

# Efecto del cultivo antecesor de verano sobre el rendimiento de soja de primera

Foto: Sebastián Mazzilli

**Sebastián R. Mazzilli**  
**Oswaldo R. Ernst**  
**Agustín Ferreira**

Facultad de Agronomía, Estación Experimental  
 "Mario A. Cassinoni" - Universidad de la República  
 Ruta 3, km 363, Paysandú 60000, Uruguay

\* Dirección del autor: Sebastián Mazzilli - Tel.: +598-99729214 /  
 Fax.: +598-47227950 - E-mail: smazzilli@fagro.edu.uy

La superficie sembrada con cultivos anuales en Uruguay se incrementó de forma exponencial, pasando de 400 mil hectáreas en la zafra 2005-06 a casi 1,6 millones de hectáreas a partir de la zafra 2011-12. La secuencia de cultivos combinó principalmente soja, maíz y sorgo grano como cultivos de verano, con trigo y cebada como cultivos de invierno. El sistema doble cultivo anual representó entre 30 y 60% del área total dependiendo del año. Estas diferencias en proporción de doble cultivo, se explican mayormente por variaciones en las expectativas de precio de los cereales de invierno (trigo y cebada). Dentro de los cultivos de verano, la soja ha sido la que tuvo un mayor aumento absoluto y relativo en superficie sembrada respecto al resto de los cultivos de verano. En la zafra 2005-06 se sembraron aproximadamente 309.000 ha de soja, en la zafra 2013-14 el área alcanzó 1.050.000 ha, mientras que para maíz el área pasó de 49.000 a 124.000 ha en el mismo período (DIEA 2015). Los beneficios de la rotación de cultivos y los efectos negativos de un sistema basado en un monocultivo no es algo novedoso, siendo una práctica estudiada por siglos (Karlen *et al.* 1994). A nivel local, la mayoría de los antecedentes refieren al impacto de la rotación cultivo-pastura sobre la conservación del suelo (Ernst *et al.*, 2009; Garcia-Prechac *et al.* 2004), siendo escasos los estudios relacionados a la rotación de cultivos dentro de la fase agrícola y su impacto en los rendimientos de cultivos.

Sin embargo, la relación de superficie sembrada de cada cultivo implica que la soja representa el 83% del área de cultivos de verano. Por tanto, la secuencia de cultivos dominante es soja-barbecho-soja y soja-cultivo de invierno-soja. En ambas alternativas la soja es el cultivo antecesor de verano, aunque exista un cultivo de invierno intercalado (DIEA 2015), por lo que el sistema se acerca a un monocultivo estival de soja.

Muchos autores han demostrado el efecto positivo de incluir cultivos de verano gramíneas como sorgo y maíz en rotación con soja. Los efectos benéficos sobre el rendimiento de soja varían entre el 8 y 17% según la zona y proporciones de maíz y soja en la secuencia (Copeland *et al.* 1993; Crookston *et al.* 1991; Porter *et al.* 1997; Wilhelm y Wortmann, 2004).

A nivel regional, los efectos positivos sobre el rendimiento de soja por incluir cultivos de verano gramíneas en la rotación comparados con el monocultivo de soja varían entre 8% y 18%, según el cultivo previo fuera maíz o sorgo, respectivamente (Felizia *et al.*, 1994). En muchos casos el efecto sobre la producción de grano de la soja se manifiesta aún en los años sucesivos, logrando un efecto residual de entre 6 y 13%, aún luego de tres años de la siembra de la gramínea de verano (Bacigaluppo *et al.*, 2009; Felizia *et al.*, 1994). Recientemente, Díaz-Zorita *et al.* (2014) confirmó para el oeste de la Provincia de Buenos Aires, Argentina aumentos del entorno al 6% en el rendimiento de soja incluyendo un cultivo de maíz en la rotación, diferencia que tendió a manifestarse hasta 3 años posteriores de soja continua en el sistema.

Estas mejoras en rendimiento que ocurren rotando soja con otros cultivos de verano o la disminución de rendimiento en monocultivo de soja, están explicados por causas multifactoriales entre las que se encuentran enfermedades de suelo, presencia de nemátodos (Howard *et al.*, 1998) y mejoras en la disponibilidad hídrica en el suelo (Copeland *et al.* 1993; Lattanzi *et al.*, 2005). El efecto de la rotación parece ser más importante en ambientes de baja productividad, posiblemente consecuencia de condiciones ambientales desfavorables (Porter *et al.* 1997). No obstante, si bien el efecto parece consistente, en los sistemas implementados por los productores de la región predomina la siembra de soja sobre rastrojo de soja, por lo cual es posible que esta pérdida no sea evidente a los productores o que la ventaja económica asociada a la rotación no es lo suficientemente fuerte como para inducir a los productores a rotar cultivos.

