

Servicios ecosistémicos: una mirada desde los intercultivos

Ecosystem services: a view from intercrops

Lucrecia Noemí Brutti^{1,2}, Marcos Andrés Roba³, Angel Romito^{2,3}, Ernesto Benito Giardina⁴,
Mario Omar Tesouro^{3,5}, Juan Pablo D'Amico⁶, Esteban Ariel Ciarlo⁷

1. Centro de Investigación de Recursos Naturales, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Instituto de suelos. Buenos Aires, Argentina.
2. Escuela Superior de Ingeniería, Informática y Ciencias Agroalimentarias. Universidad de Morón, Buenos Aires.
3. Centro de Investigación de Agroindustria, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Instituto de Ingeniería Rural. Buenos Aires, Argentina.
4. Departamento Recursos Naturales y Ambiente. Facultad de Agronomía (UBA). Capital Federal.
5. Cátedra de Maquinaria Agrícola. Departamento de Ingeniería Agrícola y Uso de la Tierra. Facultad de Agronomía (UBA). Capital Federal.
6. Estación Experimental Agropecuaria Hilario Ascasubi. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Buenos Aires, Argentina.
7. Cátedra de Edafología. Departamento Recursos Naturales y Ambiente. Facultad de Agronomía (UBA). Capital Federal.

Manuscrito recibido: 5 de abril de 2022; aceptado para publicación: 11 de julio de 2022

Autor de Contacto: Angel Romito. cel: 15-3437-9323 - C.C. 25 - INTA Castelar (B1712WAA). Buenos Aires – Argentina.
E-mail: aromito@unimoron.edu.ar; romito.angel@inta.gob.ar

Resumen

Los servicios ecosistémicos se pueden definir como las condiciones y procesos a través de los cuales los ecosistemas y las especies que los conforman, mantienen y satisfacen la vida del hombre. En este sentido, un manejo agrícola que favorezca la eficiencia de producción sin significar ello una degradación del ambiente, aporta a hacer un uso más eficiente de los servicios ambientales. Un modo de producir cultivos de manera más eficiente en el uso de los recursos, es a través del intercultivo. El objetivo de este trabajo fue evaluar las ventajas productivas para el intercultivo maíz-soja. Además, se evaluaron dos fechas de siembra, una temprana, 5 de noviembre y una tardía, 21 de diciembre. Los tres tratamientos: soja sola, maíz solo e intercultivo maíz-soja en proporción 1:1, fueron conducidos mediante un diseño completamente aleatorizado con 4 repeticiones por tratamiento, para cada fecha de siembra. Las muestras vegetales fueron tomadas en estado reproductivo de plena floración (R2) para soja y en grano lechoso (R3) para maíz. El número de nódulos de las raíces secundarias de la soja sembrada sola fue superior a la soja sembrada con maíz para la primera fecha de siembra. El número de mazorcas por planta, peso seco de la biomasa aérea y nitrógeno en hoja en la primera fecha de siembra del maíz fueron superiores en el intercultivo que en el cultivo puro. La productividad del intercultivo fue biológicamente superior que en los cultivos solos.

Palabras clave: nodulación, LER, maíz, soja, competencia interespecífica.

Abstract

Ecosystem services can be defined as the conditions and processes through which ecosystems and the species that make them up, maintain and satisfy human life. In this sense, an agricultural management that favors the efficiency of production without implying a degradation of the environment contributes to making a more efficient use of its services. One way to produce crops more efficiently in the use of resources is through intercropping. The objective of this work was to evaluate the corn-soybean intercropping productive advantages. In addition, two sowing dates were evaluated, an early one, November 5, and a late one, December 21. The three treatments: soybean alone, corn alone, and intercropping corn-soybean in a 1:1 ratio, were conducted through a completely randomized design with 4 repetitions per treatment, for each sowing date. For the physiological tests, the plant samples were taken in full flowering reproductive state (R2) for soybeans and in milky grain (R3) for corn. The number of nodules of the secondary roots of soybeans planted alone was higher than soybeans planted with corn for the first sowing date. The number of ears per plant, dry weight of the aerial biomass and nitrogen in the leaf on the first date of corn sowing were higher in the intercropping than in the maize alone culture. The productivity of the intercropping was biologically higher than in the crops alone.

Key words: nodulation, LER, maize, soybean, interspecific competition.

DOI: <http://doi.org/10.34073/285>

INTRODUCCIÓN

Desde un punto de vista ecológico y sistémico, se definen como servicios ecosistémicos a las condiciones y procesos a través de los cuales los ecosistemas y las especies que los conforman, mantienen y satisfacen la vida del hombre (Rótolo y Francis, 2008). Los suelos prestan importantes funciones o servicios que mantienen a estos y que apoyan las actividades sociales y económicas de las personas, pudiéndose interpretar como: producción de alimentos y biomasa, escenario indispensable para los ciclos biogeo-químicos, almacenamiento o fijación de carbono, almacenamiento y filtración de agua, soporte para la actividad humana y su abastecimiento, reserva de biodiversidad, depósito del patrimonio geológico y arqueológico, entorno físico y cultural para la humanidad (Burbano, 2016). Según Viglizzo y Frank (2006), quienes estimaron y valorizaron los servicios ecosistémicos de la región pampeana, la agricultura se sirve de los ecosistemas a razón de US\$181 ha·año⁻¹. El hecho de realizar esfuerzos para evaluar y valorar los servicios ecosistémicos, especialmente de agroecosistemas, ofrece herramientas que posibilitan generar estrategias de manejo de la agricultura para favorecer dichos servicios sin dejar de

lado la producción (Rótolo y Francis, 2008). Una manera de favorecer el bienestar y su población a largo plazo, es encontrar el manejo agrícola que permita mantener buenos rendimientos y a su vez contribuir a mantener o mejorar los servicios ecosistémicos de soporte y regulación (Swinton *et al.*, 2006; Rótolo y Francis, 2008).

