



## Efecto residual en maíz de la inoculación en arveja y vicia.

Enrico, J.M. y Salvagiotti, F.

Grupo de Manejo de cultivos, suelo y aguas - EEA INTA Oliveros

 Palabras clave: rendimiento, nitrógeno, respuesta a inoculación, maíz tardío.

### Introducción

El cultivo de soja (*Glycine max L*) es el principal cultivo de verano en los sistemas agrícolas de la región pampeana, principalmente como monocultivo con largos períodos de barbecho desnudo (Caviglia & Andrade, 2010). El bajo aporte de residuos y escasa cobertura bajo este monocultivo pone en riesgo la sustentabilidad de los sistemas (Wright & Hons, 2004), por lo que se recomienda la inclusión de cereales que aportan mayores volúmenes de residuos, especialmente trigo y maíz. En los últimos años, las fechas de siembra tardía del maíz se adoptaron en la región pampeana de Argentina, principalmente después de la soja de la temporada anterior (Maltese *et al.*, 2019), dejando un período de ca. ocho meses con un barbecho desnudo. Este período sin cultivos puede ser sembrado con cultivos de grano o cultivos de cobertura (CC) y hacer un uso más eficiente de los recursos. Cuando se incluyen leguminosas como CC o grano, además de un aumento de la biodiversidad, existe una importante contribución del nitrógeno (N) a través de la fijación biológica de nitrógeno (BNF) (Frasier *et al.*, 2016). La inclusión de leguminosas en la rotación puede mejorar la capacidad de suministro de N del suelo para cultivos no leguminosos en las secuencias, pero esta contribución depende de la especie de leguminosas (Büchi *et al.*, 2015), la interacción leguminosa-rizobio, el nivel de producción

de leguminosas (Collino *et al.*, 2015) y el objetivo por el cual se sembró la leguminosa, es decir, CC o producción de grano (Rochester and Peoples, 2005). Además, la cantidad de N derivada de la leguminosa al cultivo posterior depende del momento en que se seca un cultivo de cobertura de leguminosas y del contenido relativo de celulosa, hemicelulosa y lignina (Wagger, 1989).

La arveja para grano (*Pisum sativum L.*) y la vicia (*Vicia sativa L.* o *Vicia villosa Roth*) son opciones en los sistemas donde se incluye al maíz tardío en la secuencia para aumentar la ocupación del suelo y la capacidad de suministro de N en el sistema. Se espera una mayor contribución de N en la vicia que en arveja ya que todo el N permanece en el sistema en el primer caso, mientras que en el segundo caso solo una parte de N queda en el sistema ya que una proporción de este nutriente se exporta con grano.

La inoculación de las leguminosas es una práctica que ha tenido éxito en distintas partes del mundo (Mendes *et al.*, 2003). Esta práctica adquiere mayor importancia cuando el suelo no ha sido cultivado previamente con la leguminosa o cuando los cultivos no se realizan anualmente y en consecuencia las poblaciones de los rizobios específicos son bajas (Toresani *et al.*, 2013). Vicia y arveja se asocian específicamente con *Rhizobium leguminosarum* vs *viciae* y se ha informado la respuesta a la inoculación (McKenzie *et al.*, 2001); sin embargo, no hay reportes que muestren el efecto relativo de la inoculación de leguminosas en el cultivo posterior. Dado que la



inoculación puede mejorar la nutrición de N de leguminosas, entonces también el manejo de la inoculación podría afectar la disponibilidad de N en el cultivo posterior, como ya fuera observado cuando el maíz tiene diferentes cultivos antecesores (Salvagiotti *et al.*, 2012, 2014; Omae & Nagumo, 2016)

El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de la inoculación previa en vicia y arveja sobre la respuesta a la fertilización nitrogenada en maíz de segunda.

