

¿Los cultivos de cobertura pueden modificar el patrón de nodulación de soja (*Glycine max* L.)?

NAVARRO, G.¹; BOCCOLINI, M.²; BAIGORRIA, T.²; AIMETTA, M.²; BERTOLLA, A.¹; CAZORLA, C.²

RESUMEN

El patrón de nodulación del cultivo de soja puede ser modificado por factores de manejo como la calidad de rastrojos de los cultivos, la inoculación y la fertilización. Se realizó un ensayo en la EEA INTA Marcos Juárez con diseño en bloques aleatorizados con tres repeticiones para evaluar el efecto de diferentes antecesores invernales: (C) centeno (*Secale cereale* L.), (V) vicia (*Vicia villosa* L.) y un testigo (T) sin cultivo de cobertura (CC) en el patrón de nodulación. En suelo se determinó el contenido de nitratos (NO_3^-) a la siembra, R2 y R5 de soja, mientras que en planta se midió la relación C/N del residuo superficial, el número de nódulos totales por planta (NNT), el peso seco de nódulos (PN), la materia seca (MS) y el contenido de nitrógeno (N) en R2 y R5. Los datos fueron evaluados estadísticamente a través de un análisis de la varianza y un análisis de regresión lineal. La inclusión de CC no modificó los contenidos de NO_3^- , la producción de MS y la absorción de N por la planta en los períodos evaluados. La relación C/N del residuo superficial tampoco presentó diferencias estadísticamente significativas, pero fue menor a 25 en el antecesor V en R2 y R5. Los antecesores CC no modificaron el PN, pero sí afectaron el NNT. Se observó una relación lineal negativa y significativa entre los contenidos de NO_3^- a la siembra y el NNT. De esta forma, leguminosas utilizadas como CC pueden modificar componentes del patrón de nodulación.

Palabras clave: vicia, centeno, residuos.

ABSTRACT

Soybean nodulation could be modified by factors such as quality of crop residues, inoculation and fertilization. A trial was performed in EEA INTA Marcos Juárez with randomized block design with three replications for evaluated the effect of different winter soil management: (R), rye (*Secale Cereale* L.), (V) hairy vetch (*Vicia villosa*) and control (C) without cover crops (CC) in soybean nodulation. In soil nitrate content (NC) at sowing, R2 and R5 stages was determined, while in soybean plant C/N ratio of soil residues, number of nodules (NN), weight of nodules (WN), soybean dry matter (DM) and soybean nitrogen content (SNC) in R2 and R5 stage was determined. Results were statistically evaluated by analysis of variance and linear regression analysis. CC was not modified the soil nitrate content, DM or SNC in R2 or R5 stages. The C/N ratio of crops residue in V was low 25 at R2 and R5 stages. CC was not modified WN, but changes in NN were observed. A negative relationship between SNC and NN were observed. Thus, legume CC might be modified soybean nodulation.

Keywords: rye, hairy vetch, residue.

¹Instituto de Ciencias Básicas y Aplicadas, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Villa María. Av. Arturo Jauretche 1555 Villa María (Cba).

²Estación Experimental Agropecuaria INTA Marcos Juárez. Área Suelos y Producción Vegetal. Ruta 12 km 1,5 CP 2580, Marcos Juárez, Córdoba. Correo electrónico: cazorla.cristian@inta.gov.ar

INTRODUCCIÓN

Los cultivos de cobertura (CC) en los sistemas agrícolas actuales pueden constituir una importante herramienta agronómica para el manejo de la dinámica del nitrógeno (N) (Wagger *et al.*, 1998). Algunos de sus beneficios están asociados a capturar N edáfico susceptible a lixiviación durante el período de crecimiento de los cultivos invernales. Luego, mediante la descomposición de residuos, es posible un aporte de N para el cultivo de cosecha (Stute y Posner, 1995; Sainju y Singh 2001; Malpassi *et al.*, 2000). En ensayos con CC invernales se reportan disminuciones en el contenido de nitratos (NO_3^-) en el perfil en comparación a un barbecho sin CC previo a la siembra del cultivo estival (Alvarez *et al.*, 2006).

