis estadístico

La producción total de biomasa se analizó mediante análisis de varianza de un diseño de bloques completos aleatorizados con arreglo factorial de los tratamientos (factores: cultivar y distancia de siembra). La evolución de la producción de materia seca, densidad de plantas, peso aéreo por planta e índice de rectangularidad se analizaron en un diseño de bloques completos al azar con arreglo factorial de los tratamientos y medidas repetidas en el tiempo. Para los análisis se utilizó el procedimiento MIXED del paquete estadístico SAS v9.1.3 (SAS Institute, Cary, NC. 2004). La interacción entre distancia y cultivar no fue significativa para ninguna de las variables. Las diferencias entre distancias se evaluaron por medio de comparaciones múltiples dentro de cada cultivar. Cuando se detectaron diferencias significativas entre cultivares las mismas se evaluaron por medio de comparaciones múltiples. En complemento, los datos de densidad fueron ajustados mediante regresiones lineales simples en función del tiempo para el período de mayor mortalidad de plantas (Mzo 04 – Abr 05) con el objeto de comparar pendientes (tasas de mortalidad) mediante la prueba de paralelismo y coincidencia (Pon-

taque, 2005) con el procedimiento GLM del paquete estadístico SAS v9.1.3 (SAS Institute, Cary, NC. 2004).

Resultados

Producción de materia seca

La distancia de siembra tuvo un efecto significativo sobre la producción total de forraje ($p < 0,01$; Figura 2). En ambos cultivares, la mayor acumulación de forraje se registró en la distancia intermedia de 17,5 cm para todo el ciclo del cultivo. En términos relativos, la producción total a 17,5 cm fue superior a 15 cm en un 20% y en un 15% para los cultivares Monarca y Victoria respectivamente ($p < 0,01$); con respecto a la distancia de 21 cm la producción fue 11% superior en Monarca ($p < 0,01$), mientras que en Victoria fue un 6% mayor aunque las diferencias no llegaron a ser significativas ($p = 0,11$). En términos generales, la producción de materia seca del cultivar Monarca (sin reposo invernal) fue un 14% superior ($p < 0,05$) a la del cultivar Victoria (reposo invernal intermedio). Como era de esperarse, las diferencias de producción entre distancias de siembra se hallaron principalmente en los períodos primavera-estivales para los tres años evaluados (Figura 2). Para el cultivar Monarca, la producción de biomasa en la distancia de 17,5 cm fue superior en relación con la distancia de 15 cm en 8 de los 10 cortes donde se encontraron diferencias significativas, y en 5 de los 10 cortes en comparación con la distancia de 21 cm. Para el cultivar Victoria, la producción de biomasa en la distancia de 17,5 cm fue superior en relación con la distancia de 15 cm en 6 de los 10 cortes donde se encontraron diferencias significativas, y en 5 de los 10 cortes en relación con la distancia de 21 cm (Figura 2).

Densidad de plantas y peso aéreo por planta

En el primer recuento se registró un alto número de plantas en todos los tratamientos analizados, demostrando que la siembra del ensayo fue satisfactoria (Figura 3a). Sin embargo, ya desde ese momento, la distancia de siembra tuvo un efecto significativo ($p < 0,01$)