## Materiales y método

### Generalidades y diseño de los experimentos

Se realizaron dos experimentos en la EEA Oliveros durante las campañas 2012-13 y 2013-14 en vicia y arveja, en un suelo Argiudol típico con más de 40 años de agricultura y sin historia de arveja o vicia previa. Los tratamientos consistieron en el tratamiento de la semilla de ambas especies con (+Inoc) y sin (-Inoc) la inoculación con *Rhizobium leguminosarum bv viciae* Cepa D 70. Se utilizó un diseño completamente aleatorizado (DCA) con cuatro repeticiones donde cada parcela tuvo una superficie de 147,5 m<sup>2</sup>. Posterior al secado de la vicia y cosecha de arveja, se realizó un barbecho químico y se sembró maíz a 0.52 m entre hileras. Las fechas de siembra fueron el 26 de diciembre de 2012 (hibrido KWS 3601 MG RR2) y 13 de diciembre de 2013 (hibrido ARV 2194 HX RR). Se evaluaron 5 niveles de N (0, 30, 60, 120 y 180 kg N ha<sup>-1</sup>) en cada una de las combinaciones cultivo antecesor x tratamiento inoculación de las leguminosas invernales. Los tratamientos se arreglaron en un diseño de bloques completos al azar, con cuatro repeticiones. Se utilizó como fuente nitrogenada urea+NBPT. A madurez de cosecha se determinó el rendimiento en una superficie de 5 m<sup>2</sup> y se corrigió el rendimiento a 0.14 kg H<sub>2</sub>O kg grano<sup>-1</sup>.

### Determinaciones realizadas en cultivos invernales

En llenado de granos avanzado del cultivo de arveja, aproximadamente 10-12 días antes de madurez fisiológica y entre plena floración y/o inicios de llenado de granos en vicia, se determinó materia seca aérea (MST) sobre una superficie de 0.5 m<sup>2</sup>. Las muestras fueron secadas en una estufa de aire forzado a 65 °C durante 72 hs. En el caso de la arveja, se

separaron las estructuras vegetativas del grano. Luego de ser pesadas, las muestras fueron molidas utilizando un molino Wiley, y posteriormente enviadas al laboratorio para analizar la concentración de N (%Nt) a través del método Kjeldahl (Nelson & Sommers, 1973). La cantidad de N total absorbido (N<sub>abs</sub>) se calculó como el producto de %Nt y la materia seca de cada estructura. Se determinó la proporción de fijación biológica de N (%Ndfa) utilizando el método de abundancia natural de 15N (Shearer & Kohl 1986). Se utilizó trigo en cada parcela como planta de referencia (no fijadora de N) para la estimación de la FBN. La cantidad de N derivado de la FBN (N<sub>FBN</sub>) se estimó multiplicando %Ndfa y N<sub>abs</sub>. En arveja se determinó el rendimiento de semilla (Rto) y se ajustó a un contenido de humedad estándar de 0.14 kg H<sub>2</sub>O kg grano<sup>-1</sup>.

### Análisis de la información.

Para el análisis de la respuesta de vicia y arveja a la inoculación se utilizó un modelo mixto donde el tratamiento de inoculación (Inoc) se consideró efecto fijo y el Año (A) y la interacción Inoc x A como efecto aleatorio. Se realizó un Análisis de la Varianza (ANAVA) utilizando el programa InfoStat (Di Rienzo *et al.*, 2017). El método de comparación para detectar diferencias significativas entre los tratamientos fue LSD Fisher, con nivel de significación ≤ 0.10.

Para el análisis del rendimiento de maíz a través de un modelo mixto, se consideró la dosis de fertilizante nitrogenado (N), cultivo antecesor (Ant) e inoculación (Inoc) del cultivo antecesor como factores fijos, mientras que las repeticiones y los años fueron considerados efectos aleatorios. Cuando se observó interacción entre factores, se separaron los efectos utilizando el test de secciones de efecto (slice test en SAS, Littell *et al.*, 1996) para analizar las diferencias dentro de cada interacción. Cuando se encontraron efectos significativos de la fertilización nitrogenada, se ajustó la curva de respuesta con un modelo cuadrático *plateau* con tres parámetros:

$$\text{Rendimiento} = a + b \cdot x + c \cdot x^2 \quad \text{si } x < U, \quad \text{Ec. (4)}$$

$$\text{Rendimiento} = \text{plateau} \quad \text{si } x > U,$$

Donde, a = ordenada al origen, que representa el rendimiento cuando el cultivo no recibió fertilización nitrogenada, b = pendiente lineal, c = curvatura. El *plateau* se estimó según la igualdad: i) *plateau* = a +



$b*U + c*U^2$ , donde U representa el umbral, según la igualdad  $U = -b/(2*c)$ . El valor U también se estimó como parámetro reemplazando a “c” por la igualdad “ $c = -b/(2*U)$ ” como tercer parámetro. Los parámetros de las funciones de los distintos tratamientos fueron comparados a través de un test t. Se estimó la derivada primera de cada modelo para estimar la dosis óptima económica (DOE), usando una relación de precios grano:N de 10:1 (Salviagioti *et al.*, 2011). Se calculó la eficiencia agronómica a la dosis óptima económica ( $EA_{DOE}$ ,  $\Delta$  kg grano kg N fertilizante<sup>-1</sup>) y productividad parcial del factor ( $PPF_{DOE}$ , kg grano kg N fertilizante<sup>-1</sup>).