Para las condiciones de Uruguay no existen trabajos que cuantifiquen adecuadamente la magnitud y variabilidad de la respuesta en rendimiento de soja a la inclusión de sorgo o maíz en rotación, lo que dificulta la valoración económica de la respuesta a la rotación de cultivos en sistemas de agricultura continua.

En este artículo se resumen resultados obtenidos a partir de una base de datos de productores CREA con un total de 1024 registros de cultivo de soja de primera entre la zafra 2009/10 y la zafra 2013/14 ubicadas en el litoral oeste del país. Cada registro corresponde a una unidad de manejo sembrada con soja de primera, incluyendo: rendimiento en grano, zona, cultivo antecesor de verano y de invierno, cultivar y fecha de siembra. Los registros se clasificaron en dos zonas, la zona Litoral Sur (Colonia, Soriano y San José) y la zona Litoral Norte (Paysandú y Río Negro). Se eliminaron todos los registros incompletos y se analizaron sólo las situaciones con antecesor de verano soja y/o maíz (Cuadro 1). Cada uno de estos antecesores se separó como cultivo de primera o segunda. Se entiende como cultivo de primera, un cultivo que durante el invierno anterior a la siembra no fue sembrado con un cultivo para grano, normalmente para el período analizado, pasa el invierno como barbecho químico. En contraparte un cultivo de segunda es un cultivo de verano sembrado inmediatamente después de la cosecha de un cultivo de invierno para grano, que para el período del trabajo es normalmente trigo y/o cebada.

**Cuadro 1.** Número de registros por zona y cultivo antecesor de soja.

Antecesor verano	Zona	
	Litoral Sur	Litoral Norte
Maíz 1ra	143	158
Maíz 2da	47	63
Soja 1ra	111	88
Soja 2da	258	156
<b>Total</b>	<b>559</b>	<b>465</b>

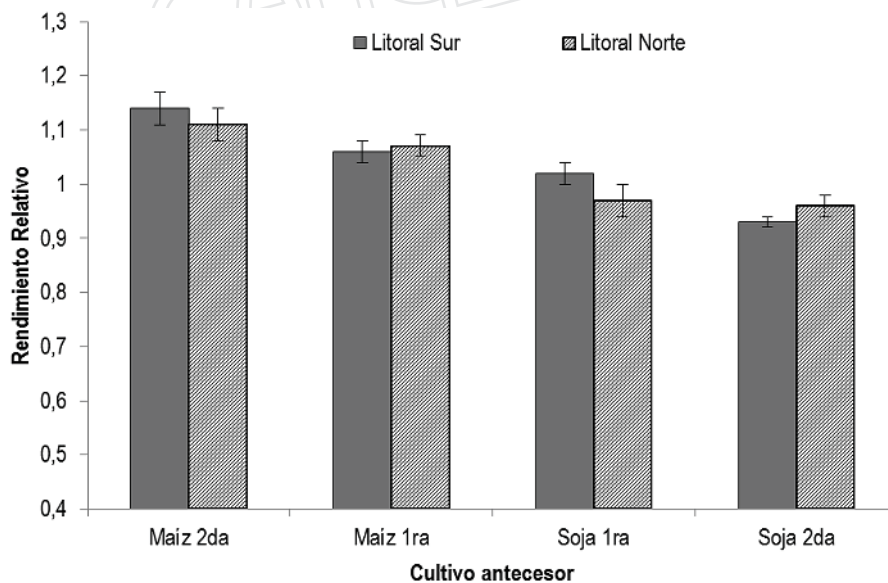
## 1. RENDIMIENTO SEGÚN ANTECESOR DE VERANO

Con el objetivo de eliminar un posible efecto año sobre los rendimientos medios de soja y poder utilizar los datos de todos los años en conjunto, se relativizaron los rendimientos de cada chacra/registro y año en relación al promedio de rendimiento de cada año para cada zona de forma independiente. Por lo tanto, la variable de respuesta es el rendimiento relativo y no el rendimiento absoluto.