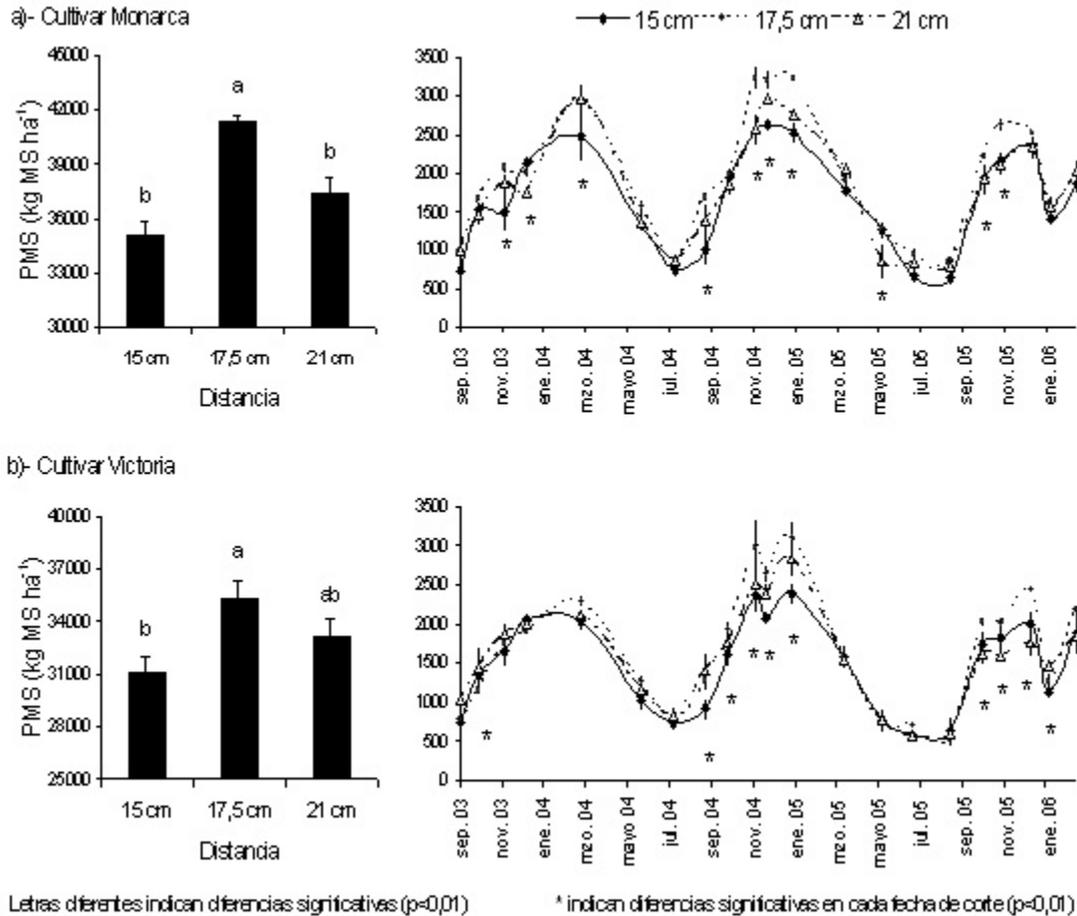


Figura 2: Producción de materia seca total y por corte de cultivos puros de alfalfa durante tres años para cada cultivar: a) Monarca y b) Victoria para tres distancias de siembra (15 cm, 17,5 cm y 21 cm). Los valores son medias \pm ES de tres repeticiones.

Figure 2: Total and partial dry matter production of pure alfalfa crops in three years for each cultivar: a) Monarca and b) Victoria for three row distances (15 cm, 17,5 cm and 21 cm). Values are means \pm SE for three replications.

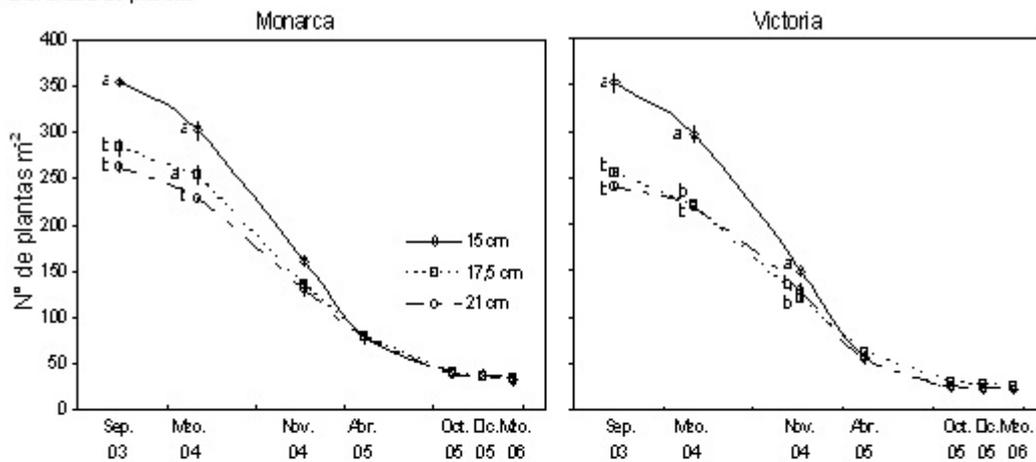
sobre la densidad de plantas instaladas. Se registró una mayor densidad de plantas en la distancia de 15 cm, hasta el año después de la siembra en el cultivar Monarca y hasta el año y medio en el cultivar Victoria (Figura 3a). Para ambos cultivares, la densidad de plantas en dicha distancia fue un 30% mayor con respecto a los otros tratamientos. Sin embargo, en esas condiciones, las plantas de am-