## Resultados

### Respuesta a la inoculación en vicia y arveja

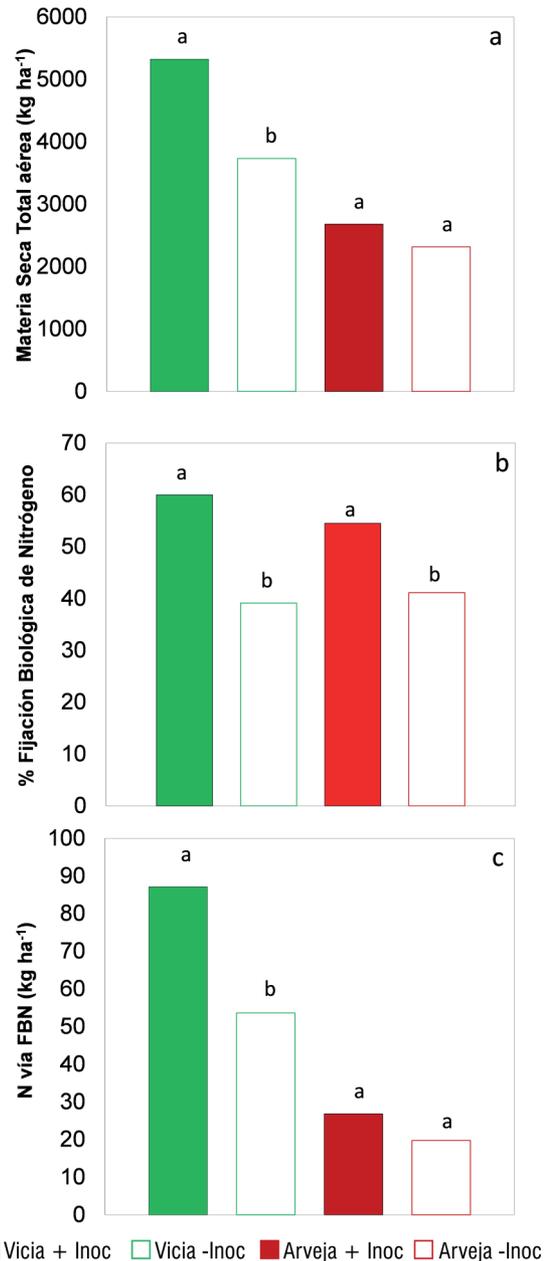
En promedio, la producción de MST en vicia fue de 4529 kg ha<sup>-1</sup>, incrementándose un 43% en respuesta a la inoculación ( $p < 0,01$ ). En arveja la producción de MST aérea fue en promedio 2499 kg ha<sup>-1</sup>, no observándose respuesta a la inoculación (Figura 1a). El %Ndfa fue de 50 y 48% en vicia y arveja, respectivamente, detectándose incrementos significativos del 53 y 33% ( $p < 0,01$ ) para vicia y arveja, respectivamente, en respuesta a la inoculación (Figura 1b). Al analizar el contenido de N\_FBN en términos de kg N por unidad de superficie (Figura 1c), en arveja se determinó un promedio de 23 kg, sin diferencias entre tratamientos, mientras que vicia derivó de la FBN en promedio 70 Kg con un incremento significativo en respuesta a la inoculación del 62% ( $p < 0,01$ ).