A su vez como forma de disminuir el posible efecto "selección de las mejores chacras para maíz" que normalmente utilizan los productores y equiparar la cantidad de chacras de cada antecesor, se generó una nueva base de datos utilizando un muestreo aleatorio de datos con reposición de 1000 veces para cada una de las zonas (Litoral Sur y Litoral Norte). Es decir, a partir de los datos originales y utilizando el procedimiento de muestreo se generó una base con igual número de chacras según antecesor. Para definir el tamaño de la muestra de cada cultivo en cada zona se utilizó como criterio el antecesor menos representado, que resultó ser maíz de segunda en todos los casos.

Otro factor que podría afectar los resultados es la existencia de diferencias en las fechas de siembra de soja sobre cada uno de los antecesores de verano evaluados. Por tanto, las chacras se agruparon por fecha de siembra para períodos decádicos por antecesor y zona. Como el 84% y 82% de chacras con antecesor soja y maíz respectivamente se sembraron en el período 21 de octubre al 30 de noviembre, el procedimiento de muestreo se realizó considerando sólo este grupo de 849 chacras (490 y 359 para el litoral sur y norte, respectivamente).

Los resultados muestran para ambas zonas diferencias significativas en el rendimiento de soja según el cultivo antecesor ( $P < 0,0001$ ). El rendimiento de soja, cuando el cultivo anterior fue Maíz 2da fue entre un 13 y 11% superior a la media, mientras que cuando la secuencia anterior fue Soja 2da fue entre 6 y 5% inferior a la media. Comparando ambas secuencias, la diferencia de rendimientos fue de alrededor de 18% (1,12 vs 0,94 para soja después de Maíz 2da y Soja 2da, respectivamente) (Figura 1).



**Figura 1.** Rendimiento relativo de soja de primera según antecesor de verano. Valores seguidos con la misma letra dentro de cada zona no son estadísticamente significativos ( $P < 0,05$ ). Barras de error indican el error estándar.

## 2. RESULTADO ECONÓMICO SEGÚN ANTECESOR

Para evaluar el impacto económico diferencial que generan los antecesores, se utilizó cada uno de los datos generados en los muestreos por antecesor (4500 y 5500 valores de rendimiento relativo para la zona para litoral sur y norte, respectivamente). Por lo tanto, para cada zona se contó con cuatro variables aleatorias de entrada, correspondientes al rendimiento relativo por antecesor. Se valoró el grano de soja utilizando un precio referencia por zafra (DIEA 2015) (Cuadro 2) obteniendo para cada registro una variable denominada producto bruto (PB) (precio soja \* rendimiento).

**Cuadro 2.** Precio de referencia de soja en U\$S kg<sup>-1</sup> para el periodo analizado.

Zafra	Precio Soja (U\$S kg <sup>-1</sup> )*
2009/10	0,396
2010/11	0,38
2011/12	0,485
2012/12	0,547
2013/14	0,499

\* Adaptado de DIEA 2015

A su vez se generó una nueva variable de respuesta denominada producto bruto diferencial (PB<sub>dif</sub> en U\$S ha<sup>-1</sup>). Este indicador cuantifica la variación del producto bruto (PB) generado por soja sobre distintos antecesores con relación al producto bruto (PB) obtenido con el rendimiento medio por zona al precio medio de venta. Se generó un total de 4500 y 5500 de iteraciones para el litoral sur y norte respectivamente y una distribución del PB<sub>dif</sub> para cada antecesor y zona. Cada una de estas variables en cada zona fue ordenada asumiendo que cada una de las salidas tiene la misma probabilidad de ocurrencia,

lo cual permitió estimar la probabilidad de ocurrencia de los distintos PB<sub>dif</sub> para cada antecesor.

Los resultados económicos de las cuatro opciones evaluadas cuantificados como el producto bruto diferencial generado por soja respecto a la media se presenta en la Figura 2.

En ambas zonas el mayor PB<sub>dif</sub> generado por soja fue para el antecesor Maíz 2da y el menor para Soja 2da. En tanto, el resultado logrado para los antecesores Soja 1ra y Maíz 1ra difirió entre zonas. Los resultados para el litoral norte, muestran que el antecesor Maíz, se diferencian claramente de los antecesores Soja (Figura 2b) independientemente de si hubo barbecho invernoso o cultivo de invierno previo a la soja. Para esta zona la probabilidad de tener un producto bruto menor que la media es de 28% y 35% para Maíz 2da y Maíz 1ra respectivamente



(ver Figura 2 para  $PB_{dif} = 0$ ), mientras que esa probabilidad crece a aproximadamente 65% para Soja tanto de primera como de segunda. En contraparte para el litoral sur se destaca el antecesor Maíz 2da, ya que sólo en un 20% de los casos su producto bruto es igual o menor a la media del período. En contraparte, casi un 65% de las situaciones sobre antecesor Soja 2da presentó un producto bruto menor a la media del pe-

ríodo, además de tener mayor probabilidad de ocurrencia las diferencias negativas mayores (Figura 2a). El  $PB_{dif}$  de soja sobre los antecesores Maíz 1ra y Soja 1ra para esta zona presentó comportamientos similares aunque con una leve superioridad del antecesor Maíz 1ra respecto a Soja 1ra, sin alcanzar el comportamiento de Maíz 2da.