bos cultivares fueron marcadamente menores en tamaño (aprox. 40% más livianas; $p < 0,01$) con respecto a las plantas de distancias más separadas durante los dos primeros años del cultivo (Figura 3b). Entre la distancias de 17,5 cm y 21 cm no se encontraron diferencias en el peso aéreo por planta. En posteriores recuentos, la densidad fue disminuyendo, registrándose altas tasas de mortalidad en el

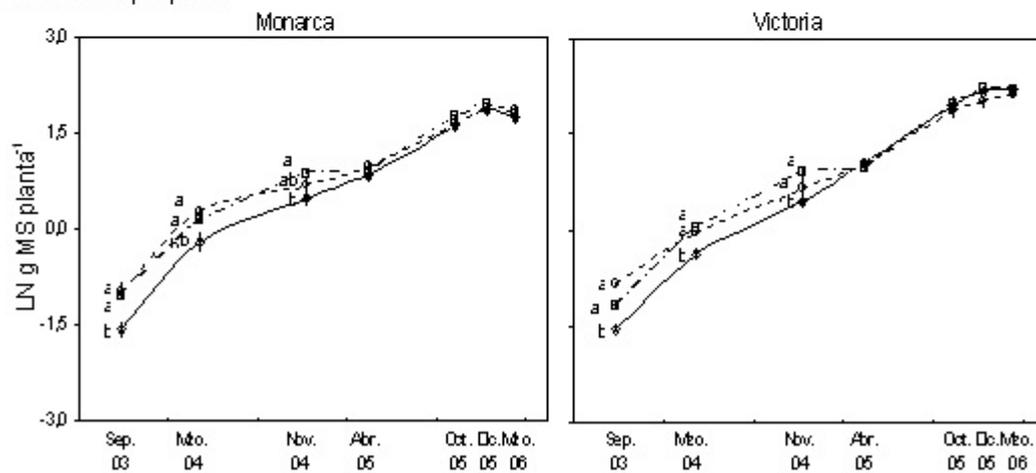
segundo año del ciclo del cultivo. En ese período (Mzo 04 – Abr 05), la tasa de mortalidad de plantas fue mayor en la distancia de 15 cm, ya que se registró una pendiente significativamente más negativa ($p < 0,05$) en función

del tiempo en comparación con los otros tratamientos. Dicho efecto determinó que a partir de Abril de 2005 no se encontraran diferencias en densidad asociadas a la distancia de siembra (Figura 3a).

a)- Densidad de plantas



b)- Peso aéreo por planta



Letras distintas indican diferencias significativas en cada fecha de medición ($p < 0,01$).

Figura 3: Efecto de la distancia de siembra sobre la evolución de: a) la densidad de plantas y b) el peso aéreo por planta, durante los tres años para los cultivares Monarca y Victoria para tres distancias de siembra (15 cm, 17,5 cm y 21 cm). Los valores son medias \pm ES de tres repeticiones.

