

Efectos de diferentes prácticas de manejo en la nodulación y en el rendimiento del cultivo de soja

Pietrarelli, L.; J.L. Zamar, H.L. Leguía, E.E. Alessandria, J. Sánchez, M. Arbornó y S.M. Luque

RESUMEN

Se estudió el efecto de la secuencia de cultivos, la inoculación y la fertilización sobre la nodulación y el rendimiento del cultivo de soja, en sistemas agrícolas extensivos del área central de Córdoba. La experiencia se desarrolló durante dos campañas con distinto nivel de estrés hídrico, bajo siembra directa con secuencias soja-soja y maíz-soja, donde se evaluó el efecto de la aplicación de fertilizante no nitrogenado e inoculante. Durante la etapa R5 del cultivo se midieron número y peso fresco de nódulos en raíces principal y secundarias y porcentaje de nódulos funcionales; además, se evaluó el rendimiento de granos y morfología de raíces. El peso promedio de los nódulos de la raíz principal fue la variable más sensible a las diferentes prácticas culturales. La rotación maíz-soja fue el principal factor que favoreció al sistema nodular. Para la mayoría de las variables, los efectos de prácticas como fertilización e inoculación no resultaron significativos. En la campaña húmeda los nódulos de la raíz principal pesaron el doble que en la campaña seca. Los rendimientos no mostraron diferencias entre tratamientos ni correlacionaron con los patrones de nodulación. La mayor nodulación se presentó en lotes de menor disponibilidad de nitrógeno.

Palabras clave: nodulación, fertilización, inoculación, secuencia de cultivos, soja

Pietrarelli, L.; J.L. Zamar, H.L. Leguía, E.E. Alessandria, J. Sánchez, M. Arbornó and S.M. Luque, 2008. Effects of different management practices on nodulation and on the yield of soybean crops. *Agriscientia* XXV (2): 81-87

SUMMARY

This study examines the effect of crop sequence, inoculation and fertilization on the behavior of nodulation and soybean yield in extensive farming systems of the central area of Córdoba. The experience was developed during two campaigns with different hydric stress levels, in fields under no-tillage systems, both in the

soybean-soybean and corn-soybean sequences. The effect of the application of no nitrogen fertilizers and inoculate were analyzed. During the R5 soybean growth stage the number and fresh weight of nodules in main and secondary roots and the percentage of functional nodules were measured; grain yield and root morphology were also evaluated. The average weight of the main root nodules was the most sensitive variable to the different cultural practices. The corn-soybean rotation was the main factor that favored the nodular system. The effect of fertilization and inoculation was not significant for most of the variables measured. The weight of main root nodules during the wetter campaign, was double that in the dry campaign. Grain yields did not show differences between the treatments considered nor were they correlated with nodulation patterns. The greatest nodulation appeared in fields with less nitrogen availability.

Key words: nodulation, fertilization, inoculation, crops sequence, soybean

L. Pietrarelli, H.L. Leguía, J. Sanchez, M. Arborno y S.M. Luque. *Observación y Análisis de Sistemas Agropecuarios. Dep. de Desarrollo Rural. J.L. Zamar y E.E. Alessandria, Ecología Agrícola. Dep. de Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Agropecuarias, UNC, CC 509, 5000 Córdoba, Argentina. Correpondencia a L. Pietrarelli: lipietra@agro.unc.edu.ar*

INTRODUCCIÓN

La región central de la provincia de Córdoba, Argentina, refleja un predominio de ambientes antropizados de elevada homogeneidad, basados principalmente en el monocultivo de soja, que afectan notablemente la biodiversidad de los sistemas (Alessandria *et al.*, 2001). Esta reducción también es reconocida por Satorre (1998) para la región pampeana en general.

De esta manera se alteran procesos ecosistémicos relacionados al flujo de energía, al ciclo de nutrientes y a las redes tróficas, con pérdida de mecanismos de autorregulación e incremento de la fragilidad del sistema, acelerando los procesos de degradación (Altieri, 1987). Estudios realizados en esta región revelan un gran deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, causado principalmente por una intensiva actividad agrícola. Esto se manifiesta en bajos niveles de materia orgánica (1,2 a 1,5%), elevada densidad aparente —que alcanza valores entre 1,1 y 1,5 gr/cm³ en superficie y mayores aún en horizontes más profundos—, baja disponibilidad de nutrientes (menos de 15 ppm de fósforo, y menos de 25 ppm de nitratos) y limitaciones al desarrollo radicular y a la nodulación de los cultivos (Leguía *et al.*, 2004).