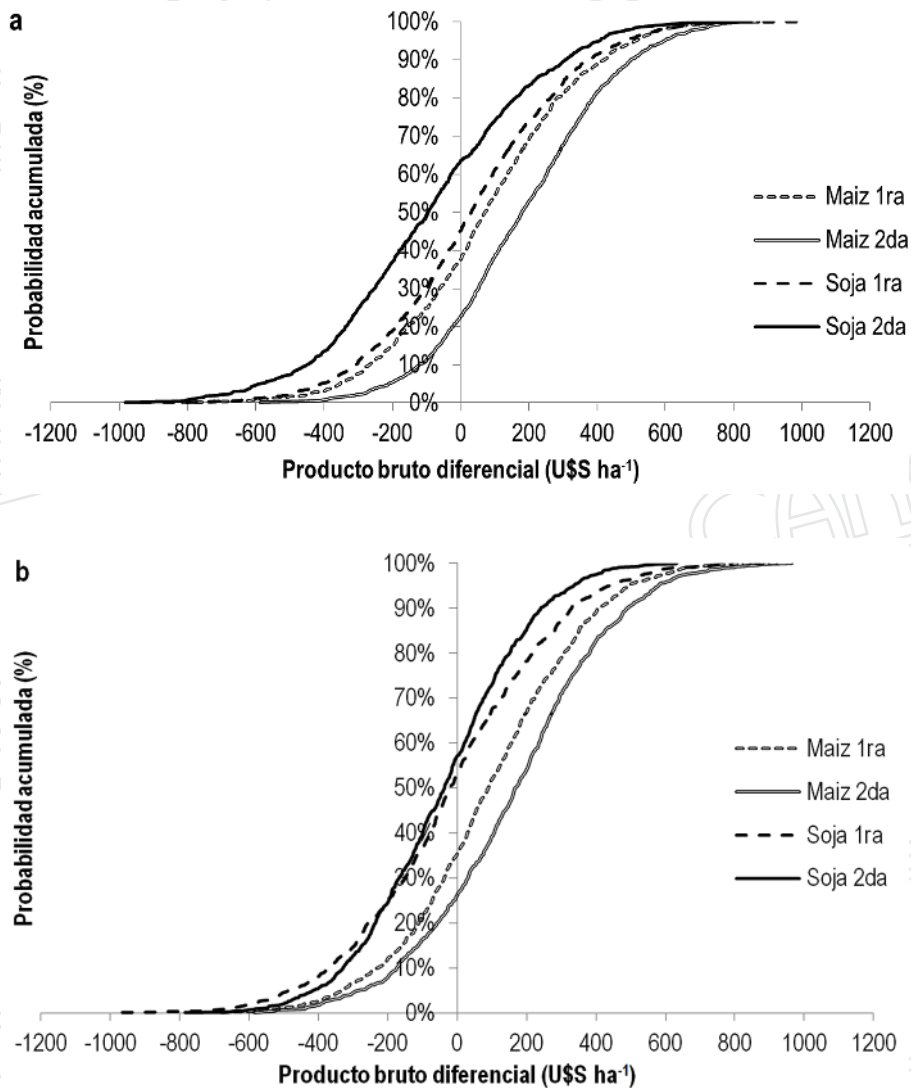


Figura 2. Producto bruto diferencial respecto a la media del periodo 2009-2013 para la zona litoral sur (a) y litoral norte (b).

### 3. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS Y CONCLUSIONES

El análisis de registros de productores de soja permitió cuantificar la diferencia en el rendimiento medio de soja y su distribución cuando es sembrada sobre distintos antecesores generados por combinaciones de soja, maíz, barbecho invernal y cultivos de invierno.

Nuestros resultados muestran que incorporando maíz como antecesor de soja se obtuvo un incremento en el rendimiento de soja de entre 6 y 13% con relación al rendimiento medio de cada zona estudiada.