En un estudio integral agroindustrial, que incluye la generación de biogás, Bozzetto *et al.* (2016) señalan que uno de los puntos importantes para cumplir con la reducción del impacto de la agricultura, es promover la reducción en el uso de tierra agrícola adicional fomentando los intercultivos y cultivos de cobertura en las tierras actualmente productivas. Se conoce como intercultivo a la acción de plantar dos o más especies en la misma área, al mismo tiempo (ASAE, 1996). En Argentina se han realizado varios ensayos de intercultivo con soja y maíz en las áreas tradicionalmente productoras de estos cultivos y en otras que, sin serlo, han visualizado la posible ventaja de esta práctica (Monzón *et al.*, 2006; Caviglia, 2007; Calviño *et al.*, 2005). El intercultivo puede realizarse en una sola labor o ser diferida unos días, de modo que dos o más especies sean cultivadas simultáneamente en el mismo lugar de manera que el período de superposición

sea lo suficientemente largo como para incluir los estadios vegetativos (Gómez y Gómez, 1983). El éxito depende de la correcta utilización del uso complementario de recursos, temporal y espacialmente (Xue *et al.*, 2016) favoreciendo las interacciones interespecíficas positivas, comunes en sistemas naturales.

Es importante remarcar las funciones ecosistémicas que se desprenden de esta práctica. Los cultivos intercalados de cereales y oleaginosas, presentan no sólo la mejora de los rendimientos sino también la sostenibilidad de los agroecosistemas gracias a las interacciones positivas planta-suelo-microorganismo (Duchene *et al.*, 2017). Murrell *et al.* (2017) señalan que la utilización de sistemas intercultivados permite aprovechar rasgos funcionales de las distintas plantas, cómo la producción de aleloquímicos específicos, la capacidad de fijación de nitrógeno atmosférico o la posibilidad de atraer insectos benéficos.

La competencia interespecífica ha sido objeto de estudio en relación a los intercultivos (Vandermeer, 1989; Jolliffe y Wanjau, 1999). Otra posible relación ecológica entre especies es la facilitación, la cual puede ser asimétrica, donde una especie se beneficia y la otra no, o simétrica donde hay una facilitación mutua (Crawley, 1997). El interés acerca de la facilitación interespecífica simétrica, donde diferentes especies vegetales se benefician mutuamente cuando crecen juntas, puede observarse en algunos trabajos enfocados preferentemente en la ecología de dicha relación (Callaway y Pugnaire, 1999; Li *et al.*, 2003). El resultado neto de estas interacciones puede ser cuantificado a través de la tasa de área equivalente -LER- (de *Land Equivalent Ratio*; Vandermeer, 1989). Cuando la LER es mayor a 1 la facilitación está contribuyendo en mayor medida que los fenómenos de competencia.

Además de mejorar la eficiencia en el uso del suelo en sistemas extensivos (Xue *et al.*, 2016), los intercultivos de maíz y soja producen grandes ventajas para los campesinos en sistemas de bajo capital y en ambientes productivos con riesgo de degradación (Iqbal *et al.*, 2018). En un análisis de datos publicados en las revistas de la especialidad, Zhan Xu *et al.* (2020) concluyen que el sistema de intercultivo de maíz-soja es una prometedora solución para el desarrollo agrícola sustentable y la seguridad alimentaria.

En esta combinación de cultivos, la superposición temporal

del uso del recurso puede ser total o parcial, consiguiéndose mayores ventajas cuando las fases de mayor tasa de crecimiento o los períodos críticos no coinciden en el tiempo o cuando los nutrientes son aprovechados de diferentes maneras. Las leguminosas pueden utilizar el nitrógeno atmosférico (N_2) mientras que los cereales sólo utilizan nitrógeno mineral (N) (Echarte *et al.*, 2011). El rendimiento en grano del cultivo de maíz se encuentra principalmente limitado por agua y nitrógeno, presentando la oferta de ambos recursos una importante variabilidad, tanto espacial como temporal (Albarenque, 2017) mientras que para soja, la maximización de la producción estará vinculada a la ausencia de estructuras masivas en los primeros centímetros del suelo (Bacigalupo *et al.*, 2006) y a una buena eficiencia en el manejo del agua, siendo el factor más limitante en Argentina (Salvaggiotti, 2009).

El objetivo principal de este trabajo fue evaluar las ventajas productivas para el intercultivo maíz-soja. Por otra parte, entender si este sistema de implantación a su vez influencia el peso seco y altura de los cultivos. Además, el estado de la nodulación de las plantas en el caso particular de la soja. Y finalmente, identificar si como resultado de su interacción, el sistema de intercultivo representa un aporte a los servicios ecosistémicos.

Además, se evaluaron los rendimientos de este sistema en dos fechas de siembra: una temprana, 5 de noviembre y una tardía, 21 de diciembre.

Las hipótesis de trabajo son: 1) en el intercultivo la leguminosa favorece la nutrición nitrogenada de la gramínea; 2) en una fecha tardía de siembra, el maíz tiene mejores posibilidades de expresar sus componentes de rendimiento en un sistema de intercultivo; 3) la nodulación en las raíces del cultivo de soja se ve afectada por el intercultivo con maíz y 4) los servicios ecosistémicos del sistema de intercultivo son mayores que en el sistema convencional.

MATERIAL Y METODOS

Se realizó un ensayo con cultivos de soja (*Glycine max* (L.) Merrill) y maíz (*Zea mays* L.) en el campo experimental del Instituto de Ingeniería Rural (INTA, Provincia de Buenos Aires, 34° 36' 20,69" S; 58° 40' 2,56" O). La zona se caracteriza por presentar un clima templado con lluvias uniformemente distribuidas durante el año, con una tempe-

ratura media anual de 18 °C y precipitaciones medias anuales de 900 mm (SAGyP, 1990). Las parcelas se ubicaron en un área taxonómicamente formada por una asociación de suelos entre la serie "Hurlingham" (60%, *Argiudol vértico*) y la serie "Las Cabañas" (40%, *Argiudol típico*), moderadamente drenados, con una pendiente de 1-3%.

El ensayo contó con dos factores, cultivo y fecha de siembra, en un diseño factorial completo aleatorizado con 4 repeticiones totalizando 12 unidades experimentales por cada fecha de siembra. Se aplicaron tres tratamientos del factor cultivo: cultivo de soja sola, cultivo de maíz solo e intercultivo maíz-soja. En todos los tratamientos se sembraron 7 surcos contiguos y distanciados a 0,70 m entre sí. En el caso del intercultivo (Figura 1), la siembra se realizó en forma simultánea alternando surcos de maíz y soja en una proporción de 1:1. La configuración final del ensayo resultó en 7 surcos contiguos de soja sola, 7 surcos contiguos de maíz solo y 7 surcos intercalados de maíz y soja.