Debido a que la sustentabilidad se basa en la conservación del mayor número de funciones ecológicas dentro de los sistemas de producción agro-

pecuaria (Satorre, 1998), es factible esperar una particular condición de sustentabilidad de los agroecosistemas a partir de un cierto rango de diversidad biológica y de manejo tecnológico (Brookfield & Stocking, 1999).

Con tales propósitos se han propuesto diversas prácticas agronómicas para restablecer mecanismos de autorregulación de los sistemas, tendientes a una menor dependencia de insumos externos (Altieri, 1999). Entre ellas, la inoculación del cultivo de soja con microorganismos fijadores de N en los sistemas agrícolas constituye un mecanismo biológico que permite regular el ciclo del N, a la vez que limita el aporte de N sintetizado industrialmente y los efectos negativos que acarrea el abuso de este tipo de práctica.

En ausencia de otras limitaciones, el rendimiento del cultivo de soja es función directa del N acumulado en su biomasa. Entre 25 y 84% del N de la biomasa aérea puede ser aportado a través de la fijación biológica del nitrógeno (FBN), de acuerdo a las condiciones edafoclimáticas en las que se desarrolla el cultivo (Buttery *et al.*, 1992).

Las bacterias de los géneros *Bradyrhizobium* y *Sinorhizobium*, pertenecientes a la familia Rhizobiaceae, se asocian simbióticamente con la planta de soja (*Glycine max*, Fam. Leguminosae) (Amarger, 2001, Toresani *et al.*, 2007). Esta asociación es una respuesta fisiológica de dos organismos frente a

medios deficitarios; en particular, la simbiosis rizo-bios-leguminosa es una adaptación al desequilibrio de N en el suelo. Por esta razón, en los suelos ricos en N se dificulta la simbiosis, ya que las plantas lo extraen directamente del suelo, y la carencia de N facilita la fijación biológica (González et al., 1998; Díaz Zorita y Fernández Canigia, 1999; Racca, 2003). Otro factor influyente es la relación carbono/nitrógeno, tanto en el suelo como dentro de la planta; una alta relación edáfica (mayor a 35:1) produce inmovilización de N del suelo, lo que favorece la simbiosis, mientras que una relación más baja la retrasa, debido a que hay aportes de N por mineralización y un limitado suplemento de C al nódulo (Peticari et al., 2003).

La eficiencia de la nodulación depende también de la cepa colonizadora, el lugar de la raíz donde lo hace y las condiciones edáfico-climáticas de desarrollo de las plantas (temperatura, humedad, pH, oxigenación y nutrientes) (Fernández Canigia, 2003, Racca, 2003). El nivel de fósforo y azufre favorece la nodulación, actuando en forma directa sobre la FBN o bien, indirectamente, a través del estado general de la planta (Date, 2000; Baliña & Díaz-Zorita, 2006). El proceso de FBN es altamente sensible al estrés hídrico, comprometiéndose cuando la humedad del suelo es menor al 50% del agua útil (Serraj et al., 1999). Por lo tanto, el estado del suelo, que puede ser modificado por el sistema de labranza, el aporte diferencial de la cantidad y calidad de rastrojos de los cultivos, la inoculación y la fertilización, actúa como condicionante del patrón de nodulación (conjunto de variables seleccionadas para caracterizar el sistema nodular: número, peso, ubicación y actividad de nódulos) (Zhang & Smith, 2002).

En este estudio se analizó, en sistemas agrícolas extensivos del área central de Córdoba, el efecto del tipo de secuencia de cultivos, la inoculación y la fertilización en la nodulación y en el rendimiento del cultivo de soja.

MATERIALES Y MÉTODOS

La experiencia se desarrolló en sistemas de producción, predominantemente agrícolas, de la localidad de Lozada (Dpto. Santa María, Córdoba, Argentina), en una zona climática y edáfica homogénea (Zamar, 2004), que corresponde al dominio semiseco, con tendencia al semihúmedo, con déficit hídrico, sin invierno térmico (Capitanelli, 1979); la precipitación media anual de la serie 1980-2000 fue de 844 mm (Zamar, 2004). Los establecimientos estudiados se ubican en una región geo-

morfológica de la cuenca Rafael García-Lozada denominada Planicie Central, con un complejo de suelos clasificados como Argiustoles típicos, con textura mayoritariamente franco-limosa (Sanabria et al., 1999).