La fijación biológica del N (FBN) es una adaptación de las plantas para utilizar el N atmosférico, pero si su disponibilidad es alta, se dificulta la simbiosis ya que las plantas lo extraen directamente del suelo (p. ej. Peticari, 2005). El patrón de nodulación (número, peso, ubicación y actividad de nódulos) puede ser modificado por las prácticas de manejo. De esta forma, hay una relación exponencial negativa entre la tasa de fertilización nitrogenada y la fijación biológica de N (Salvaggiotti *et al.*, 2009). En cambio, la carencia de N facilita la FBN (González *et al.*, 1998; Díaz Zorita y Fernández Caniggia, 1999; Racca, 2003). La relación carbono/nitrógeno (C/N) de los residuos superficiales también puede afectar el patrón de nodulación. Valores mayores a 30 producen una inmovilización del N, lo que favorece la simbiosis. En cambio, una relación más baja la disminuye debido a que hay aportes de N por mineralización y un limitado suplemento de C al nódulo (Peticari *et al.*, 2005). Por ejemplo, los rastrojos de maíz aumentan la relación C/N del sustrato, por lo que estimulan la inmovilización de N en el suelo y facilitan la FBN (Racca, 2003). La utilización de CC, a través de la modificación de los contenidos de NO_3^- a la siembra de los cultivos estivales y de la relación C/N de los residuos superficiales, podría afectar la producción de materia seca (MS), el número y el peso de los nódulos.

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de diferentes CC en la absorción de N, número de nódulos totales (NNT), peso de nódulos (PN) y producción de MS de plantas de soja a través de cambios en el contenido de NO_3^- del suelo y la relación C/N de los residuos superficiales.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la EEA INTA Marcos Juárez (Lat. S 32°43'04,51" y Lon. O 62°06'10,56") se realizó un ensayo con diseño en bloques aleatorizados con tres repeticiones donde se utilizaron tres antecesores invernales de soja: centeno (*Secale cereale* L.) (C), vicia (*Vicia villosa* L.) (V) y barbecho sin CC denominado testigo (T). El ensayo se realizó sobre un suelo Argiudol típico, oscuro, profundo y bien drenado de la serie Marcos Juárez (INTA, 1978), donde los contenidos de arcilla, limo y arena del horizonte superficial son de 25%, 68% y 7%, respectivamente, mientras que las precipitaciones medias anuales son de 860 mm (INTA, 1978). Las pre-

cipitaciones entre el secado de los CC y la siembra de soja fueron de 56 mm. Las precipitaciones durante el ciclo del cultivo de soja fueron de 532 mm, concentradas alrededor del período crítico del cultivo (Fuente: Agrometeorología EEA INTA Marcos Juárez).

El cultivo de soja se sembró el 26 de noviembre de 2011 con una densidad de 16 plantas por m lineal a 52,5 cm entre hileras. La producción de MS de soja se determinó en R2 y R5 a través de la recolección manual de 2 m lineales de 2 surcos continuos, siendo la superficie cosechada de 2,08 m². El material recolectado se transportó al laboratorio y se secó en estufa a 60 °C hasta peso constante. Finalmente, la MS fue molida a un tamaño inferior a 0,5 mm para la determinación del contenido de N en planta mediante un analizador elemental marca LECO TRUSPEC.

El NNT y PN se determinó en R2 mediante extracción de tres submuestras de suelo en cada parcela con un cilindro de 22 cm de diámetro a una profundidad de 12 cm. En la muestra extraída se contó el número de plantas y se desechó la parte aérea. Luego se trasladó al laboratorio y se colocó en baldes con el agregado de hexametáfosfato de sodio ($\text{Na}_6\text{P}_6\text{O}_{40}$) para romper los agregados de mayor consistencia. Posteriormente, la totalidad de la muestra se pasó a través de un tamiz de 0,1 mm, recuperando el material retenido (nódulos y raíces) y se colocó en estufa a 60 °C para su secado hasta peso constante. Finalmente, se realizó el recuento y pesado de nódulos para obtener el NNT y PN, respectivamente.