El factor fecha de siembra constó de dos niveles: la primera fecha el 5 de noviembre (cultivos tempranos) y la segunda el día 21 de diciembre (cultivos tardíos), ambos en el año 2009. En ambos casos la humedad del suelo se encontraba cercano al punto de capacidad de campo, humedad gravimétrica media 27,56% para la primera fecha, y de 30,24% para la segunda fecha.

Las semillas de maíz utilizadas en ambas fechas de siembra correspondieron al híbrido AD-615 A RR2 (pureza del 98%, poder germinativo del 99%, según marbete). Respecto de la semilla de soja, se eligió para la primera fecha de siembra, una variedad del grupo 4 (ADM4600) con una pureza del 90% y un poder germinativo del 99%, medidas en laboratorio. Para la segunda fecha se utilizó una variedad del grupo 6 (ADM6500) con una pureza del 98,5% y un poder germinativo del 98% según datos de laboratorio. Las semillas de soja en ambos casos fueron inoculadas con un producto comercial elaborado con *Bradyrhizobium japonicum* en la forma y dosis aconsejada por el fabricante.

Se reguló la sembradora para dosificar simultáneamente las dos especies en el caso de las parcelas intercultivadas. En ambas fechas de siembra se distribuyeron 6,05 y 14,33 semillas por metro lineal de maíz y soja, respectivamente. Para las parcelas de cultivos solos se utilizaron las mismas densidades. Al momento de la siembra se fertilizó con fosfato



Figura 1: Vista del intercultivo maíz-soja en una relación 1:1

diamónico (PDA) con una dosis de 25,9 kg·ha⁻¹ según requerimiento medio de los cultivos y un análisis del suelo realizado previo a la siembra.

Se tomaron muestras de plantas de soja en estado reproductivo de floración completa (R2) según clave de Fehr y Caviness (1977) utilizando la metodología propuesta por Small y Ohlrogge (1973) con modificaciones. Se extrajeron 10 plantas enteras (parte aérea y raíces) por cada muestra, seleccionadas aleatoriamente evitando la línea exterior y a más de 0,50 m de los extremos considerándolos como bordura. Para cada planta se midió altura de la parte aérea, peso fresco y seco de ambas partes y número de nódulos de la raíz principal y secundaria.

El modo de muestreo vegetal fue similar para el maíz, realizándose cuando éste se encontraba en grano lechoso R3 (escala de Ritchie y Hanway, 1982), siguiendo la metodología propuesta por Jones y Eck (1973). Se registró el peso fresco y seco de la biomasa aérea sin mazorca, altura de las plantas y número de mazorcas por planta.

Se separaron hojas sanas de las plantas de soja y maíz y luego de ser secadas a 65 °C, fueron sometidas a un análisis

de N en tejido (proteína) utilizando la metodología *Kjeldhal*. Además, se evaluó el rendimiento en grano de soja y maíz a la madurez fisiológica de los cultivos, secando las muestras de grano hasta constancia de peso y luego referenciándolas al 14% de humedad. Las fechas de cosecha (año 2010) fueron las siguientes: soja temprana: del 12 al 14 de abril; soja tardía: 25 de abril; maíz temprano: 10 de marzo; maíz tardío 9 de abril. El rendimiento de los cultivos intercultivados fue expresado en función de la superficie real ocupada por cada especie.

Con los datos de rendimiento se determinó la tasa de área equivalente - LER (del inglés *Land Equivalent Ratio*) del intercultivo. El LER es la expresión de la tierra requerida para la producción del mismo rendimiento en intercultivos comparándolos con cultivos solos (Mead y Willey, 1980). El LER se calculó de la siguiente manera (Vandermeer, 1989):

$$LER = L = L_M + L_S = \frac{R_{MIC}}{R_{MS}} + \frac{R_{SIC}}{R_{SS}}$$

Donde L_M y L_S son los LER parciales para maíz y soja, respectivamente; R_{MIC} y R_{SIC} son los rendimientos de maíz y soja en intercultivo; y R_{MS} y R_{SS} son los rendimientos de maíz y soja solos.

Por último, se calculó la *Agresividad*, que indica la competencia interespecífica relacionando los cambios en los rendimientos de dos cultivos interactuantes (Wiley y Rao, 1980), mediante la siguiente fórmula:

$$Agresividad_{MS} = \frac{R_{MIC}}{R_{MS} \otimes F_{MIC}} - \frac{R_{SIC}}{R_{SS} \otimes F_{SIC}}$$

Donde F_{MIC} y F_{SIC} son la fracción del área ocupada por maíz y soja intercultivadas, respectivamente. Si la agresividad es mayor a cero entonces la habilidad competitiva del maíz en intercultivo es mayor que la de la soja. Por el contrario, si es menor significa que la soja supera en captación de recursos al maíz.

Las variables evaluadas en cada caso, se sometieron a un análisis de varianza y las diferencias entre las medias se estimaron con la prueba de Fisher ($P \leq 0,05$). También se realizó análisis de regresión simple o múltiple con las distintas variables consideradas.

RESULTADOS

Observando los datos climáticos para cada uno de los ensayos (**Tabla I**), se encontró que en ambas fechas de siembra el clima fue favorable, tanto por el agua disponible como por

Tabla I: Resumen climático para Castelar (Provincia de Buenos Aires, Argentina) durante el ciclo del cultivo.