En términos absolutos, estas diferencias correspondieron a un aumento de rendimiento de entre 170 y 400 kg ha<sup>-1</sup> para el litoral sur y 200 y 310 kg ha<sup>-1</sup> para el litoral norte y los ante-

cesores Maíz 1ra y Maíz 2da, respectivamente. En contraparte, el antecesor Soja 2da significó una pérdida de entre 200 y 110 kg ha<sup>-1</sup> respecto a la media para el litoral sur y litoral norte, respectivamente. Las magnitudes de las diferencias están dentro del rango citado por los trabajos regionales (Felizia *et al.*, 1994, Díaz-Zorita *et al.*, 2014).

Estas diferencias medias y su variabilidad se tradujeron en diferencias en el producto bruto diferencial y su probabilidad de ocurrencia (Figura 2). Para un 50% de probabilidad de ocurrencia (o la mediana) la siembra de soja sobre Maíz 2da generaría una ganancia en producto bruto de entre U\$S 165 y 180 U\$S y para la siembra sobre Maíz 1ra entre U\$S 89 y 71 para el litoral Sur y litoral Norte, respectivamente con relación al margen medio esperado para cada zona. No obstante, para obtener este resultado, el productor debería sustituir una proporción de la superficie sembrada con soja por maíz. Por

tanto, correspondería cuantificar el resultado económico en su conjunto, incorporando no sólo los beneficios sobre un cultivo sino para la secuencia de cultivos establecida. Una de las posibles causas por las que los productores deciden no sustituir soja por maíz es el bajo rendimiento actual promedio de maíz (4500 kg ha<sup>-1</sup>) (<http://www.yieldgap.org/gygamaps/app/indexLat.html>), el riesgo de producción determinado por su alta variabilidad interanual, que se explica por la condición de producción en secano y los mayores costos de producción, lo que genera un escenario probable de margen bruto negativo para el cultivo de maíz.

Por otra parte, el impacto de sustituir soja por maíz en las secuencias de cultivos puede cuantificarse sumando el producto bruto diferencial (Figura 2) de cada secuencia y valorando el riesgo de obtener PB negativo. Cuando la soja se sembró sobre un antecesor Soja 2da generó un PB<sub>dif</sub> negativo, sumar (en términos absolutos) este PB<sub>dif</sub> (con valores negativos) con el PB<sub>dif</sub> del antecesor Maíz 1ra o Maíz 2da (con valores positivos), permitió ponderar la ganancia total generada por el antecesor maíz con la pérdida que se hubiera generado por el antecesor soja. Nuestros resultados indican que con un 50% de probabilidad, el antecesor Maíz 2da generó un PB<sub>dif</sub> total de U\$S 179 y U\$S 166 para litoral Sur y litoral Norte, respectivamente. Sumado a la pérdida de entre U\$S -96 y -37 evitada por sembrar sobre Soja 2da, generaría una PB<sub>dif</sub> positivo para el antecesor maíz estimado en 275 y 203 U\$S ha<sup>-1</sup> para litoral Sur y litoral Norte, respectivamente.

El riesgo de obtener un PB negativo en soja cuando se siembra sobre antecesor maíz fue de 20-25% contra 50-60% cuando el antecesor fue soja (Figura 2). Este efecto fue independiente de si el antecesor maíz o soja estuvieron o no combinados con un cultivo invernal. Por tanto, si el resultado económico del cultivo de invierno es positivo, la sustitución inmediata de la soja por maíz representará un PB<sub>dif</sub> positivo del cultivo de soja del año siguiente.


Hay aspectos que este trabajo no puede contestar: (1) cuáles son los agentes causales de estas diferencias, (2) la duración del efecto positivo de incluir un cultivo de maíz, (3) si el efecto negativo de repetir soja es acumulativo. Para el primer aspecto,



si bien la bibliografía no es concluyente, es más probable que sea un efecto combinado de ausencia de soja un año en el sistema y posibles beneficios generados por la permanencia del rastrojo del cultivo de invierno sobre el suelo sumado a la cosecha del cultivo estival a fines de otoño.

Respecto de la duración del efecto positivo del antecesor maíz, la base de datos utilizada tampoco permite cuantificarlo. Resultados obtenidos en la región muestran que puede durar hasta tres años posteriores a la inclusión del maíz, lo que permitiría mantener una alta frecuencia de soja en la rotación. La duración de este efecto estaría condicionada por un posible efecto negativo acumulativo generado por la frecuencia de soja. No obstante, las relaciones de área entre soja y maíz a nivel nacional determinan que en promedio se hacía un cultivo de maíz cada 6.3 años en la zafra 2005-06 y un cultivo de maíz cada 8.5 años en la zafra 2013-14, lo cual afirma que los productores locales no logran hacer de forma rentable el cultivo de maíz o no están evaluando adecuadamente el impacto de la inclusión en el sistema de producción.