El contenido de nitratos (NO_3^-) del suelo se determinó a 0–20 cm de profundidad a la siembra, R2 y R5 utilizando el método del fenoldisulfónico (Bremner, 1965). La relación C/N de los residuos superficiales se determinó en R2 y R5 recolectando tres submuestras mediante rectángulos de 0,25 m por 0,50 m. Para esto, se recolectó todo el material dentro del rectángulo y posteriormente se trasladó al laboratorio. Las muestras fueron colocadas en estufa a 60 °C hasta peso constante y luego se procesaron utilizando un tamiz de 0,5 mm para eliminar restos de suelo adheridos a los residuos superficiales. Finalmente, las muestras fueron pesadas y molidas para la determinación del contenido de C y N mediante analizador elemental LECO TRUSPEC.

Los resultados fueron analizados mediante análisis de varianza (ANAVA) y se realizó un test de comparación de medias utilizando el test LSD Fisher ($p < 0,05$). Además se evaluaron relaciones entre el PN y NNT con los contenidos de NO_3^- a la siembra mediante análisis de regresión lineal utilizando el programa estadístico INFOSTAT (Di Renzo *et al.*, 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los antecesores no provocaron diferencias en la producción de MS y en la concentración de N en planta en los estadios fenológicos R2 y R5 (tabla 1). Similares resultados fueron encontrados por Alvarez *et al.* (2006) en un Hapludol del noroeste bonaerense. A su vez, la acumulación de N en planta fue mayor a lo informado por Benintende *et al.* (2010)

Antecesor	MS (kg ha ⁻¹)		Concentración de N (%)		N absorbido (kg ha ⁻¹)	
	R2	R5	R2	R5	R2	R5
C	3843 a (618)	9499 a (220)	3,16 a (0,06)	3,08 a (0,14)	116 a (16,7)	292,5 a (17,6)
T	3076 a (440)	8516 a (449)	3,32 a (0,30)	2,91 a (0,08)	101 ^a (6,0)	248,3 a (17,8)
V	3363 a (1166)	8777 a (897)	3,16 a (0,28)	2,98 a (0,19)	108 a (46,6)	262,2 a (40,1)

Tabla 1. Materia seca (MS), concentración de N en planta (%) y N absorbido en planta (kg ha⁻¹) en los estadios R2 y R5 de soja con diferentes antecesores.

Letras distintas en las mismas columnas indican diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$). Entre paréntesis desvío estándar.

donde los contenidos de N en planta fueron de alrededor de 160 kg ha⁻¹ para el período R4. Estas diferencias pueden deberse a que la acumulación de biomasa aérea en ese experimento fue menor y, por lo tanto, los contenidos de N en planta. Así, las diferencias en el contenido de N se deben a la mayor acumulación de MS y no a la concentración de N (Koutroubas *et al.*, 1998).

El factor antecesor no provocó diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) en los contenidos de NO₃⁻ en los tres momentos evaluados, siendo en todos los casos menores a 30 ppm (figura 1). En la siembra de soja se observó una variabilidad en los contenidos de NO₃⁻ entre bloques para el antecesor V, la que pudo deberse a la producción de MS que fue variable entre bloques (datos no mostrados). La mineralización de N de los residuos superficiales depende de la relación C/N (Bolger *et al.*, 2001) y de las condiciones de humedad y temperatura entre el secado de los CC y la siembra de soja. Algunos autores reportan incrementos en los contenidos de NO₃⁻ cuando se utiliza

un antecesor V como CC debido a la mineralización del residuo (Vidal *et al.*, 2002), como así también se reportan disminuciones cuando se utilizan gramíneas como CC en comparación a un testigo sin CC (Fernández *et al.*, 2007; Restovich *et al.*, 2012).

La relación C/N del residuo no presentó diferencias estadísticamente significativas entre antecesores (figura 2). Sin embargo, el antecesor V presentó, en ambos momentos, valores de C/N inferiores a 30, donde predominarían procesos de mineralización del N (Coyne, 1999). La relación C/N del residuo es determinante del proceso de mineralización o inmovilización y el aporte de nutrientes al próximo cultivo (Bolger *et al.*, 2001). De esta forma, es probable que en los antecesores T y C la inmovilización del N haya sido mayor que en V.

El NNT en estado fenológico R2 presentó diferencias estadísticamente significativas entre antecesores, donde C presentó el mayor NNT y V el menor valor (figura 3).

