

INTERCULTIVOS EN FRANJAS DE MAÍZ Y SOJA. EFECTO DE LA RADIACIÓN INTERCEPTADA

O. Giayetto* F.E. Guisasola, F.D. Morla, G.R. Balboa y G.P. Espósito

Departamento Producción Vegetal, Facultad de Agronomía y Veterinaria, UNRC. Ruta Nacional 36, km 601. 5800-Río Cuarto, Córdoba (ogiyetto@ayv.unrc.edu.ar)

Introducción

La masiva expansión experimentada por la soja en Argentina en los últimos años tiende al monocultivo, con los riesgos asociados que ello implica sobre los recursos productivos y la estabilidad de los beneficios económicos actuales del productor.

Contrariamente, la práctica de producir múltiples cultivos en un espacio determinado, tiene por objetivo ajustar las demandas a los recursos disponibles y su ventaja, respecto al cultivo puro (monocultivo), se basa en que la competencia por los recursos entre especies es menor a la que existe dentro de una misma especie (West y Griffith, 1992).

La incorporación de alternativas de producción basadas en la combinación de diferentes cultivos está facilitada por la disponibilidad de nuevas tecnologías, maquinaria y genotipos resistentes al herbicida glifosato, que permiten sembrar un cultivo de alto aporte de rastrojos (maíz), sin resignar la inclusión de otro de alto retorno económico como la soja (Monzón *et al.*, 2005). Un aspecto clave de esa combinación es aprovechar los desfases temporales en los respectivos periodos críticos para la definición del rendimiento (Calviño *et al.*, 2005).

El intercultivo en franjas es una adaptación de esta técnica a la agricultura mecanizada moderna y constituye una forma de aumentar la producción por unidad de área y de tiempo (Calviño *et al.*, 2005; Caviglia *et al.*, 2007). Según los cultivos intervinientes, sus fechas de siembra y cosecha, el grado de superposición temporal puede ser total o parcial, aunque las ventajas se obtienen cuando las etapas de mayor tasa de crecimiento de los cultivos no coinciden en el tiempo (Satorre *et al.*, 2008).

El rendimiento, usualmente mayor de cultivos en franjas respecto al cultivo puro, se debe a un incremento significativo del rendimiento diferencial de los surcos de borde comparados con los surcos centrales. Así, los surcos de borde del cultivo dominante se benefician con la mayor disponibilidad de recursos, mientras que los del cultivo dominado tienen menor rendimiento. Análisis por surco basados en cambios de los componentes directos del rendimiento (número y peso de los granos) y en el aprovechamiento de la radiación solar, verificaron esas respuestas en distintos ambientes (West y Griffith, 1992; Monzón *et al.*, 2005; Díaz *et al.*, 2008).

En las franjas de maíz y soja esas diferencias estarían relacionadas con cambios en la captura y aprovechamiento de la radiación solar. La arquitectura y porte de la planta de maíz facilitaría una mayor intercepción de luz en detrimento de los surcos de bordura de soja. La evidencia resulta de una mayor tasa de crecimiento del cultivo (TCC) en las hileras de borde de maíz durante la floración relacionada, a su vez, con la producción de granos por superficie (Díaz *et al.*, 2008; Cambareri, 2010). Además, especies de alta eficiencia fotosintética como maíz (C4) podrían mejorar la eficiencia de uso del recurso. También se halló que el intercultivo maíz-soja aumenta la EUA respecto a la soja pura y contribuye a la sustentabilidad del suelo (Valenzuela *et al.*, 2009).

Una manera de evaluar un policultivo es cuantificar la superficie de tierra necesaria para obtener la misma producción, sembrando los componentes por separado, que cuando ambos crecen asociados. El Equivalente de Uso de la Tierras (EUT) y el Rendimiento Relativo Total (RRT) son los índices más difundidos. A mayor valor del EUT, mayor ventaja del policultivo sobre el cultivo puro (Satorre *et al.*, 2008). Cuando los cultivos asociados tienen diferente valor económico, se propone como indicador el valor del componente más importante.

Rezende y Ramalho (1994), en un sistema maíz-poroto propusieron el uso del rendimiento de maíz equivalente (RME) que considera los rendimientos individuales de cada cultivo en la mezcla y la relación de precios entre ambos.

Asumiendo que la eficiencia del uso de la radiación (EUR) se mantiene constante para distintas fracciones de radiación solar interceptada (Rosati y Dejong, 2003), el intercultivo en franjas de maíz-soja posee ventajas productivas respecto a los cultivos puros, debidas a cambios en la distribución de la radiación interceptada por el canopeo del intercultivo. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del intercultivo maíz-soja sembrado en franjas sobre la interceptación de la radiación, el rendimiento (cuantificado mediante los índices EUT y RRT) y sus componentes directos e indirectos en comparación con los cultivos puros.