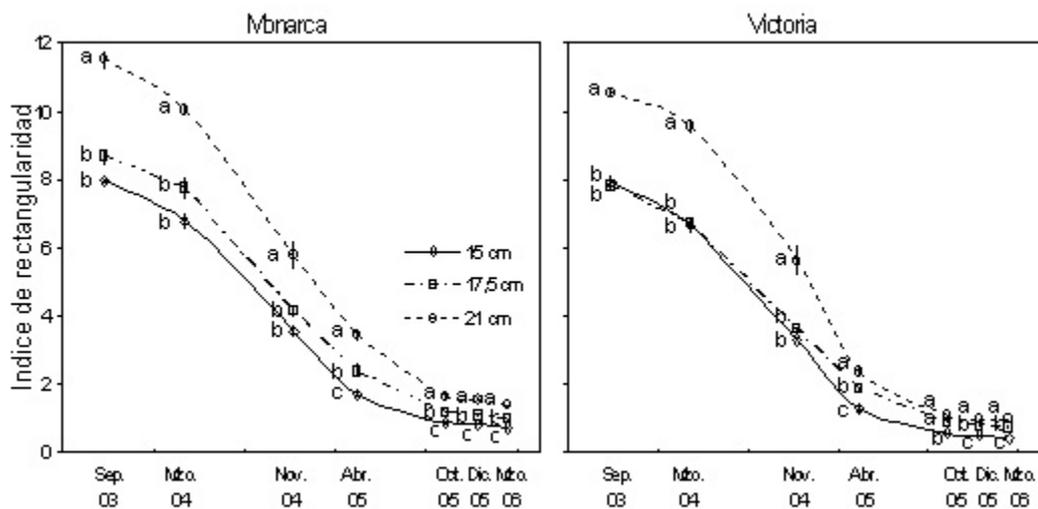
Figure 3: Row distance effect over the evolution of: a) plant density and b) aerial plant weight, in three years for cultivars Monarca and Victoria for three row distances (15 cm, 17,5 cm and 21 cm). Values are means \pm SE for three replications.

Índice de rectangularidad

En términos generales, los valores de rectangularidad del canopeo se fueron acercando a la unidad en estrecha relación con la tasa de mortalidad de las plantas (comparar Figuras 3a y 4). Sin embargo, la rectangularidad aumentó marcadamente en relación con la distancia de siembra (Figura 4). Para ambos cultivares, las parcelas sembradas a mayor distancia (21 cm) presentaron un índice mayor con respecto a los demás tratamientos, indicando un arreglo más rectangular durante la mayor parte del ensayo. No se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$) entre las distancias de 15 cm y 17,5 cm hasta inicios del tercer año de cultivo.

Discusión

Los resultados del experimento muestran que la distancia de siembra intermedia (17,5 cm) alcanzó la mayor producción de forraje, debido a los incrementos registrados en los períodos de mayor tasa de crecimiento para el cultivo de alfalfa (primavera-verano). La respuesta fue similar en los dos cultivares evaluados y se manifestó tanto en veranos normales (2004-05) como en veranos secos (2005-06). Los resultados coinciden con lo reportado por Roufail (1975), donde las parcelas de alfalfa sembradas a menor distancia fueron las de mayor producción de biomasa. Sin embargo, en dicho estudio se probaron tratamientos muy contrastantes dentro de un



Letras distintas indican diferencias significativas en cada fecha de medición ($p < 0,01$).

Figura 4: Efecto de la distancia de siembra sobre el índice de rectangularidad del arreglo espacial durante los tres años para los cultivares Monarca y Victoria para tres distancias de siembra (15 cm, 17,5 cm y 21 cm). Los valores son medias \pm ES de tres repeticiones.

Figure 4: Row distance effect over rectangularity index of the spatial arrangement in three years for cultivars Monarca and Victoria for three row distances (15 cm, 17,5 cm y 21 cm). Values are means \pm SE for three replications.

rango más amplio: las distancias menores fueron siembra al voleo y 15 cm, seguidas por distancias de 30 cm y 45 cm. En nuestro experimento se analizó un rango más acotado de distancias, ubicado en el extremo inferior de lo evaluado por Roufail (1975). En nuestro estudio, los resultados muestran una respuesta de tipo óptimo para el cultivar Monarca, y una tendencia similar para el cultivar Victoria (Figura 2). Se propone que la producción de biomasa en la distancia intermedia (17,5 cm) se vio favorecida por dos mecanismos diferentes: una menor competencia intra-específica (Figura 3) y una mayor interceptación de luz por el canopeo (Figura 4).

