

RESPUESTA AL ESPACIAMIENTO ENTRE HILERAS EN SOJA: I INTERCEPCIÓN DE RADIACIÓN Y PARÁMETROS DE CRECIMIENTO.

R. A. Martignone ⁽²⁾; S. Bacigaluppo ⁽¹⁾, J. M. Enrico ⁽¹⁾; M. L. Bodrero ⁽¹⁾

⁽¹⁾ E.E.A. Oliveros INTA, 2206 Oliveros, Argentina. sbacigaluppo@correo.inta.gov.ar. Tel. 54-03476-498010. ⁽²⁾ Fac. Cs. Agrarias, CIUNR, Univ. Nac. de Rosario, 2125 Zavalla.

Palabras claves: Soja, espaciamiento entre hileras, intercepción de radiación

Introducción

La arquitectura de las plantas varía según las fechas de siembra (FS), el grupo de madurez (GM) que se utiliza, el cultivar dentro de un mismo grupo de madurez, el espaciamiento (Esp) entre hileras, la densidad de plantas por unidad de superficie, la productividad del lote, entre otros. Shibles y Weber, (1965) demostraron que un menor espaciamiento y una mejor distribución de plantas por unidad de superficie producen una mayor intercepción de la radiación fotosintéticamente activa (RFA) que promueve un mayor índice de área foliar (IAF) en relación a un espaciamiento mayor. Board et al. (1992), determinaron que con menores espaciamientos, en siembras tardías, se logra una mayor tasa de crecimiento del cultivo (TCC) la que está positivamente relacionada con la cantidad total de materia seca en R5, un mayor número de nudos fértiles y un mayor número de vainas/nudo fértil. Estos factores fueron responsables del incremento de rendimiento en granos cuando se redujo el espaciamiento entre hileras. Resultados similares fueron obtenidos por Bodrero et al (1989); Andrade et al., 2002; Capurro et al. (2006a) utilizando cultivares (cvs) del GM III, IV y V.

En soja de primera época de siembra, se logra una mejor cobertura e intercepción de la radiación, respecto a las siembras tardías, durante el período crítico de la formación del rendimiento. No obstante existe una tendencia a reducir el espaciamiento entre hileras que no en todos los casos se traducen en respuestas favorables (Mendez et al., 2001; Capurro et al., 2006b).

El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto de distintos espaciamientos sobre la intercepción de RFA y parámetros del crecimiento en cvs de distintos GM y fechas de siembra.

Materiales y métodos

Los experimentos se condujeron en la E.E.A. Oliveros INTA, Argentina (32° 33' S) durante las campañas agrícolas 2009/10 y 2010/11 con fechas de siembra (FS) del 20 de octubre de 2009 (1^a); 18 de diciembre de 2009 (2^a); 26 de octubre de 2010 (1^a) y 7 de enero de 2011 (2^a), en condiciones de secano y en siembra directa. El suelo es un Argiudol típico con más de 50 años de agricultura continua, se lo fertilizó con P y S para evitar deficiencias nutricionales y la semilla fue inoculada con *Bradyrhizobium japonicum*. La distancia entre hileras fue de 0,26 y 0,52 m. La densidades logradas en la primera campaña fueron de 33,5 y 31,3 plantas/ m² a 0,26 y 0,52 m, respectivamente y en la segunda campaña 42,9 y 40,1 plantas/m² a 0,26 y 0,52 m respectivamente. Los cultivares evaluados fueron: NA 3731 RG (GM III L), DM 4210 (GM IV C), NA 4990 RG (GM IV L) y DM 5.1i (GM V C), estos dos últimos con alto potencial de ramificación. El tamaño de las parcelas fue de 2,80 m por 20 m de largo. Se realizó control de malezas, plagas y enfermedades durante todo el ciclo del cultivo. Se registró la fenología según la escala de Fehr *et al.*, (1971): emergencia (E), plena floración (R2) comienzo de llenado de las semillas (R5) y madurez fisiológica (R7) y las variables climáticas. Se determinó la RFA con sensor lineal de radiación fotosintéticamente activa, entre las 12:00 y 14:00 h, desde R2 hasta que se alcanzó el índice de área foliar crítico (IAFc) o R6. Se realizaron muestreos de 1 m² de cultivo en los estadios R2, R5 y R7, determinándose materia seca acumulada, área foliar y número de nudos/m². El diseño experimental, para cada año, fue de

parcelas divididas siendo la parcela principal la fecha de siembra. En cada parcela principal los subtratamientos, Esp y cvs, se distribuyeron al azar. Se realizaron 3 repeticiones. Los datos se procesaron con el análisis de la variancia comparando los promedios con test LSD ($p < 0,10$). La TCC fue la pendiente del incremento de materia seca entre R2-R5 y los promedios se compararon con la prueba t de Student, utilizándose el error de la pendiente. Debido a las diferencias en el número de plantas/m², en los análisis de la variancia se utilizó la densidad de plantas como covariable.