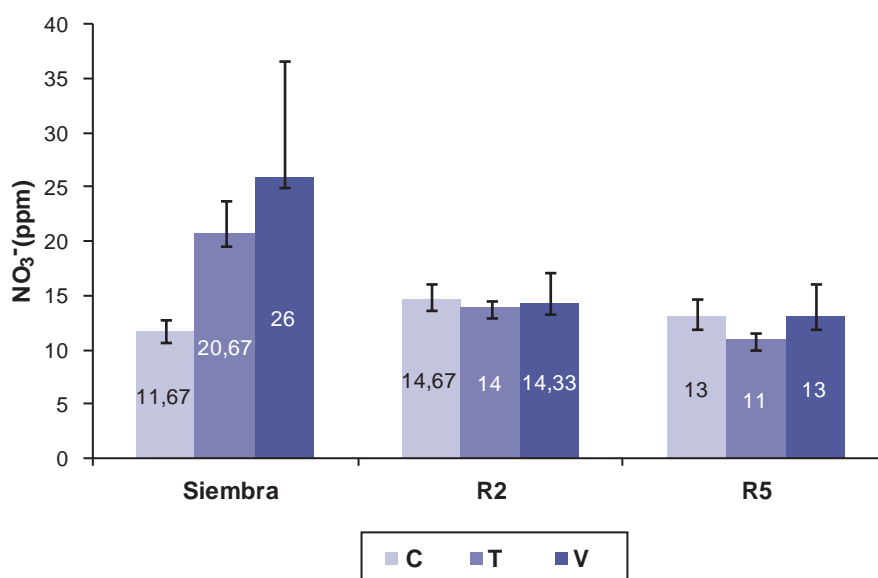


Figura 1. Contenido de nitratos (NO₃⁻) en los momentos de siembra, R2 y R5 de soja, en la profundidad 0-20 cm para los diferentes antecesores.

La ausencia de letras indica que no se encontraron diferencias significativas entre antecesores ($p < 0,05$). NS: No significativo. Las barras indican el error estándar.

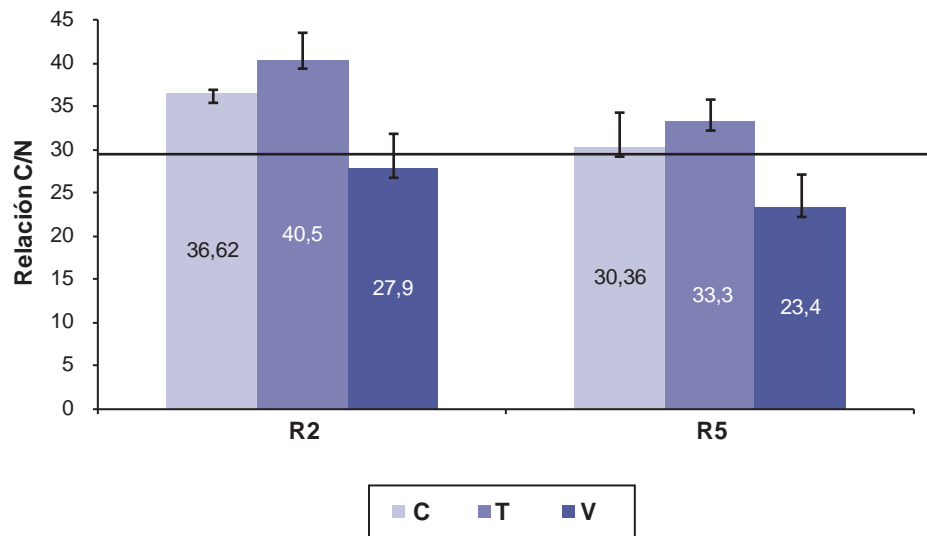


Figura 2. Relación C/N del residuo en estadio R2 y R5 de soja con diferentes antecesores.

La línea punteada indica que por debajo comienza la mineralización del N. La ausencia de letras indica que no se encontraron diferencias significativas entre antecesores ($p < 0,05$). NS: No significativo. Las barras indican el error estándar.