Mes	Temperatura media (°C)	Precipitación media (mm)	Precipitación acumulada (mm)	Grados días (10 °C)	Grados días acumulados	
					05/11/2009 a 24/03/2010	21/12/2009 a 12/04/2010
octubre	16,3	221,4	350,6	195,4		
noviembre	19,7	171,7	522,3	290,6	242,2	
diciembre	21,6	140,0	662,3	359,0	601,2	243,2
enero	25,4	130,0	792,3	476,1	1077,3	719,3
febrero	22,7	246,2	103,5	354,3	1431,6	1073,6
marzo	27,2	95,0	1133,5	368,5	1716,9	1442,1
abril	16,2	82,0	1215,5	187,4		1517,1

Fuente: Servicio Meteorológico Nacional (2009-2010)

las temperaturas medias. Además, los dos cultivos presentaron en ambas fechas de siembra un buen estado sanitario. En la **Tabla II** pueden observarse los datos medios de las distintas variables medidas en el cultivo de soja, según fecha y manejo. Analizando las variables fisiológicas de forma general, no existió efecto de interacción entre los tratamientos y la fecha de siembra ($P \leq 0,05$). La única variable que presentó diferencias entre manejos de cultivo es el número de nódulos en las raíces secundarias, siendo 13,5 y 21,12 nódulos·planta⁻¹ para la soja intercultivada y sola respectivamente ($F = 7,15$; val $p = 0,0203$). Para el resto de las variables, la diferencia estadística se encontró entre las fechas de siembra. El promedio para el N total en hojas de soja fue de 40,04 y 33,16 g·kg·planta⁻¹ para los tratamientos implantados en noviembre y diciembre respectivamente ($F = 22,92$; val $p = 0,0004$). La medición de altura del cultivo de soja derivó en valores promedio de 47,50 cm para noviembre y 79,06 cm en diciembre ($F = 75,95$; val $p < 0,0001$). Por su parte el peso seco de la biomasa aérea en noviembre fue de 0,02 kg·planta⁻¹ y 0,08 kg·planta⁻¹ en diciembre ($F = 31,32$; val $p = 0,0001$). En cuanto a las raíces, el peso seco medio fue de 0,01 y 0,02 kg·planta⁻¹ en noviembre y diciembre respectivamente ($F = 22,84$; val $p = 0,0004$). En el cultivo de maíz, en el único caso que se comprobó la existencia de interacción entre el manejo del cultivo (solo o

intercultivado) y la fecha de siembra es al analizar el peso seco de la biomasa aérea ($F = 12,24$; val $p = 0,0037$), siendo el intercultivado y sembrado en noviembre el que se diferenció significativamente del resto. En la **Tabla III** pueden verse los datos obtenidos diferenciando fecha de siembra y manejo.

El N total en hojas de maíz presentó diferencias estadísticas según tratamiento ($F = 10,33$; val $p = 0,0074$) y fecha de siembra ($F = 5,58$; val $p = 0,036$). Sus valores medios fueron 13,26 g·kg⁻¹ para el maíz cultivado solo y 17,02 g·kg⁻¹ para el intercultivado ($F = 10,33$; val $p = 0,0074$); mientras que según la fecha de siembra sus valores fueron 16,52 y 13,76 g·kg⁻¹ para noviembre y diciembre respectivamente ($F = 5,58$; val $p = 0,036$).

La altura media de las plantas de maíz fue de 1,88 m para los cultivados en noviembre y de 1,44 m en diciembre ($F = 44,77$; val $p < 0,0001$). Si bien el número de mazorcas no presentó diferencias estadísticas, sí se encontraron para el peso seco de las mismas según la fecha de siembra ($F = 19,12$; val $p = 0,0009$), encontrando en noviembre un promedio de 0,03 y en diciembre de 0,06, en ambos casos en kg·mazorca⁻¹.

En la **Tabla IV** se observa el rendimiento promedio en kilogramos por hectárea de los cultivos de maíz y soja según manejo (solo o intercultivado) para cada fecha de siembra. Para ambos cultivos se encontró una interacción entre tra-

Tabla II: Valores promedio de las variables medidas en las plantas de soja según tipo de manejo de cultivo y para cada fecha de siembra

Cultivo	Nitrógeno en hojas (g·kg ⁻¹)	Altura (m·planta ⁻¹)	Peso seco biomasa aérea (kg·planta ⁻¹)	Peso seco raíces (kg·planta ⁻¹)	Nódulos en raíz principal (nod·planta ⁻¹)	Nódulos en raíces secundarias (nod·planta ⁻¹)
Siembra noviembre						
Sola	39,88	0,45	0,02	0,01	5,75	23,00
Intercultivada	40,19	0,50	0,02	0,01	6,75	11,75
Siembra diciembre						
Sola	33,54	0,76	0,10	0,02	4,75	19,25
Intercultivada	32,78	0,82	0,07	0,02	5,25	15,25

Tabla III: Valores promedio de las variables medidas en las plantas de maíz según tipo de manejo de cultivo y para cada fecha de siembra

Cultivo	Nitrógeno en hojas (g•kg ⁻¹)	Altura (m•planta ⁻¹)	Peso seco biomasa aérea (kg•planta ⁻¹)	Número de mazorcas (mazorcas•planta ⁻¹)	Peso seco de mazorca (kg•mazorca ⁻¹)
Siembra noviembre					
Sola	15,13	1,92	0,11	1,00	0,02
Intercultivada	17,91	1,85	0,16	1,75	0,04
Siembra diciembre					
Sola	11,39	1,50	0,08	1,50	0,06
Intercultivada	16,13	1,39	0,10	1,50	0,06

Tabla IV: Rendimiento promedio en kg•ha⁻¹ de los cultivos

Tratamiento	Siembra noviembre		Siembra diciembre	
	Solo	Intercultivado	Solo	Intercultivado
Maíz	7116 A	6195 A	13599 B	10074 C
Soja	2973 b	677 a	2588 b	869 a

Letras distintas señalan diferencias significativas; en mayúsculas para el cultivo de maíz y en minúsculas para soja.

tamiento y fecha de siembra. En el caso del maíz ($F = 6,5$; $\text{val } p = 0,0144$), la diferencia mínima significativa para este caso fue de $1930,9 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. En cuanto a la soja ($F = 5,69$; $\text{val } p = 0,0214$) la diferencia mínima significativa fue de $456,6 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$.

El coeficiente LER alcanzó un valor de 1,10 para el intercultivo en la primera fecha y 1,08 en la segunda. En cuanto a la agresividad, se encontró que para la primera fecha de siembra alcanzó un valor de 1,28 mientras que, para la segunda fecha, el índice de agresividad calculado alcanza un valor de 0,81.

Para el cultivo de maíz, no sólo la fecha de siembra tuvo influencia sobre la concentración de nitrógeno en hojas en estado R3 (**Figura 2**), sino que el intercultivo tuvo un efecto positivo en este parámetro, siendo esta diferencia estadísticamente significativa en la segunda fecha de siembra. El

contenido de N en las hojas de las plantas de soja en floración dependió de la fecha de siembra siendo menor en las de la segunda fecha, no viéndose afectado en ambas siembras por la presencia del maíz. Al comparar los datos de N en hojas de plantas de soja de la primera con la segunda siembra, se observan diferencias significativamente superiores para la soja de la primera fecha ($\text{Pr} > F = 0,0039$).