En relación con el número de plantas logradas, se ha demostrado la existencia de interacciones competitivas entre plántulas desde estadios muy tempranos en el ciclo de producción de las pasturas (Skinner, 2005). Esta situación explicaría la mayor densidad de plantas lograda a 15 cm de distancia en nuestro experimento (Figura 3), ya que al reducirse la distancia entre surcos se aumenta la distancia entre las semillas sembradas, reduciendo la competencia y pudiendo aumentar así la supervivencia de las plántulas. Roufail (1975) encontró un patrón similar partiendo de una misma densidad de siembra, ya que al cabo de 90 días las distancias más cercanas presentaban una densidad 90% superior en relación con las distancias más lejanas. Sin embargo, en nuestro experimento, la menor densidad establecida a 17,5 cm vs. 15 cm permitió el desarrollo de plantas más grandes durante la mayor parte del experimento, que redundó en una mayor producción de forraje en la distancia intermedia (17,5 cm). El menor peso aéreo promedio por planta y la mayor tasa de mortalidad durante el segundo año del cultivo, sugieren que en la distancia de 15 cm se estableció una jerarquía de tamaños (vigor) diferente al resto de los tratamientos, con una mayor proporción de plantas pequeñas suprimidas, que serían las que murieron durante el segundo año del cultivo. En ese sentido, es sabido que el proceso de mortandad densodependiente involucra siempre la muerte de las plantas más débiles (Harper, 1977). Un

efecto similar fue encontrado en pasturas de agropiro donde un mayor número de plantas establecidas en la distancia más cercana generó condiciones de mayor mortalidad tardía y menor producción de forraje (Bertram, 2008). En nuestro experimento, si bien la evolución de la densidad de plantas fue afectada por la distancia de siembra al inicio del ensayo, la posterior estabilización en una misma densidad durante el tercer año del ciclo del cultivo indicaría que la persistencia de la alfalfa no se vio modificada por los tratamientos.

En relación con la distribución del canopeo, el arreglo espacial más cuadrado registrado en la distancia de siembra intermedia (17,5 cm) en comparación con la de 21 cm explicaría su mayor acumulación total de forraje (Figuras 2 y 4). El índice de rectangularidad en la distancia de 21 cm fue mayor y más alejado de la unidad durante la mayor parte del experimento. Este arreglo espacial, al ser más rectangular presenta una distribución de las plantas menos equidistante, y por lo tanto se reduciría la interceptación de luz del canopeo por el mayor espacio descubierto entre surcos durante cada uno de los rebrotos. Por otro lado, el índice de rectangularidad en la distancia de 17,5 cm fue similar al registrado en la distancia de 15 cm durante la mayor parte del experimento. Este resultado fue inesperado ya que de acuerdo al arreglo planteado al inicio del experimento, el tratamiento de 15 cm debería tender a un arreglo más cuadrado. Este resultado surge de la mayor densidad de plantas establecida en la distancia de 15 cm, lo cual redujo la distancia entre plantas en la misma línea y generó el mismo arreglo espacial que a 17,5 cm. Esto permite suponer que la distancia de 15 cm no mejoró la interceptación de luz en relación con la distancia intermedia.

En conclusión, en este trabajo la producción total de forraje en el cultivo de alfalfa se vio favorecida por la distancia intermedia de 17,5 cm, donde se combinaron características favorables en el arreglo espacial más cuadrado y en el peso aéreo de las plantas. La persistencia no se vio afectada por la distancia de