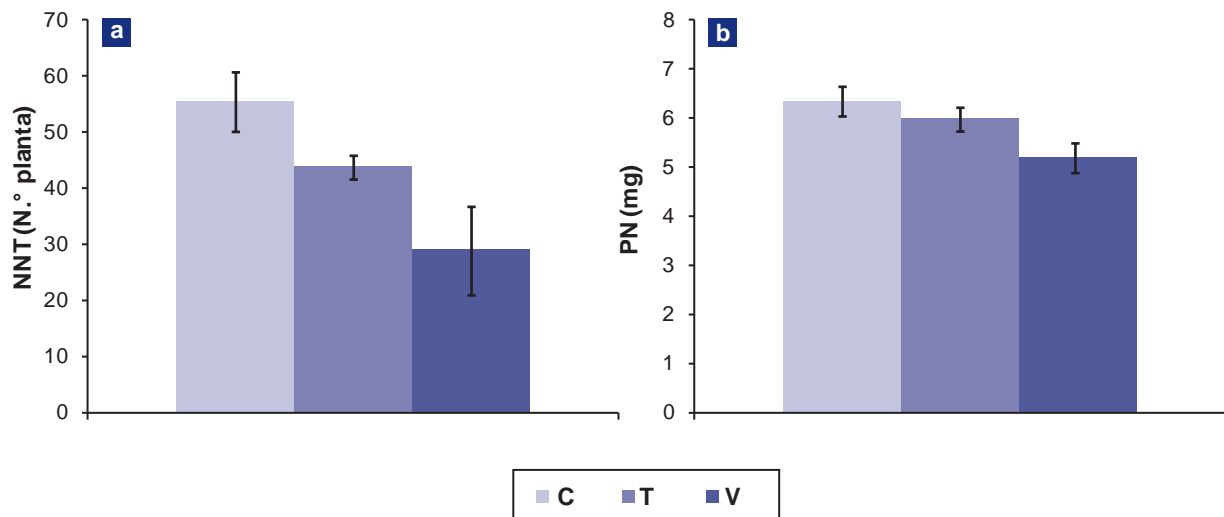


Figura 3. Peso de nódulos (PN) (A) y número de nódulos por planta (NNT) (B) con diferentes antecesores en el estadio R2 de soja.

Las letras distintas indican diferencias significativas ($p < 0,05$). NS: no significativo.

En cambio el PN resultó sin diferencias estadísticamente significativas ($p=$). Tanto el NNT como el PN observados en los antecesores C y T fueron similares a los reportados por Peticari quien, en estadio R5, observó de 40 a 50 NNT y un PN de 7 a 10 mg. Estos resultados también son similares a los reportados por Álvarez y Scianca (2006) en Hapludoles típicos del noroeste bonaerense, donde el mayor NNT fue observado con gramíneas invernales como antecesores de soja. El contenido de NO_3^- al momento de siembra de soja fue el que determinó un menor NNT.

El contenido de NO_3^- a la siembra presentó una relación inversa y significativa con el NNP ($R^2=0,68$; $p < 0,006$), pero no presentó relaciones significativas con el PN (figura 4). Esto coincide con lo reportado por Streeter y Wong (1998) que mostraron una reducción en el número de nódulos con el incremento de la concentración de NO_3^- . En el presente estudio, por cada incremento en una unidad de NO_3^- hubo una disminución en una unidad de NNP. Una adecuada nodulación necesita alrededor de 40–50 nódulos totales por planta (Peticari, 2005). Por lo tanto, elevados contenidos