### Respuesta del cultivo de maíz de segunda a la fertilización nitrogenada sobre diferentes anteceso

El rendimiento promedio de maíz fue de 9366 kg ha<sup>-1</sup> y, en promedio, el rendimiento del maíz sobre vicia fue 8% superior al observado en arveja (Tabla 2). Se observó respuesta significativa a la aplicación de N que varió entre 1221 y 2570 kg ha<sup>-1</sup>, dependiendo de si el cultivo antecesor fue inoculado o no (interacción Inoculación antecesor x N significativa,  $P < 0,01$ , Tabla 1). No se observaron incrementos significativos en el rendimiento ( $P > 0,10$ ) cuando el maíz se sembró sobre un cultivo de vicia inoculada (Figura 2). Las mayores respuestas a la fertilización con N se observaron cuando ambos antecesores no

F1

Figura 1. Producción de Materia Seca aérea (a), proporción de N derivado de fijación biológica (b) y el N absorbido vía FBN (c) en función del tratamiento de inoculación en vicia y arveja.



Para cada especie las letras distintas indican diferencias significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre tratamientos. Cada columna es el promedio de dos años.



fueron inoculados, con incrementos entre el testigo y la dosis máxima de N que varió entre 2450 y 2691 kg ha<sup>-1</sup> (30 y 35%, en términos relativos) para vicia y arveja, respectivamente. Por otra parte, cuando el antecesor fue arveja inoculada se observó una respuesta menor, del orden del 15%, a la fertilización con N (P=0.1) representado ca. 1226 kg ha<sup>-1</sup>. En estos últimos tres tratamientos, entre el 92 y 99% de la variación observada fue explicada por un modelo cuadrático-plateau (Tabla 2). El parámetro “a” de esta función, que representa el rendimiento del cultivo sin fertilización, fue un 8% mayor cuando el cultivo antecesor fue vicia sin inocular y 6% cuando fue arveja inoculada en relación a arveja sin inoculación (Tabla 2). Sin embargo, el parámetro “b” de la relación que indica la fase lineal de respuesta fue similar entre ambos antecesores sin inocular, siendo 2.2 veces superior a la registrada cuando el cultivo antecesor fue arveja inoculada (Tabla 2). El parámetro “c” no fue afectado por los cultivos antecesores. En consecuencia, la dosis óptima económica fue un 50% superior cuando ambos cultivos, arveja y vicia, no fueron inoculados previamente en relación a la ar-

veja inoculada. La eficiencia agronómica para esta relación de precios en el primer caso fue de 28.7 kg de grano por kg de fertilizante N agregado, un 86% superior a la estimada para arveja inoculada (Tabla 2).

### Conclusiones

El cultivo de vicia incrementó la biomasa aérea, el contenido de N y el % de N derivado de FBN en el cultivo de vicia, mientras que en arveja solo para el %Ndfa. El %Ndfa fue de 55 y 60 % para arveja y vicia inoculadas, respectivamente. El cultivo de maíz sembrado sobre vicia inoculada no respondió a la fertilización con N, y la mayor respuesta a la fertilización en maíz se observó cuando la arveja y la vicia no fueron inoculadas, pero también se observó respuesta a la fertilización con N, de menor magnitud, cuando la arveja fue inoculada. Estos resultados muestran la relevancia del manejo del nitrógeno en el sistema de producción a través de la inoculación de las leguminosas invernales en suelos sin historia previa de vicia o arveja.



Tabla 1. Análisis de la varianza para rendimiento de maíz según distintas dosis de fertilizante nitrogenado (N) cultivo antecesor (arveja y vicia, Ant) con y sin la aplicación de inoculantes en estos antecesores (InocAnt).

	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )		
		Antecesor No inoculado	Antecesor Inoculado
<b>N</b>	0	7746	8829
	30	8856	9084
	60	9738	9546
	120	9995	9499
	180	10316	10050
<b>InocAnt</b>	No Inoculado	9330	
	Inoculado	9402	
<b>Ant</b>	Arveja	9023	
	Vicia	9709	
<b>Fuente de variación</b>	----- Probabilidad test F -----		
<b>N</b>	< 0.01		
<b>Ant</b>	< 0.01		
<b>InocAnt</b>	0.65		
<b>Ant x N</b>	0.98		
<b>Ant x InocAnt</b>	0.19		
<b>InocAnt x N</b>	0.01		
<b>Antx InocAnt x N</b>	0.92		