Resultados y discusión

Ambas campañas fueron diferentes climáticamente. Como se aprecia en la Figura 1, la campaña 2009/10 presentó una adecuada disponibilidad hídrica durante el período vegetativo de ambas FS y durante el período reproductivo de la 1ª FS, mientras que durante el llenado de las semillas, en la 2ª FS, hubo un importante estrés hídrico. En la campaña 2010/11 se registraron escasas precipitaciones durante el período vegetativo y primera parte del estado reproductivo en la 1ª FS. Dado que a la siembra había escasa disponibilidad hídrica en el perfil edáfico, se produjo un severo estrés hídrico en estas etapas fenológicas. La 2ª FS, que se retrasó respecto de la 1ª FS por falta de humedad edáfica, tuvo mejor disponibilidad hídrica, con exceso de lluvias a final del llenado de las semillas. En la segunda campaña, como consecuencia de las escasas lluvias en el período ER2 de la 1ª FS, se registraron altos valores de RFA, mientras que en R5R7 de la 2ª FS hubo bajos valores como consecuencia de las abundantes lluvias.

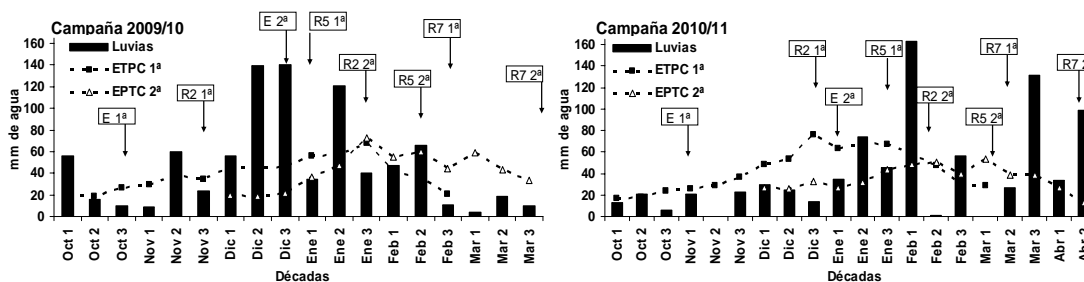


Figura 1: Valores decádicos de lluvias y evapotranspiración de cultivo (EPTC) correspondientes a la 1ª y 2ª FS de las campañas 2009/10 y 10/11. Las flechas indican la fecha promedio de los estados fenológicos de los cultivares.

En la campaña 2009/10 el IAF promedio entre R2R5 tuvo un comportamiento diferencial entre cvs y Esp, independientemente de las FS. Sólo DM 4210 y NA 4990 RG desarrollaron más IAF a 0,26 que a 0,52 m. La materia seca acumulada hasta R5 y el n° de nudos/m² solo mostraron diferencias significativas entre Esp, Cvs y FS (Tabla 1). Las TCC entre R2 y R5 no presentaron diferencias entre los E.

En la campaña 2010/11 se pudo apreciar la incidencia del estrés hídrico en las etapas más tempranas de los cultivos analizando sus efectos sobre el IAF y la TCC entre R2 y R5 (Tabla 1). Las interacciones con los Esp para IAF no fueron significativas, pero con el menor Esp se obtuvieron mayores valores de IAF y de TCC. En cuanto a la materia seca acumulada hasta R5 hubo interacción entre cvs y E. NA 4990 RG y DM 5,1i tuvieron mayor incremento de materia seca con el menor Esp que los cultivares más precoces. De la misma manera que la campaña anterior, con el menor Esp se obtuvo mayor acumulación de materia seca. Respecto al n° de nudos/m², hubo interacción significativa entre FS y Esp. En la 2ª FS con el menor Esp hubo un mayor n° de nudos/m² y un mayor incremento relativo respecto de la 1ª FS (Tabla 1).

La evolución del área foliar y la distribución de las plantas en el cultivo determinaron las capacidades de interceptación de la radiación incidente. En la campaña 2009/10, como consecuencia de adecuada disponibilidad hídrica, se observó un rápido incremento en la interceptación de RFA en las primeras etapas de los cultivos. En la Figura 2 se presenta su

evolución en los cultivares NA 3731 RG (más precoz) y NA 4990 RG (uno de los más tardíos). La intercepción de RFA en R2 en la 1ª campaña tuvo interacción significativa entre las FS y Esp, con mayores incrementos por el menor Esp en la 1ª FS que en la 2ª FS. En la 1ª FS, NA 3731 RG a 0,26 m logró mayor intercepción de RFA y llegó al 95 % de intercepción antes que a 0,52 m. A partir de R5 ambos Esp superaron el IAFc. En la 2ª FS, el modelo de respuesta respecto al Esp fue similar a la 1ª FS, con la salvedad que en todos los cultivares el IAFc se logró antes de R5. El mayor IAF en la 2ª FS puede atribuirse a una mayor temperatura media entre E y R2; 23, 5°C en la 1ª FS vs. 24,8 °C en la 2ª FS.