DISCUSIÓN

Para el caso de la soja y en ambas fechas de siembra, las variables bajo estudio no presentan diferencias significativas entre el cultivo solo y el intercultivado, con excepción del número de nódulos en raíces secundarias en primera fecha, ya que su valor para soja cultivada sola fue significativamente superior a la soja sembrada con maíz. Este comportamiento puede deberse a la elevada demanda de nitrógeno y agua

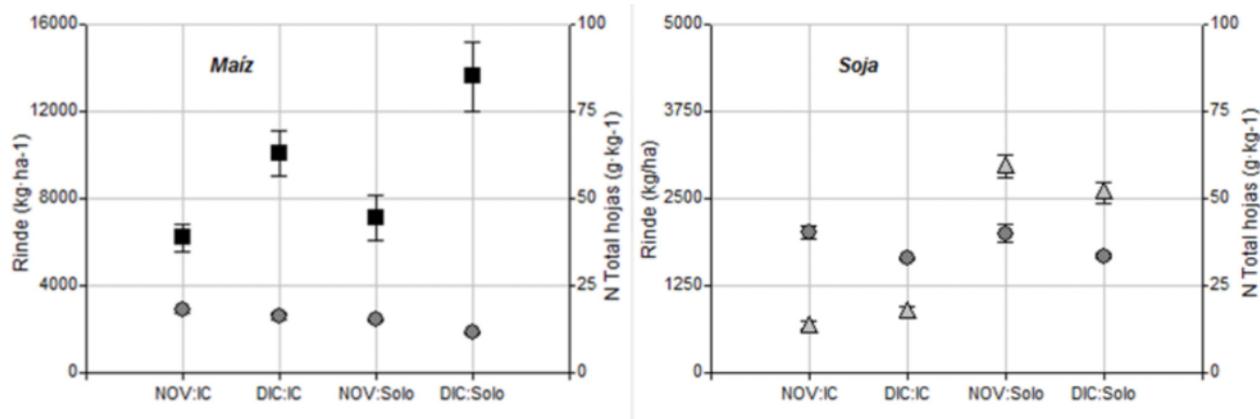


Figura 2: Concentración de nitrógeno en hojas y rendimiento del cultivo para maíz (izquierda) y soja (derecha). IC: intercultivo; NOV: noviembre; DIC: diciembre. Cuadrados: rendimiento maíz ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$); Triángulos: rendimiento soja ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$); círculos: nitrógeno en hoja ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$). Las barras de error muestran el intervalo de confianza de las medias.

por parte del maíz en etapas tempranas, cuando las plantas de soja están desarrollando los nódulos. Williams y Sicardi de Mallorca (1984) encontraron que ante bajos niveles de estrés hídricos se reduce el número y actividad de los nódulos en soja, sin afectar su tamaño ni el momento de iniciación, mientras que niveles mayores de estrés, sí afectan el número, tamaño y el inicio de la nodulación. La reducción en el número de nódulos observada en plantas con estrés hídrico no se asoció con un número reducido de rizobios en el rizoplasma. Los nódulos presentes en raíces secundarias son generalmente atribuidos a la presencia en el suelo de poblaciones de bradyrhizobios naturalizados (Brutti *et al.*, 1999; 2001) que han sobrevivido en el suelo luego de haber sido inoculados en cultivos anteriores (Perticari, 2005). Si bien la presencia de nódulos en las raíces secundarias, es un factor que afecta el rendimiento, no representa cambios en el rendimiento de manera significativa (Brutti *et al.*, 1999; 2001).

Se encontró que la fecha de siembra y el intercultivo con soja tuvieron influencia sobre la concentración de nitrógeno en hojas, pudiéndose observar mayores concentraciones de nitrógeno en hoja en el cultivo de maíz intercultivado, debido probablemente a una mayor eficiencia del amplio sistema radical de una planta de gran porte con respecto a la posible absorción del cultivo de soja. Por otro lado, no se encontró

esa diferencia de concentraciones de nitrógeno en las hojas entre los cultivos de soja puros y los intercultivados.

En estudios similares, Baldé *et al.* (2011), encontraron que los cultivos de maíz intercultivados con leguminosas presentaban un mayor rendimiento de biomasa y de grano que los cultivos convencionales o intercultivados con otras especies. En el mismo trabajo los autores encontraron que los resultados obtenidos dependieron también de la fecha de siembra, situación que se reproduce con los datos obtenidos en el presente ensayo.

En este trabajo se encontró que el rendimiento del maíz (promedio de ambos tratamientos) estuvo fuertemente influenciado por la fecha de siembra. Los rendimientos obtenidos por el cultivo de maíz en la segunda fecha de este ensayo son considerablemente mayores a los rindes promedios de la provincia de Buenos Aires para ese mismo año, donde el maíz alcanzó una media de $8755 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ (SIA, 2010).

Carruthers *et al.* (2000) señalan que el rendimiento de las leguminosas intercultivadas es muy variable de acuerdo a la metodología de cultivo, pero que el rendimiento de soja es mayor cuando el cultivo de maíz tuvo disminuido su crecimiento. El sombreado en etapas reproductivas, deprime el rendimiento de la soja (Schou *et al.*, 1978). West y Griffith (1992) reportan un aumento de 26% en la producción de maíz, pero una reducción de 27% en el rendimiento en la

franja de soja contigua al maíz. En este trabajo se encontró que en el caso del maíz tanto la fecha de siembra como el tipo de cultivo (intercultivo o solo) afectan el rendimiento y que el efecto del intercultivo varía dependiendo del momento de siembra, pero los mayores rendimientos se encontraron en los cultivos sin soja. Por otra parte, el rendimiento del cultivo de soja presentó diferencias significativas para el tipo de siembra, la soja cultivada entre líneas de maíz vio afectado negativamente su rendimiento.