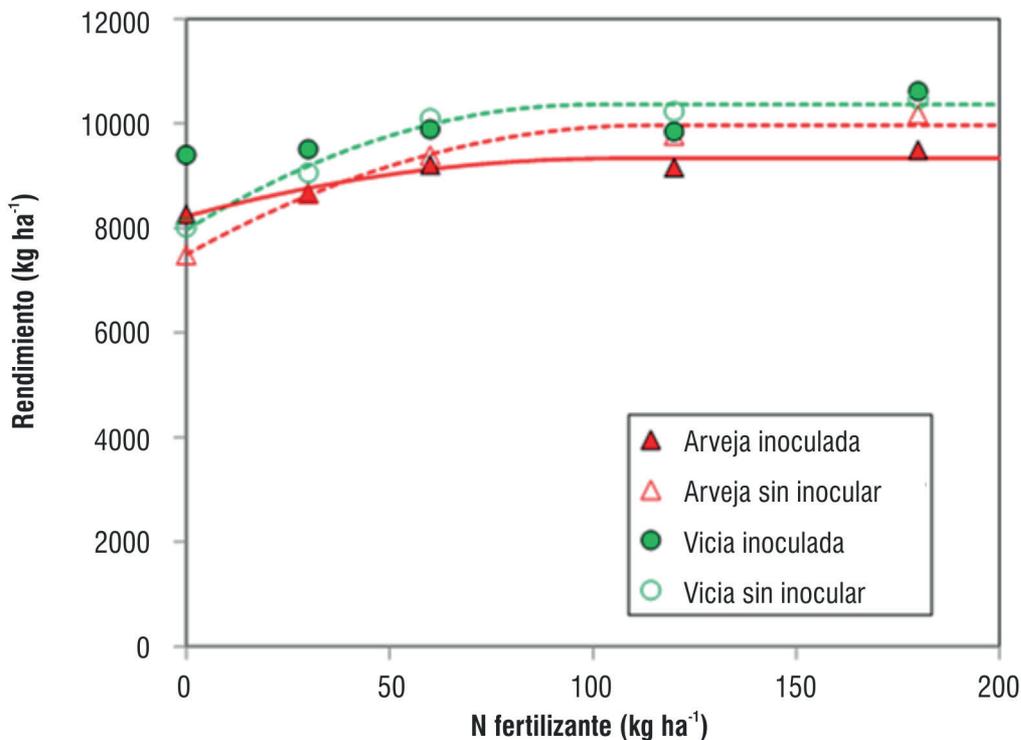
T2

Tabla 2. Valores de probabilidad de la interacción Antecesor x Inoculación del antecesor separado por el test de secciones de efecto, parámetros de la función cuadrática-plateau y dosis óptima económica para una relación de precios 10:1 (DOE, kg N ha<sup>-1</sup>), Rendimiento con la DOE (R<sub>DOE</sub>, kg ha<sup>-1</sup>), Eficiencia Agronómica en la DOE (E<sub>ADOE</sub>, kg grano kg N fertilizante<sup>-1</sup>) y productividad parcial del factor en la DOE (PPF<sub>DOE</sub>, kg grano kg N fertilizante<sup>-1</sup>) en maíz sembrado sobre dos antecesores (arveja y vicia) con y sin la aplicación de inoculantes en estos antecesores.

Tratamiento	Parámetros									
	P value	a	b	c	r <sup>2</sup>	Umbral	DOE	R <sub>DOE</sub>	E <sub>ADOE</sub>	PPF <sub>DOE</sub>
Vicia inoculada	0.12	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Vicia sin inocular	<0.01	7964 a	47.9 a	-0.24 a	0.99	100	40	9114	28.8	228
Arveja inoculada	0.10	8225 a	20.9 b	-0.10 a	0.92	106	28	8655	15.4	309
Arveja sin inocular	<0.01	7495 b	43.3 a	-0.19 a	0.98	114	44	8665	26.6	197

F2

Figura 2. Relación entre la dosis de fertilizante nitrogenado aplicado y el rendimiento en maíz sembrado sobre dos antecesores (arveja y vicia) con y sin la aplicación de inoculantes en estos antecesores. Las líneas indican el ajuste cuadrático-plateau a los tratamientos en donde hubo efecto significativo de la fertilización nitrogenada. Los parámetros de las funciones se muestran en la Tabla 2.