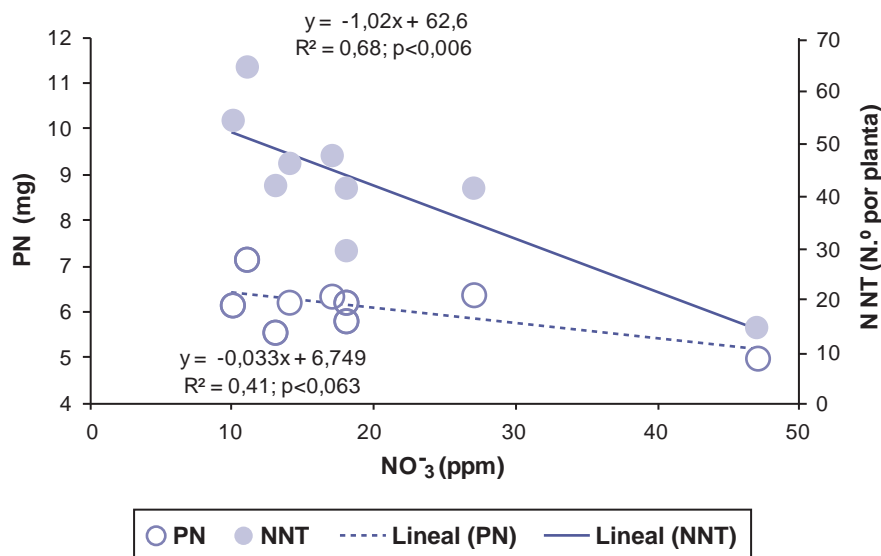


Figura 4. Relación entre peso de nódulos (símbolos vacíos) y número de nódulos por planta (símbolos llenos) determinados en R2 con los contenidos de nitratos (NO_3^-) del suelo a la siembra de soja.

de NO_3^- podían estar limitando el proceso de nodulación. La relación observada entre el número de nódulos y la disponibilidad de NO_3^- , es similar a la reportada por Cicore *et al.*, (2005) con una relación lineal negativa ($R^2=0,50$) y por Pietrarelli *et al.*, (2008) en suelos Argiúdoes típicos del centro de la provincia de Córdoba para dos campañas ($R^2=0,88$ y $0,79$).

La inclusión de CC previo a un cultivo de soja no modificó el contenido de NO_3^- , la producción de MS, absorción de N por la planta y el PN del cultivo de soja. En cambio, se modificó el NNT, donde el antecesor C presentó los mayores valores y V los menores. Esto pudo deberse, por una parte, a que la relación C/N del residuo superficial en el antecesor V siempre fue menor a 30. Por otra parte, los contenidos de NO_3^- a la siembra presentaron una relación lineal negativa con el NNT. Las variaciones observadas en el NNT no afectaron la producción de MS ni la absorción de N por la planta de soja, como así tampoco el rendimiento en grano (datos no mostrados). Si bien son necesarios estudios de largo plazo con el fin de evaluar la nodulación en diferentes condiciones ambientales, estos resultados preliminares reflejan que la utilización de CC afectaría la fijación biológica de N en el cultivo de soja.

BIBLIOGRAFÍA

ÁLVAREZ, C.; SCIANCA, C.; BARRACO, M.; DÍAZ-ZORITA, M. (2006). Impacto de cereales de cobertura sobre propiedades edáficas y producción de soja. En: XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Reunión de suelos de la región Andina. Actas. Salta-Jujuy, 19 al 22 de setiembre de 2006. Buenos Aires: AACCS, 1 CD.

ÁLVAREZ, C.; SCIANCA, C. (2006). Cultivos de cobertura en Molisoles de la Región Pampeana. Aporte de carbono e influencia

sobre las propiedades edáficas. Día de campo EEA INTA General Villegas:1-2

BENINTENDE, S.; UHRICH, W.; HERRERA, M.; GANGE, F.; STERREN, M.; BENINTENDE, M. (2010). Comparación entre coinoculación con *Bradyrhizobium japonicum* y *Azospirillum brasilense* e inoculación simple con *Bradyrhizobium japonicum* en la nodulación, crecimiento y acumulación de N en el cultivo de soja. *Agriscientia* 27: 71-77.

BOLGER, T.; REID, M.; PEOPLES, A.; ANGUS, J. (2001). Nitrogen mineralization from shoot and root residues of crop and pasture species. Barry Rowe, Danny Donaghy & Neville Mendham (Eds.). Proceedings of the 10th Australian Agronomy Conference, enero 2001, Hobart, Tasmania.

BREMNER, J. (1965). Inorganic forms of Nitrogen. In: Methods of soil analysis Part II. Agronomy N.º 9. Black, C.A. 1965 (Ed). ASA. Madison.EE.UU. 1179-1237.

CICORE, P.; SAINZ ROZAS, H.; ECHEVERRÍA, H.; BARBIERI, P. (2005). Materia seca nodular y nitrógeno acumulado en el cultivo de soja en función de la disponibilidad de agua y azufre, y del sistema de labranza. *Ciencia del suelo* 23 (2) 205-210.

COYNE, M. (1999). *Soil Microbiology: An Exploratory Approach*. Albany, NY: International Thomson Publishing. 462.

DI RIENZO, J.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M.; ROBLEDO, C. InfoStat versión 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. URL <http://www.infostat.com.ar>.