Más allá de la caída en los rendimientos de las parcelas con intercultivo, el coeficiente LER alcanzó un valor de 1,10 para el intercultivo en la primera fecha y 1,08 en la segunda, por lo tanto, puede concluirse que la productividad de la metodología de intercultivo es biológicamente mayor que la suma de ambos cultivos puros, independientemente de la fecha de siembra. Respecto a los valores del coeficiente LER hallados, coinciden con los resultados encontrados por otros investigadores, donde alcanzaron valores entre 1,0 y 2,4 (Rusinamhodzi *et al.*, 2012; Carruthers *et al.*, 2000), mostrando un marcado beneficio en el uso del suelo, a pesar de variaciones en el régimen de lluvias (Rusinamhodzi *et al.*, 2012). Resultados similares fueron encontrados por Baldé *et al.* (2011) donde en condiciones de climas sub-húmedos los intercultivos mantuvieron o mejoraron los rendimientos mientras mejoraban la eficiencia de uso del suelo. Según Davies *et al.* (2011) diversos sistemas de manejo de cultivo, como las rotaciones, el intercultivo, cultivos de cobertura o de protección, pueden ser utilizados para mejorar la productividad de un cultivo. La producción agropecuaria modifica tanto las funciones ecosistémicas como su estructura (Rositano y Ferraro, 2014) y hay evidencias de parámetros afectados negativamente, así como también evidencias de beneficios obtenidos (Viglizzo y Frank, 2006; Rositano *et al.*, 2012). Goldman *et al.* (2007) describen ciertos manejos favorables para estimular determinados servicios ecosistémicos en un área de cultivo. Si consideramos que el cultivo de soja provee de beneficios al cultivo de maíz, podemos considerarlo un cultivo de servicios (Piñeiro *et al.*, 2014). Según Pinto y Piñeiro (2018), los cultivos de servicios aumentan la provisión de servicios locales, al mismo tiempo pueden aumentar la provisión de servicios que tienen impacto a escala regional y global, modificando positivamente los servicios ecosistémicos. En cuanto a la agresividad, se encontró que

en la primera fecha de siembra alcanzó un valor de 1,28 por lo que se deduce que el cultivo de maíz en un intercultivo tiene mayor competitividad que la soja. Mientras que, para la segunda fecha, el índice de agresividad calculado alcanza un valor de 0,81 marcando que la capacidad de competencia del cultivo se ve modificada por el ambiente en el que se desarrollan los mismos. Esto es idéntico a los valores encontrados en un ensayo a campo realizado en un suelo *Argiudol vértico* en el campo experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Buenos Aires, donde el coeficiente de agresividad fue positivo y mayor a 1 en un ensayo con maíz y soja intercultivadas, indicando una fuerte dominancia del maíz sobre la soja (Ciarlo *et al.*, 2013).

De acuerdo a los requerimientos de los cultivos publicados (Ciampitti y García, 2007) la extracción total de N en siembra tardía es de 142 kg·ha⁻¹ para el monocultivo de soja, 198 kg·ha⁻¹ para el monocultivo de maíz y 90 kg·ha⁻¹ para la intercultivo soja-maíz. La elevada eficiencia de absorción del cultivo de maíz determina una mínima fracción no absorbida que queda como nitrógeno mineral del suelo, cercana al 10% de la oferta total (Maddoni *et al.*, 2003). Para el caso del cultivo de soja, en situaciones apropiadas el aporte proveniente de la fijación biológica representa hasta un 85% del total absorbido (Alves *et al.*, 2003). En un ensayo comparativo, con diferentes cultivares de maíz cultivados solos e intercultivados con una leguminosa, Ofori y Stern (1986) encontraron que los rendimientos, el crecimiento y el consumo de nitrógeno de ambos cultivos se vieron significativamente reducidos por el sistema de intercultivo, mientras que las concentraciones de N en la biomasa no se vieron afectadas. Esto coincide con las diferencias encontradas en el rendimiento, el comportamiento del nitrógeno en la biomasa y la concentración de nitratos en el suelo reportada por Fritz (2014), lo que parece indicar que la combinación de maíz y soja consigue una mayor eficiencia en el uso de N, en comparación con los cultivos puros.

CONCLUSIONES

Se destaca lo referido a la nutrición en fecha temprana, donde el sistema de intercultivo favoreció la nutrición nitrogenada del maíz con un consiguiente aumento en el peso seco de la biomasa aérea y el número de mazorcas. La productividad del intercultivo fue biológicamente superior que

en los cultivos solos. Por consiguiente, este sistema permite realizar un cultivo de maíz con sólo un aporte nitrogenado de reposición, permitiendo el ahorro de ese insumo.

Las ventajas del intercultivo, en términos de rendimiento y uso del suelo, se ven afectadas por la fecha de siembra. Es necesario planificar la implantación de los cultivos de manera tal que ambos vegeten dentro de los mejores ambientes posibles, con un buen aporte hídrico en particular en sus momentos críticos. De ser necesario se pueden diferir las fechas de siembra, aunque en ese caso se duplican los costos de implantación.