## Bibliografía

- Büchi, L; CA, Gebhard; F, Liebisch; S, Sinaj; H, Ramseier & R, Charles. 2015. Accumulation of biologically fixed nitrogen by legumes cultivated as cover crops in Switzerland. *Plant and Soil*, 393:163–175.
- Caviglia, OP & FH, Andrade. 2010. Sustainable intensification of agriculture in the Argentinean pampas: capture and use efficiency of environmental resources. *Am. J. Plant Sci. Biotechnol.* 3:001–008.
- Collino, DF; F, Salvagiotti; A, Peticari; CF, Piccinetti; G, Ovando; S, Urquiaga & RW, Racca. 2015. Biological nitrogen fixation in soybean in Argentina: relationship with crop, soil, and meteorological factors. *Plant Soil* 392: 239-252.
- Di Rienzo J.A., F, Casanoves; MG, Balzarini; L, Gonzalez; M, Tablada & CW, Robledo. InfoStat versión 2017. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>
- Frasier, I; A, Quiroga & E, Noellemeyer. 2016. Effect of different cover crops on C and N cycling in sorghum NT systems. *Sci. Total Environ.* 562(2):628-639.
- Littell, R.; R, Milliken; W, Stroup & R, Wolfinger. 1996. SAS System for MIXED Models. SAS Institute, Cary, NC.
- McKenzie, RH; AB, Middleton; ED, Solberg; J, DeMulder; N, Flore; GW, Clayton & E, Bremer. 2001. Response of pea to rhizobia inoculation and starter nitrogen in Alberta. *Canadian Journal of Plant Science* 81:637-643.
- Maltese, NE; RJM, Melchiori; GA, Maddonni; JM, Ferrera & OP, Caviglia. 2019. Nitrogen economy of early and late-sown maize crops. *Field Crops Research* 231:40-50.
- Mendes, IC; M, Hungria & MAT, Vargas. 2003. Soybean response to starter nitrogen and Bradyrhizobium inoculation on a cerrado oxisol under no-tillage and conventional tillage systems. *Revista Brasileira de Ciência do Solo* 27:81-87.
- Nelson, DW & LE, Sommers, 1973 Determination of total nitrogen in plant material. *Agron. J.* 65: 109-112.
- Omae, H & F, Nagumo. 2016. Effects of Oat (*Avena sativa*) and Hairy Vetch (*Vicia villosa*) Cover Crops on Nitrate Leaching, Soil Water, and Maize Yield in Subtropical Islands in Japan. *Journal of Agricultural Science*; Vol. 8, No. 9: 44-54. Published by Canadian Center of Science and Education.
- Rochester, I. & M., Peoples. 2005. Growing vetches (*Vicia villosa* Roth) in irrigated cotton systems: inputs of fixed N, N fertilizer savings and cotton productivity. *Plant and Soil* 271: 251–264
- Salvagiotti, F; JM, Castellarín; FJ, Ferraguti & HM, Pedrol. 2011. Dosis óptima económica de nitrógeno en maíz según potencial de producción y disponibilidad de nitrógeno en la región Pampeana Norte. *Ciencia del Suelo*, 29(2):199-212.
- Salvagiotti, F; F, Ferraguti; & A, Manlla. 2012. Respuesta a la Fertilización y Eficiencia en el uso del Nitrógeno en maíz de siembra tardía sobre diferentes antecesores utilizando inhibidores de ureasa. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica* N°8: 2–5.
- Salvagiotti, F; F, Ferraguti; JM, Enrico & G, Prieto. 2014. Respuesta a Nitrógeno en maíz de fecha tardía según cultivo antecesor. Póster Sesión 1. Resumen expandido. XXIV Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo – II Reunión Nacional de “Materia Orgánica y Sustancias Húmicas”. Bahía Blanca, Argentina. C3 T-186.
- Shearer, G & DH, Kohl. 1986. N<sub>2</sub> fixation in field settings: estimations based on natural <sup>15</sup>N abundance. *Aust J Plant Physiol* 13:699–756.
- Toresani, S; G, Prieto; F, Salvagiotti; E, Vita Larriou; JM, Tirelli & F, Zari. 2013. Respuesta a la inoculación en la nutrición con fósforo y azufre del cultivo de arveja en el sur de Santa Fe. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica*. N°10:17-20.
- Waggoner, MG. 1989. Time of Desiccation Effects on Plant Composition and Subsequent Nitrogen Release from Several Winter Annual Cover Crops. *Agron. J.* 81:236-241.
- Wright, AL & FM, Hons. 2004. Soil aggregation and carbon and nitrogen storage under soybean cropping sequences. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 68:507-513