## 4. AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a FUCREA, sus productores y técnicos por la base de datos que hizo posible este trabajo. 

### BIBLIOGRAFÍA

- Bacigaluppo, S.; Bodrero, M.; Salvagiotti, F.** 2009. Producción de soja en rotación vs monocultivo en suelos con historia agrícola prolongada. INTA EEA Oliveros. Para Mejorar la Producción 42: 53-55. <http://inta.gob.ar/documentos/produccion-de-soja-en-rotacion-vs-monocultivo-en-suelos-con-historia-agricola-prolongada>. Accessed, May 19, 2017.
- Copeland, P. J.; Allmaras, R.R.; Crookston, R.K.; Nelson, W.W.** 1993. Corn-Soybean rotation effects on soil water depletion. *Agronomy Journal* 85: 203-210.
- Crookston, R. K., Kurle, J.E., Copeland, P. J., Ford, J.H., Lueschen, W.E.** 1991. Rotational cropping sequence affects yield of corn and soybean. *Agronomy Journal* 83:108-113.
- Díaz-Zorita, M.; Barraco, M.; Transmonte, D.** 2014. ¿Rotaciones o monocultivos en la pampa arenosa? XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo y II Reunión Nacional "Materia Orgánica y Sustancias Húmicas". Bahía Blanca, Argentina, del 5 al 9 de mayo de 2014.
- Dirección de Estadísticas Agropecuarias (DIEA),** 2015. Anuario estadístico agropecuario. <http://www2.mgap.gub.uy/portal/page.aspx?2.diea.diea-anuario-2015.O.es.0>, Accessed, May 19, 2017.
- Ernst, O.; Siri-Prieto, G.; Cadenazzi, M.** 2009. Influence of crop-pasture rotation and tillage system on yields of wheat, soybean, barley, sorghum and sunflower in Uruguay. *Journal of Agricultural Machinery Science* 53:253-62.
- Felizia, J.C.; Rivas Fanconi, C.A.; Pabón J.A.; Hofer, W.** 1994. Influencia del maíz y sorgo granífero sobre el rendimiento de la soja en suelos degradados del área de influencia de la AER Roldán. En: Rotaciones para Producir Rastrojos, pp. 23-25. Proyecto PAC II, Serie Agricultura Sostenible N° 2, INTA.
- García-Prechac, F., Ernst, O., Siri-Prieto, G., Terra, J.A.** 2004. Integrating no-till into crop-pasture rotations in Uruguay. *Soil and Tillage Research* 77:1-13.
- Howard, D.D., Chambers, A.Y., Lessman, G.M.** 1998. Rotation and fertilization effects on corn and soybean yields and soybean cyst nematode populations in a no-tillage system. *Agronomy Journal* 90: 518-522.
- Karlen, D. L., Varvel, G.E., Bullock, D.G., Cruse, R.M.** 1994. Crop rotations for the 21st century. *Advances in Agronomy*, 53: 1-45.
- Lattanzi, A., Arce, J., Marelli, H., Lorenzon, C., Baigorria, T.** 2005. Efecto de largo plazo de la siembra directa y de rotaciones de cultivos sobre los rendimientos, el carbono y nitrógeno orgánico en un suelo Argiudol típico en Marcos Juárez. In: Seminario Internacional Indicadores de Calidad de Suelo (2005, Marcos Juárez, Argentina). 20 p.
- Liu, X., Li, Y., Han, B., Zhang, Q., Zhou, K., Zhang, X., Hashemi, M., 2012. Yield response of continuous soybean to one-season crop disturbance in a previous continuous soybean field in Northeast China. *Field Crops Research* 138, 52-56.
- Porter, P.M., Lauer, J.G., Lueschen, W.E., Harlan Ford, J., Hoverstad, T.R., Oplinger, E.S., Crookston, R.K. 1997. Environment affects the corn and soybean rotation effect. *Agronomy Journal* 89:442-448.
- Wilhelm, W.W., Wortmann, C.S. 2004. Tillage and rotation interactions for corn and soybean grain yield as affected by precipitation and air temperature. *Agronomy Journal* 96:425-432.