Tabla 1: Índice de Área Foliar (IAF) y Tasa de Crecimiento de Cultivo (TCC) promedios para el período R2R5, Materia Seca en R5 (g/m²) y número de nudos/m² en R5 según espaciamientos y fechas de siembra y cultivares en las campañas 2009/10 y 2010/11.

Campaña 2009/10						
		Espaciamiento	IAF R2R5	Materia Seca R5 (g/m ²)	Nº nudos/m ² R5	TCC R2R5
Fecha de siembra	Primera	0,26 m	4,4 (*)	611,0	1336,4	14,9
	Primera	0,52 m	4,0	595,0	1356,3	14,7
	Segunda	0,26 m	4,4	582,7	1674,7	15,9
	Segunda	0,52 m	3,8	531,2	1384,9	15,1
		LSD P=0,10	0,2	40,8	240,1	----
Cultivar	NA 3731 RG	0,26 m	3,6	492,1	1350,7	14,0
	NA 3731 RG	0,52 m	3,5	462,3	1180,6	12,9
	DM 4210	0,26 m	4,4	570,5	1356,3	14,8
	DM 4210	0,52 m	3,6	572,5	1163,1	15,2
	NA 4990 RG	0,26 m	5,3	727,9	1809,7	17,4
	NA 4990 RG	0,52 m	4,6	654,5	1768,1	16,5
			LSD P=0,10	0,3	49,9	294,0
Espaciamiento		0,26 m	4,4	596,8	1505,6	15,4
		0,52 m	3,9	563,1	1370,6	14,9
		LSD P=0,10	0,2	28,8	169,8	----
Campaña 2010/11						
		Espaciamiento	IAF R2R5	Materia Seca R5 (g/m ²)	Nº nudos/m ² R5	TCC R2R5
Fecha de siembra	Primera	0,26 m	3,3	549,7	1304,9	11,0
	Primera	0,52 m	2,3	383,3	1128,0	8,0
	Segunda	0,26 m	3,9	583,8	1831,3	14,5
	Segunda	0,52 m	2,9	479,5	1377,4	12,6
		LSD P=0,10	0,2	46,2	122,2	----
Cultivar	NA 3731 RG	0,26 m	2,7	478,2	1315,0	11,8
	NA 3731 RG	0,52 m	2,1	393,5	1014,3	10,2
	DM 4210	0,26 m	2,9	478,2	1362,3	12,1
	DM 4210	0,52 m	2,1	393,4	1157,0	10,7
	NA 4990 RG	0,26 m	4,4	640,2	1971,6	13,5
	NA 4990 RG	0,52 m	3,1	460,0	1506,6	10,4
	DM 5,1	0,26 m	4,4	670,2	1623,5	13,8
	DM 5,1	0,52 m	3,3	478,7	1333,0	10,1
		LSD P=0,10	0,4	65,3	172,8	----
Espaciamiento		0,26 m	3,6	566,7	1568,1	12,8
		0,52 m	2,6	431,4	1252,7	10,3
		LSD P=0,10	0,2	32,7	86,4	----

(*) Valores resaltados con negritas indican diferencias significativas entre espaciamiento 0,26 m y 0,52 m dentro de cada fecha de siembra, cultivar y espaciamiento según test de LSD p<0,1. La comparación de las TCC sólo corresponde realizarse entre 0,26 m y 0,52 m dentro de cada fecha de siembra, cultivar y espaciamiento.

En la campaña 2010/11, en la 1ª FS, la expansión foliar fue más lenta debido al severo estrés hídrico y porque la temperatura media del período ER2 fue 1°C menor que el de la misma FS de la campaña anterior. El crecimiento del IAF se recuperó parcialmente luego de mediados de enero con lluvias más abundantes (Figura 1). En esta campaña la intercepción de RFA en R2 y R5 presentó interacción significativa de los Esp con las FS y con los cvs. En la 1ª FS los cvs NA 3731 RG y DM 4210 bajo ningún Esp alcanzaron el IAFc, mientras que los cvs más tardíos, NA 4990 RG y DM 5,1i, lo alcanzaron en R5. En la 2ª FS el desarrollo de las plantas y del área foliar fue más rápido debido a que la temperatura media ER2 fue 2,8°C mayor que en la 1ª FS. Esto permitió lograr el IAFc antes de R5.