De acuerdo con los resultados de rendimientos del cultivo de maíz y los valores de LER obtenidos, la práctica del intercultivo colabora con los servicios ecosistémicos al incrementar los rendimientos por unidad de superficie con sólo un bajo aporte de nitrógeno y fósforo al momento de la siembra. Se propone por lo tanto el sistema de intercultivos como una herramienta para aprovechar los beneficios del sistema con un aporte mínimo de insumos. Sin embargo, se debe continuar el estudio de las relaciones funcionales de los cultivos y los servicios ecosistémicos, en concordancia con Rositano y Ferraro (2014). La nodulación no fue un indicador claro para entender el comportamiento del sistema con un bajo aporte de N. En futuros estudios, se debería cuantificar con detalle el balance de nitrógeno y carbono del sistema. Además, sería provechoso probar otra variedad de soja, incluso distintas leguminosas (quizá forrajeras), buscando generar mayor biomasa aérea y subterránea, mejorando los valores de LER y productividad.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se realizó con financiamiento del Instituto de Suelos (CIRN-INTA) y del proyecto UBACYT "Calidad de Suelos: perspectiva multidimensional e interdisciplinaria", siendo su directora la Profesora Lidia Giuffré, a quién agradecemos su apoyo. Así como también agradecemos la colaboración de la Lic. Adriana Peralta, responsable del Centro Documental del Instituto de Ingeniería Rural. Agradecemos también a las firmas Agrosemillas del Sur y Don Mario por proveer las semillas para nuestros ensayos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albarenque SM. (2017). Efecto de la variabilidad espacial y temporal de la colimitación de agua y nitrógeno sobre la eficiencia de uso de ambos recursos en el cultivo de maíz. Actas del 25° Congreso Anual AAPRESID y 7° Congreso Mundial de Agricultura de Conservación.
- Alves BJR, Boddey RM, Urquiaga S. (2003). The success of BNF in soybean in Brazil. *Plant Soil* 252: 1-9.
- ASAE. (1996). ASAE Standards S526.1: Soil and Water terminology. ASAE, St. Joseph, M.I.
- Bacigaluppo S, Dardanelli J, Gerster G, Quijano A, Balzarini M, Bodrero M, Andriani J, Enrico J, Martignone R. (2006). Variaciones del rendimiento de soja en el sur de Santa Fe. Factores limitantes de clima y suelo. Presentado en Mercosoja 2006. Rosario, 27-30. Junio 2006. INPOFOS Informaciones Agronómicas No. 32: 12-15
- Baldé AB, Scopel E, Affholder F, Corbeels M, Da Silva FAM, Xavier JHV, Wery J. (2011). Agronomic performance of no-tillage relay intercropping with maize under smallholder conditions in Central Brazil. *Food Crops research*. 124: 240-251.
- Bozzetto S, Pezzaglia M, Rossi L, Pecorino B. (2016). Considerazioni sul potenziale del "Biogas fatto bene" italiano ottenuto dalla digestione anaerobica di matrici agricole. metodologia di stima e analisi dei dati. Position paper del consorzio italiano biogas. 36 p.
- Brutti L, Pacheco Basurco JC, Ljunggren H, Martensson A. (2001). Improved soybean production after inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* *Acta Agric. Scand. Sect B Soil and Plant Sci* 51: 43-46.
- Brutti L, Piantanida N, Ljunggren H, Berggren I, Martensson A. (1999). Competition between strains of *Bradyrhizobium japonicum* for nodulation of soybean in Argentina arable soils. *Applied Soil Ecology* 12:1-6.
- Burbano H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Rev. Cienc. Agr.* 33 (2):117-124. doi: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.163302.58>.
- Calviño P, Cirilo A, Caviglia OP, Monzón JP. (2005). Resultados de intersemebra de maíz y soja en tres regiones madereras argentinas. Actas VII Congreso Nacional de Maíz. 16 al 18 de noviembre de 2005. Rosario, Santa Fe. Argentina.
- Callaway RM, Pugnaire FI. (1999). Facilitation in plant

communities. In: Pugnaire, F.I. & Valladares, F. (eds.) Handbook of functional plant ecology. Marcel Dekker, New York, NY, pp. 623-648

- Carruthers K, Prithiviraj B, Fe Q, Cloutier D, Martin RC, Smith DL. (2000). intercropping corn with soybean, lupin and forages. 2000 European Journal of Agronomy 12:103-115.
- Caviglia OP. (2007). La contribución de los cultivos múltiples a la sustentabilidad de los sistemas agrícolas en Entre Ríos. Agricultura Sustentable en Entre Ríos. Editores: Caviglia OP, Paparotti OF, Nasal MC. Ediciones INTA 2007. 139-148
- Ciampitti IA, García F. (2007). Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. I. Cereales, Oleaginosos e Industriales. Archivo Agronómico 11, Informaciones Agronómicas del Cono Sur 33: 13-16.
- Ciarlo EA, Ostolaza AE, Giardina EB, Giuffrè L. (2013). Effects of two plant arrangements in corn (*Zea mays* L.) and soybean (*Glycine max* L. Merrill) intercropping on soil nitrogen and phosphorus status and growth of component crops at an Argentinean *Argiudoll*. American Journal of Agriculture and Forestry, 1(2):22-31. Published online July 10, 2013, en: <http://www.sciencepublishinggroup.com/j/ajaf> - doi: 10.11648/j.ajaf.20130102.11
- Crawley MJ. (1997). Plant Ecology. Blackwell Scientific Oxford. 736 p.
- Davies WJ, Zhang J, Yang J, Dodd IC. (2011). Novel crop science to improve yield and resource use efficiency in water-limited agriculture. J Agri Sci 149 (S1). 123-131
- Duchene O, Vian JF, Celette F. (2017). Intercropping with legume for agroecological cropping systems: Complementarity and facilitation processes and the importance of soil microorganisms. A review. Agriculture, Ecosystems & Environment. Volume 240: 148-161. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.02.019>.
- Echarte L, Della Maggiora A, Cerrudo D, González VH, Abbate P, Cerrudo A, Sadras VO, Calviño P. (2011). Yield response to plant density of maize and sunflower intercropped with soybean. Field Crops Res. 121 (3): 423-429
- Fehr W, Caviness C. (1977). Stages of soybean development, special report 80. Cooperative station service. Agricultural and home economics experiment station. State University of Science and Technology. Ames, Iowa, 9 p.
- Fritz FG. (2014). Relación Suelo-Planta en sistemas de

cultivos bajo la técnica de intersemebra Maíz-Soja: variabilidad espacial del fósforo y nitrógeno. Comité: Ciarlo E, Giardina E. Agronomía, Cátedra de Edafología, Departamento Recursos Naturales y Ambiente. FAUBA. Universidad de Buenos Aires. Defendida el día 29 de mayo de 2014. Disponible en ri.agro