siembra ya que el número de plantas al tercer año del cultivo fue similar entre todas las distancias. Si bien las variaciones en el distanciamiento fueron de poca magnitud, tuvieron un impacto significativo sobre la producción de biomasa para los dos cultivares evaluados. En relación con la hipótesis de trabajo planteada, se registró el aumento en la producción de biomasa al acercar los surcos y formar un arreglo espacial más equidistante entre las plantas, en particular por lo ocurrido entre las distancias de 17,5 cm y 21 cm. En la distancia de 15 cm habrían actuado otros factores además del arreglo espacial relacionados con la mayor densidad de plantas establecida. La distancia de 17,5 cm combinó características favorables de un mayor peso aéreo por planta que la distancia de 15 cm en los primeros años del cultivo, y un arreglo espacial más cuadrado en relación con la distancia de 21 cm. Se propone que una menor competencia intra-específica y una mayor intercepción de radiación, respectivamente, serían parte de los mecanismos determinantes de las respuestas observadas. En el futuro sería conveniente profundizar en los mecanismos involucrados en cada caso.

Bibliografía

- Andrade, F.H., Calviño, P., Cirilo, A. y Barbieri, P. 2002. Yield responses to narrow rows depend on increased radiation interception. *Agron. J.* 94: 975-980.
- Barbieri, P.A., Sainz Rozas, H.R., Andrade, F.H. y Echeverría, H.E. 2000. Row spacing effects at different levels of nitrogen availability in maize. *Agron. J.* 92: 283-288.
- Bertram, N. 2008. Respuesta de agropiro alargado (*Thinopyrum ponticum*) a la densidad de siembra y al arreglo espacial: desarrollo del área foliar, estructura poblacional e intercepción lumínica en el año de implantación. Tesis M.Sc. Balcarce, Argentina, Escuela para Graduados en Ciencias Agropecuarias. 71p.
- Board, J.E., Kamal, M. y Harville, B.G. 1992. Temporal importance of greater light interception to increased yield in narrow-row soybean. *Agron. J.* 84: 575-579.
- Bullock, D.G., Nielsen, R.L. y Nyquist, W.E. 1988. A growth analysis comparison of corn grown in conventional and equidistant plant spacing. *Crop Sci.* 28: 254-258.
- Colabelli, M.R., Urcola, H. y Agnusdei, M. 2002. Intersiembra de leguminosas en suelos de aptitud agrícola. 1. Efecto de la época de intersiembra y de la distancia entre surcos sobre el establecimiento de las especies intersembradas. *Avances en Producción Animal* 27: 77-86.
- Harper, J.L. 1977. Population biology of plants. 8^o ed. New York, Academic Press. 892 p.
- Lutz, E.E. y Morley, F.H.W. 1982. Production of alfalfa (*Medicago sativa* L.) I. Influence of row spacing and cultivar. *Turrialba* 32: 1-10.
- Mosconi, F.P., Priano, L.J.J., Hein, N.E., Moscatelli, G., Salazar, J.C., Gutierrez, T. y Caceres, L. 1981. Mapa de suelos de la Provincia de Santa Fe. INTA. Vol. 1. 246 p.
- Park, S.E., Benjamin, L.R. y Watkinson, A.R. 2003. The theory and application of plant competition model: an agronomic perspective. *Ann. Bot.* 92: 741-748.
- Pontaque, F.C. 2005. Modelos lineales (eBook). Universidad de Barcelona. 268 p.
- Romero, L., Bruno, O.A., Fossati, J.L. y Quaino, O.R. 1991. Densidad de siembra de alfalfa cultivar CUF 101; número de plantas y producción. *Rev. Arg. Prod. Anim.* 11: 411-417.
- Roufail, A. 1975. Effect of sowing rate and sowing method on the establishment, yield and survival of irrigated Lucerne at Kyabram, Victoria. *Aust. J. Exp. Agr.* 15: 64-68.
- Skinner, R.H. 2005. Emergence and survival of pasture species sown in monocultures or mixtures. *Agron. J.* 97: 799-805.
- Spada, M.C. 2008. Avances en alfalfa: ensayos territoriales. Córdoba Argentina, INTA. v. 18. 89 p.
- Willey, R.W. y Heath, S.B. 1969. The quantitative relationships between plant population and crop yield. In: Brady N.C. y Hall R. (ed.) *Advances in Agronomy*. Cornell Univ., Ithaca, NY. pp. 281-321.