Materiales y Métodos

El estudio se realizó a campo y en seco sobre un suelo Hapludol típico ubicado en la FAV-UNRC durante 2009/10. Sobre rastrojo de girasol (2008/09) se hicieron dos pasadas de rastra doble acción y se sembró el híbrido de maíz DK190 MGR2-SD y la variedad de soja A4910-RG el 2/11/09 en surcos orientados N-S, alternando franjas de 70 m de largo y 18 surcos a 0,52 m. Cada par de franjas se asignó a un diseño de bloques al azar con 3 repeticiones. La densidad de siembra fue de 8 (maíz) y 32 (soja) plantas/m². El maíz se fertilizó a la siembra (135 kg/ha de una mezcla comercial de NPK 12-11-18 +8% de S+2,7% de MgO). Se hicieron dos aplicaciones de glifosato (3 y 18/12/2009) y desmalezados manuales complementarios.

Entre V5 (maíz), V2 (soja) y la etapa R7 (soja) se midió la radiación fotosintéticamente activa incidente (RFA_{inc}) cada 10 días encima y debajo del canopeo con una barra integradora y un registrador modelo LI-1400 (LI-COR Inc.) y se calculó la fracción interceptada por el cultivo (fRFA_{int}) y la RFA_{int} diaria y acumulada en Mj/m²/día.

A cosecha se cuantificó la biomasa y los componentes del rendimiento (relación marlo/grano en maíz; número de vainas/planta y superficie y de granos/vaina en soja y número y peso de granos en ambos cultivos), la producción de granos y el índice de cosecha (IC) sobre 5 muestras por repetición de los surcos 1 (borde entre cultivos) al 5 de ambos cultivos.

De la relación rendimiento y RFA_{int} acumulada, se obtuvo la EUR (kg/Mj/m²) de los cultivos puros. Luego, asumiendo que según Rosati y Dejong (2003), la EUR no cambia con la cantidad de radiación interceptada, se usó la EUR para estimar la radiación capturada por los surcos colindantes entre las franjas de maíz y soja. Se calculó el Equivalente de Uso de la Tierra (EUT) y el Rendimiento Equivalente de Maíz (REM) y de Soja (RES) (INIA, 2005; Satorre *et al.*, 2008).

Los datos se analizaron con el programa Infostat (versión 2008) para detectar diferencias debidas a los tratamientos.

Resultados y Conclusiones

Las condiciones hidrológicas del ciclo 2009/10 fueron marcadamente deficitarias en comparación con una serie histórica de lluvias regionales, particularmente durante los períodos críticos de ambos cultivos (floración en maíz y llenado de grano en soja).

La biomasa a cosecha varió significativamente entre los surcos de ambos cultivos. En soja ($p < 0,0001$), el mayor crecimiento acumulado se produjo en el surco 5 (558 g/m²) y el menor en el surco lindero con maíz (316 g/m²); mientras que los tres intermedios produjeron, en promedio, 489 g/m². Por el contrario, en maíz ($p = 0,0002$) la mayor biomasa correspondió al surco 1 (1627 g/m²), la menor al surco 2 (1184 g/m²) y los tres restantes produjeron, en promedio, 1350 g/m². La marcada reducción del crecimiento en el surco 2 (27%), se atribuyó a la competencia ejercida por el primer surco beneficiado por ser el lindero con soja.

Considerando la biomasa del surco 5 como equivalente a los respectivos cultivos puros, soja produjo más biomasa que el intercultivo y lo contrario ocurrió en maíz, como lo hallado por Yang *et al.* (2010).

Ese patrón de respuesta se observó en el número de granos/planta y superficie ($p < 0,0001$) de ambos cultivos y también en los componentes indirectos del rendimiento (número de espigas/planta en maíz ($p < 0,0001$) y número de vainas/planta y superficie ($p < 0,0001$) en soja) (Verdelli, 2008). Las plantas de soja del surco lindero con maíz, experimentaron compensaciones parciales en el peso individual de los granos (significativamente mayor respecto al resto, $p = 0,0022$) y en el número de granos/vaina (que difirió estadísticamente de los surcos 2, 3 y 4 pero no del surco 5, $p = 0,0420$).