- Goldman R, Thompson B, Daily G. (2007). Managing U.S. agricultural lands for ecosystem services. In: Arha, K., Josling, T., Sumner, D., Thompson, B. (Eds). US agricultural policy and the 2007 farm bill. Woods Institute for the Environment. Stanford University. Pp 257
- Gómez AA, Gómez KA. (1983). Multiple cropping in the humid tropics of Asia. IDRC 176E. Ottawa. 248 p.
- Iqbal N, Hussain S, Ahmed Z, Yang F, Wang X, Liu W, Yong T, Du J, Shu K, Yang W, Liu J. (2018). Comparative analysis of maize-soybean strip intercropping systems: a review. Plant Production Science, 22:2, 131-142, <https://doi.org/10.1080/1343943X.2018.1541137>
- Jolliffe P, Wanjau F. (1999). Competition and productivity in crop mixtures: some properties of productive intercrops. Cambridge University Press. 32 (4):425-435
- Jones JB, Eck HV. (1973). Plant Analysis as an Aid in Fertilizing Corn and Grain Sorghum. p. 349-364. En: Soil Testing Plant Analysis. Rev. Ed. Madison, Soil Science Society of America. 491 p.
- Li L, Zhang F, Li X, Christie P, Sun J, Yang S, Tang C. (2003). Interspecific facilitation of nutrient uptake by intercropped maize and faba bean. Nutr Cycl Agroecosyst 65:61-71
- Maddonni GA, Vilariño P, García De Salamone I. (2003). Dinámica de los nutrientes en el sistema suelo-planta. (406-474). En: Satorre EH, Benech Arnold RL; Slafer GA; De la Fuente EB; Miralles DJ; Otegui ME, Savin R. (2006). Producción de granos. Bases funcionales para su manejo. Ed. Facultad de Agronomía UBA. 2da reimpresión 2006, Argentina. ISBN 950-29-0713-2
- Mead R, Willey RE. (1980). The concept of a Land Equivalent Ratio and advantages in yield from Inter-cropping. Experimental Agriculture 16:217-218.
- Monzón JPA, Carrozza TJB, Calviño PC, Andrade FHD. (2006). Efectos del Intercultivo en franjas de maíz y soja sobre el rendimiento. VIII Congreso Nacional de Maíz "Generando Valor para un Futuro Sustentable" - 16 al 18 de noviembre, Rosario, Santa Fe. Argentina.

- Murrell EG, Schipanski ME, Finney DM, Hunter MC, Burgess M, Lachance JC, Baraibar B, White CM, Mortensen DA, Kaye JP. (2017). Achieving Diverse Cover Crop Mixtures: Effects of Planting Date and Seeding Rate. *Agron. J.* 109: 259-271.
- Ofori F, Stern WR. (1986). Maize/cowpea intercrop system: Effect of nitrogen fertilizer on productivity and efficiency. *Field Crops Research*. Volume 14: 247-261
- Peticari A. (2005). Inoculación de calidad para un máximo aprovechamiento de la FBN. IMYZA INTA Castelar. Presentado en el Congreso Mundo Soja. Disponible en: <http://www.ecampo.com/sections/news/display.php/uuid.01CF4233-041A-470C>
- Pinto P, Piñeiro G. (2018). Capítulo 7. Intensificación ecológica en los agroecosistemas de la Región pampeana: el rol de los cultivos de servicios, pág. 81-92. En: Borrás, Lucas; Manejo de maíz Flint, Rosario, Santa Fe.
- Piñeiro G, Pinto P, Arana S, et al. (2014) Cultivos de servicio: integrando la ecología con la producción agrícola. En: XXVI Reunión Argentina de Ecología. Comodoro Rivadavia, Chubut, Argentina.
- Ritchie SW, Hanway JJ. (1982). How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service Ames, Iowa. Special Report N° 48.
- Rositano F, Ferraro DO. (2014). Ecosystem services provided by agroecosystems: A qualitative and quantitative assessment of this relationship in the Pampa region, Argentina. *Environmental management*, 53(3), 606-619.
- Rositano F, López M, Benzi P, Ferraro DO. (2012). Servicios de los ecosistemas: un recorrido por los beneficios de la naturaleza. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.
- Rótolo G, Francis C. (2008). Los servicios ecosistémicos en el corazón agrícola de Argentina. Ediciones INTA. 44. 21 p.
- Rusinamhodzi L, Corbeels M, Nyamangara J, Giller K. (2012). Maize-grain legume intercropping is an attractive option for ecological intensification that reduces climatic risk for smallholder's farmers in central Mozambique. *Field Crops Research* 136:12-22.
- SAGyP. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. 1990. Atlas de suelos de la República Argentina. Tomo I. Proyecto PNUD ARG/85/019. 731 p.
- Salvagiotti F. (2009). Manejo de soja de alta producción. En: Resumen XVII Congreso AAPRESID, "La Era del Ecoprogreso". Rosario, Argentina. pp. 79-85
- Schou JB, Jeffers DL, Streeter JG. (1978). Effects of reflectors, black boards, or shades applied at different stages of plant development on yield of soybeans. *Crop Sci.*, 18 (1978): 29-34
- SIIA (Sistema Integrado de Información Agropecuaria). 2010. Estimaciones agrícolas. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca. Presidencia de la Nación. Disponible en línea en www.sii.gov.ar (consulta 28 de abril de 2019).
- Small HG, Ohlrogg AJ. (1973). Plant Analysis as an aid in fertilizing soybeans and peanuts. pp. 315-327. In: *Soil Testing Plant Analysis*. Rev. Ed. Madison, Soil Science Society of America. 491 p.
- Swinton SM, Lupi F, Robertson PG, Landis DA. (2006). Ecosystem Services from agriculture: looking beyond the usual suspects. *American Journal of Agricultural Economics*. Vol. 88, No. 5, Proceedings Issue. pp. 1160-1166
- Vandermeer JH. (1989). *The Ecology of Intercropping*. Cambridge: Cambridge University Press. 248 p.
- Viglizzo EF, Frank F. (2006). Land-use options for Del Plata Basin in South America: tradeoffs analysis based on ecosystem service provision. *Ecological economics* 57:140-151.
- West TD, Griffith DR. (1992). Effect of strip-intercropping corn and soybean on yield and profit. *Journal of Production Agriculture*. Vol. 5 N°. 1:107-110
- Williams PM, Sicardi de Mallorca M. (1984). Effect of osmotically induced leaf moisture stress on nodulation and nitrogenase activity of *Glycine max*. *Plant Soil* 80: 267-283.
- Xue Y, Xia H, Christie P, Zhang Z, Li L, Tang C. (2016). Crop acquisition of phosphorus, iron and zinc from soil in cereal/legume intercropping systems: a critical review. *Ann. Bot.* 117, 363-377
- Zhan XU, Chunjie L, Chaochun Z, Yang Y, Wopke Van Der W, Fusuo Z. (2020). Intercropping maize and soybean increases efficiency of land and fertilizer nitrogen use; A meta-analysis. *Field Crops Research*. Volume 246 <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2019.107661>