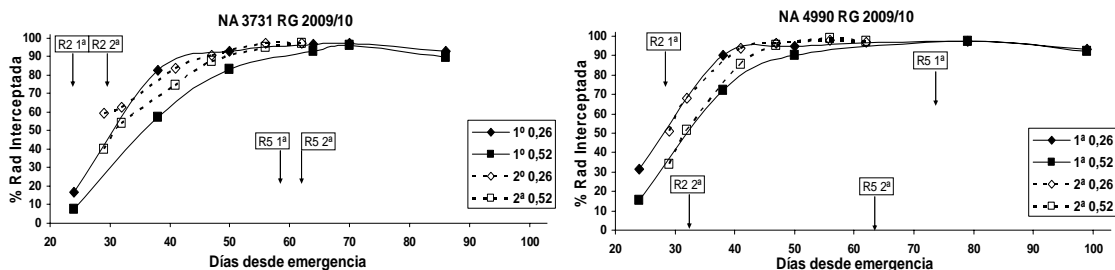


Figura 2: Porcentaje de RFA interceptada por los cvs NA 3731 RG y NA 4990 RG en la campaña 2009/10 en 1ª y 2ª FS con espaciamientos de 0,26 y 0,52 m entre hileras.

El desarrollo del área foliar está relacionado con la cantidad de RFA interceptada y la acumulación de materia seca en los cultivos. El IAF en R2 tuvo una alta correlación con la cantidad de RFA interceptada en ER2 ($p < 0,01$) en las 2 campañas y FS. En general se puede concluir que la mayor cantidad de RFA interceptada en R2R5 se correlacionó positivamente con una mayor TCC R2R5 en todas las FS. El menor Esp determinó una mayor acumulación de materia seca y nº de nudos/m² en R5.

Agradecimientos

A la Ing. Agr. Evangelina Perotti, a los estudiantes pasantes de la FCA UNR y al personal auxiliar del grupo Ecofisiología y Manejo del Cultivo de Soja que colaboraron en la realización de estos ensayos. A los Criaderos que nos proveyeron la semilla para la realización de los ensayos.

Bibliografía

- ANDRADE, F.H., CALVINO, P.; CIRILO, A. AND BARBIERI, P. 2002. Yield responses to narrow rows depend on increased radiation interception. *Agron. J.* 94:975-980.
- BOARD J.E. AND HARVILLE. B.G.1996.Growth dynamics during the vegetative period affects yield of narrow-row, late planted soybean. *Agron. J.* 88:567-572
- BODRERO, M.L.; DARWICH, N.; ANDRADE; NAKAYAMA, F. 1989. Intercepción de radiación fotosintéticamente activa y productividad de soja de segunda sembrada a distintos espaciamientos entre surcos. IV Conferencia Mundial de Investigación en Soja. Buenos Aires. Argentina.
- CAPURRO, J.; BODRERO, M. L. Y ANDRIANI, J. 2006a. Espaciamiento en soja de segunda época de siembra en Cañada de Gómez en lotes de alta y baja productividad. *In: Actas 3er Congreso de soja del MERCOSUR, Rosario.* Pag. 582-585
- CAPURRO, J; BODRERO, M.L.; ENRICO, J.M. y ANDRIANI, J. 2006b Espaciamiento en soja de primera en Armstrong provincia de Santa Fe, Argentina. *In: Actas 3er Congreso de soja del MERCOSUR. Rosario.* Pag 586-589.
- DE BRUIN, J.L. AND PEDERSEN. P. 2008. Effect of row spacing and seeding rate on soybean yield. *Agron. J.* 100: 704-710
- FEHR, W., CAVINESS, C., BURMNOOD, D. y PENNINGTON J., 1971. Stage of development descriptions for soybeans, *Glycine max* (L.) Merrill. *Crop Sci.* 11: 929-931
- MENDEZ, J.M.; BODRERO, M. L.; REGIS, C.; y ANDRIANI, J. 2001. Influencia de la fecha de siembra y estructura del cultivo sobre el comportamiento de cultivares de distinto ciclo en las localidades de Classon y Runciman.2001. Para mejorar la Producción, Soja 18:75-80.EEA Oliveros, INTA

- RIZZO, F.A. and DE LUCA, P.C. 2009. Impact of row spacing upon soybean crop yield. VIII World Soybean Research, Abstracts p 240.
- ROCCHI, L., BODRERO, M. L., MARTIGNONE, R. 2000. Efecto del espaciamiento entre hileras y la densidad de plantas sobre el rendimiento de soja en siembras tardías. Para mejorar la producción, Soja 15:71-74. EEA Oliveros, INTA.
- SHIBLES R.M. and WEBER, C.R.. 1965. Leaf area, solar radiation interception and dry matter production by soybeans. Crop Sci. 5:575-577.