No obstante, las variaciones del peso individual de los granos de ambos cultivos, fueron pequeñas probablemente debido a su mayor dependencia genotípica, similar a lo observado para número de granos/vaina (soja) y la relación marlo/grano (maíz).

La producción de granos del surco 1 de maíz fue significativamente superior ($p < 0,0001$) al resto debido a la mayor cantidad de espigas/planta, granos/planta y superficie y peso individual de los granos. Esta respuesta se relacionó con una mayor disponibilidad de recursos para las plantas del borde (particularmente luz). Contrariamente, el rendimiento de soja fue significativamente menor ($p < 0,0001$) en el surco 1 y aumentó hacia el interior de la franja; respuesta atribuida a una menor habilidad competitiva de la oleaginosa en los surcos lindantes con maíz que no le permitió compensar el sombreado que le produjo la gramínea. Resultados similares de Mouneke *et al.* (2007), mostraron que la soja en franjas produjo menos vainas y más peso de 100 semillas que el cultivo puro y, en consecuencia, menor rendimiento (por la mayor incidencia del componente número de vainas). Al mismo tiempo, maíz rindió más en franjas por el mayor número de granos/espiga e igual peso de 100. Los autores atribuyeron estos resultados a una reducción de la tasa fotosintética de soja causada por el sombreado del maíz.

En síntesis, el rendimiento de maíz en franjas fue un 8% mayor que en el cultivo puro; mientras que la soja en franjas rindió un 19,4% menos que el cultivo puro, siendo estas diferencias significativas sólo en soja.

Como señaló Verdelli (2008), el IC del surco 1 de maíz (0,47) superó significativamente ($p = 0,0002$) al de los restantes también debido a la mayor cantidad de granos/planta y superficie; mientras que en soja el IC no experimentó cambios entre surcos ($p = 0,5313$).

En ambos cultivos, el rendimiento de granos se relacionó positivamente con el número de granos por superficie (0,996 $p < 0,05$ maíz y 0,998 $p < 0,05$ soja) y por planta (0,973 $p < 0,05$ maíz y 0,931 $p < 0,05$ soja) y con la biomasa aérea a cosecha (0,966 $p < 0,05$ maíz y 0,996 $p < 0,05$ soja) (Satorre *et al.*, 2008).

La EUR fue 1,1 y 3,6 kg/ha/Mj en soja y maíz, respectivamente. Con estos valores y el de rendimiento promedio por surco se calculó la radiación interceptada por cada uno de ellos y se comprobó que las diferencias en el rendimiento fueron similares a las registradas en la cantidad de radiación interceptada por surco en ambos cultivos, siendo la RFA_{int} el factor determinante de las respuestas del intercultivo en franjas. Se puede inferir entonces que la cantidad diferencial de radiación interceptada durante el ciclo del cultivo, fue el factor determinante de la TCC en los surcos analizados y, por ende, de la producción de biomasa aérea, como lo señaló Verdelli (2008). Luego, las distintas TCC durante los respectivos periodos críticos de soja y maíz, explicarían las respuestas observados de los componentes directos del rendimiento y la producción de granos.

El EUT fue 0,96, similar a lo hallado por Díaz *et al.* (2008) cuyos valores también fueron inferiores a la unidad en intercultivos de maíz y soja con distintas proporciones de cada componente. Según estos autores, los beneficios que recibió el maíz en surcos adyacentes a soja fueron menores a la pérdida de la soja en los surcos colindantes al maíz, efecto también observado en este trabajo. Al contrario, Yang *et al.* (2010) obtuvieron valores > 1 (EUT = 1,64 y 1,74), en un estudio de 3 años con distintas proporciones de ambos cultivos; mientras que

Monzón *et al.* (2005) en un intercultivo en franjas de maíz y soja durante una campaña con escasez de precipitaciones, similar a la ocurrida en este estudio, hallaron un EUT de 1,06.

Los rendimientos equivalente de maíz y soja fueron 4894 y 2299 kg/ha, respectivamente. Por lo que, tomando las cotizaciones de pizarra de ambos cultivos para una serie de precios (2002-2009) a moneda constante de octubre 2009, se tiene 886,4 y 416,9 \$/ton para soja y maíz, respectivamente, el ingreso bruto de maíz en monocultivo fue superior al sembrado en franjas con soja (2367 vs 2040 \$/ha); mientras que lo contrario ocurrió con la soja donde el ingreso bruto del cultivo en franjas (2038 \$/ha) superó al del cultivo puro (1800 \$/ha).