DÍAZ ZORITA, M.; Fernández CANIGGIA, M. (1999). Patrones de nodulación de soja en relación con propiedades del suelo bajo tres sistemas de labranza. *Rev. Fac. Agronomía, La Plata* 104(1): 53-60.

FERNÁNDEZ, R.; QUIROGA, A.; ARENAS, F.; ANTONINI, C.; SAKS, M. (2007). Contribución de los cultivos de cobertura y las napas freáticas a la conservación del agua, uso consuntivo y nutrición de los cultivos. Quiroga A & A Bono (Eds). *Manual de Fertilidad y Evaluación de Suelos*. EEA INTA Anguil. Publicación técnica N.º 71: 51-59.

- GONZÁLEZ, N.; PERTICARI, A.; STEGMAN, B.; DE GURFINKEL; RODRÍGUEZ CÁCERES, E. (1998). Nutrición nitrogenada. En: El cultivo de soja en Argentina. Giorda, L & Baigorri, H. (eds.). SIN: 0329-007. INTA Editar, San Juan, Argentina. 188-198.
- INTA, 1978. Carta de suelos de la República Argentina. Hoja 3363-17 (Marcos Juárez). Buenos Aires, Argentina, 86 .
- KOUTROUBAS, S.D.; PAPAOKOSTA, D.K.; GAGIANAS, A.A. (1998). The importance of early dry matter and nitrogen accumulation in soybean yield. *European Journal of Agronomy* 9: 1-10.
- MALPASSI, R.; KASPAR, T.; PARTIN, T.; CAMBARDELLA, C.; NUBEL, N. (2000). Oat and rye root decomposition effects on nitrogen mineralization. *Soil Science of American Journal* 64: 208-215.
- PERTICARI, A. (2005). Uso de biofertilizantes. Inoculación y fijación biológica de nitrógeno en el cultivo de soja. *Horizonte A. magazine de las ciencias agrarias* 2 (9).
- PIETRARELLI, L.; ZAMAR, J.; LEGUÍA, H.; ALESSANDRIA, E.; SÁNCHEZ, J.; ARBORNO, H.; LUQUE, S. (2008). Efectos de diferentes prácticas de manejo en la nodulación y en el rendimiento del cultivo de soja. *Agriscientia* 25: 81-87.
- RACCA, R. (2003). Algunos conceptos sobre la fijación biológica del nitrógeno en cultivos. *IV Reunión Nacional Científico Técnica de Biología de Suelo y IV Encuentro de Fijación Biológica del Nitrógeno*. Termas de Río Hondo, Santiago del Estero.
- RESTOVICH, S.; ANDRIULO, A.; PORTELA, S. (2012). Introduction of cover crop in a maize- soybean rotation of the Humid Pampas: Effect on nitrogen and water dynamics. *Field Crops Research* 128: 62-70.
- SAINJU, U.; SINGH, B. (2001). Tillage, cover crop, and kill-plating date effects on corn yield and soil nitrogen. *Agronomy Journal* 93: 878-886.
- SAINJU, U.M.; SINGH, B.P.; WHITEHEAD, W.F. (1998). Cover crop root distribution and its effects on soil nitrogen cycling. *Agronomy Journal* 90: 511-518.
- SALVAGIOTTI, F. (2009). Manejo de soja de alta producción. En: *Resumen XVII Congreso AAPRESID, La Era del Ecoprogreso*. Rosario, Argentina. 79-85.
- STREETER, J.; WONG, P. (1988). Inhibition of legume nodule formation and N₂ fixation by nitrate. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 7(1), 1-23.
- STUTE, J.K.; Posner, J.N. 1995. Synchrony between legume nitrogen release and corn demand in the upper Midwest. *Agronomy Journal* 87: 1063-1069.
- VIDAL, I.; ETCHEVERS, J.; FISCHER, A. (2002). Dinámica del nitrógeno bajo diferentes rotaciones, sistemas de labranza y manejo de residuos en el cultivo de trigo. *Agricultura Técnica*. 62:121-132.
- WAGGER, M.; CABRERA, M.; RANELLS, N. (1998). Nitrogen and carbon cycling in relation to cover crop residue quality. *Journal of Soil and Water Conservation* 53: 214-218.