Este trabajo permitió verificar el efecto determinante que tiene la cantidad de radiación interceptada por el cultivo sobre las respuestas de los componentes del rendimiento y la producción de granos en un intercultivo en franjas de maíz y soja, y que las ventajas en rendimiento de este sistema se debieron a la mayor producción experimentada por el surco de bordura de maíz.

También se comprobó que, para las condiciones meteorológicas del ciclo, no resulta conveniente el intercultivo en franjas respecto al monocultivo en términos del indicador de eficiencia de uso de la tierra (0,96). A partir de los REM y RES, resultó económicamente ventajoso el cultivo en franjas para soja con un margen bruto superior al del monocultivo.

Bibliografía

- CALVIÑO, P., CIRILO, A., CAVIGLIA, O. P. y J. P. MONZÓN. 2005. Actas VII Congreso Nacional de Maíz. 16 al 18 de Noviembre de 2005. Rosario, Argentina.
- CAMBARERI, M. A. 2010. Aspectos productivos, económicos y ambientales comparados entre intercultivos de soja-maíz, soja-trigo y cultivo puro de soja. Preproyecto Maestría en Producción Vegetal, Área de Posgrado Ciencias de las Plantas y Recursos Naturales
- CAVIGLIA, O.P., PAPANOTTI, O.F. y M.C. SASAL. 2007. Agricultura Sustentable en Entre Ríos. Ediciones INTA.
- DIAZ, M.G., KOOTEL, W., LOPEZ, R., CAVIGLIA, O.P., PELTZER, H. y E. BLANZACO. 2008. Evaluación de diferentes proporciones de maíz-soja en intercultivo en surcos. En: http://www.inta.gov.ar/parana/info/documentos/produccion_vegetal/maiz/evaluacion_manejo/20214_080915_eva_l.htm Consultado: 05-09-2008.
- INFOSTAT. 2008. Software Estadístico. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba.
- INIA. 2005. Asociación Maíz Morado-Frijol Voluble en Ayacucho. En: <http://www.inia.gob.pe/boletin/boletin0016/investigacion2.htm>. Consultado: 23-07-2010.
- MONZÓN, J.P., CARROZZA, T.J., CALVIÑO, P. y F.H. ANDRADE. 2005. Actas VII Congreso Nacional del Maíz. 16 al 18 de Noviembre de 2005. Rosario, Argentina.
- MUONEKE, C.O., OGWUCHE, M.A.O. y B.A. KALU. 2007. Effect of maize planting density on the performance of maize/soybean intercropping system in a guinea savannah agroecosystem. *African Journal of Agricultural Research*, 2(12): 667-677.
- REZENDE, G.D.S.P. y M.A. RAMALHO. 1994. Competitive ability of maize and common bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars intercropped in different environments. *J. Agric. Sci. (Cambridge)*, 123:185-190.
- ROSATI, A. y T.M. DEJONG. 2003. Estimating Photosynthetic Radiation Use Efficiency Using Incident Light and Photosynthesis of Individual Leaves. *Annals of Botany*, 91: 869-877.
- SATORRE, E.H., BENECH ARNOLD, R.L., SLAFER, G.A., DE LA FUENTE, E.B., MIRALLES, D.J., OTEGUI, M.E. y R. SAVIN. 2008. Producción de Granos: Bases Funcionales para su Manejo. Editorial Orientación Gráfica Editora, Buenos Aires, Argentina.
- VALENZUELA, C., DELLA MAGGIORA, A.I., ECHARTE, L. CAMBARERI, M. y M. POLIZZI. 2009. Evapotranspiración y eficiencia en el uso de agua en intercultivos maíz-soja vs cultivos puros. *Meteorológica*, 34(2): 29-37.
- VERDELLI, D. 2008. Asociación Maíz-Soja: sus aportes a la sustentabilidad en los sistemas de cultivo bajo siembra directa. En: <http://200.69.207.164/nachopancho/aapresid/imagenes/ponencias/25.%20Aq%20String%20agro%20Aapresid%20Panel%20Rotaciones%20Reales%20D%20Verdelli%205BXV%20Congreso%2015.08.07%5D.doc>. Consultado: 15-09-2008.
- WEST, T.D y GRIFFITH, D.R. 1992. Effect of strip-intercropping corn and soybean on yield and profit. *Journal of Production Agriculture*, 5:107-110.

YANG, G., AIWANG, D., XINQIANG, Q., JINGSHENG, S., JUNPENG, Z., HAO, L. y H. WANG. 2010. Distribution and Use Efficiency of Photosynthetically Active Radiation in Strip Intercropping of Maize and Soybean. *Agronomy Journal*, 102 (4): 1149-1157.