El trabajo se realizó durante dos años sucesivos, en dos campos de productores. La primera campaña correspondió al ciclo 2003-2004, con una precipitación del semestre octubre-marzo 307 mm menor que el promedio de la serie 1980-2000 (696 mm). La segunda (2004-2005) presentó para el mismo período valores pluviométricos levemente superiores al promedio (712 mm) y con una distribución mensual homogénea. La información pluviométrica fue obtenida de los registros de productores residentes en la zona de estudio.

Se seleccionaron lotes con un mínimo de 5 años de siembra directa (sistema de labranza más representativo en el área), y se analizaron los efectos de la fertilización con fósforo y azufre y de la inoculación con *Bradyrhizobium japonicum* en el comportamiento de la nodulación, bajo dos secuencias diferentes de cultivo.

El diseño experimental fue de parcelas divididas en bloques completos aleatorizados con dos bloques (diferentes productores) y dos repeticiones de cada tratamiento en cada campo. El factor principal fue el tipo de secuencia de cultivos mantenida en los últimos 2 años (soja-soja o maíz-soja). En cada campo se delimitaron parcelas de 5 x 40 m para ambas secuencias. Los tratamientos en cada una de ellas combinaron la presencia o ausencia de fertilizante e inoculante.

Antes de la realización de la siembra se determinó: densidad aparente a 0-5 y 10-15 cm de profundidad (Walker y Reuter, 1996) y, entre 0-15 cm, el contenido de materia orgánica, nitrógeno total, carbono orgánico total, relación carbono:nitrógeno y nitratos (Page et al., 1982) (Tabla 1). En el segundo año se midió también el contenido de fósforo y azufre. En general, los lotes correspondientes a la secuencia maíz-soja presentaban suelos con menor calidad física y química. En el primer ciclo analizado, los lotes con cultivo antecesor de maíz superaban en 33% en cobertura y en 86% en peso seco de rastrojos a los que tenían soja como cultivo antecesor; en el segundo, el aporte de rastrojo de maíz fue prácticamente el doble que los de la secuencia soja-soja (Tabla 1).

La siembra se realizó en la primera quincena de diciembre, y se utilizó soja cultivar A 6401 resistente a glifosato, a razón de 60 kg ha⁻¹. Previo a la siembra se inoculó con inoculante líquido aplicado a la semilla con máquina mezcladora, con una con-

Tabla 1. Condiciones edáficas y características de cobertura de rastrojo de lotes de productores según secuencia de cultivos de dos años, en los ciclos bajo estudio

Ciclo	Prod	Sec	DA		M O (%)	Corg (%)	N t (%)	C:N	N-NO3 ppm	Cob (%)	PSR (gr m ⁻¹)	Fósforo (ppm)	Azufre (ppm)
			(gr/cm ³)										
			0-5 cm	10-15 cm									
I	1	S-S	1,21	1,45	1,60	1,01	0,09	9,5	13,05	37	280	-	-
	1	M-S	1,33	1,47	1,50	0,90	0,09	9,9	5,15	45	470	-	-
	2	S-S	1,20	1,43	1,86	1,08	0,10	10,0	13,35	34	253	-	-
II	2	M-S	1,25	1,43	1,71	0,99	0,09	10,2	15,70	50	523	-	-
	3	S-S	1,08	1,33	2,37	1,37	0,12	11,0	16,25	53	233	35,0	3,3
	3	M-S	1,10	1,42	2,12	1,23	0,11	11,0	12,05	58	476	19,5	1,7
	4	S-S	1,11	1,39	2,00	1,19	0,12	9,9	22,90	60	264	25,8	4,5
	4	M-S	1,22	1,38	1,90	1,10	0,11	9,5	14,00	81	573	6,5	0,8

I: Ciclo 2003/4, II: Ciclo 2004/5, Prod: Productor, Sec: Secuencia, S: Soja, M: Maíz, DA: densidad aparente, MO: materia orgánica, Corg: carbono orgánico, Nt: nitrógeno total, C:N: relación carbono- nitrógeno, N-NO3: nitratos, Cob: cobertura de rastrojos, PSR: peso seco de rastrojos.

centración de $1 \times 10^9 \text{ ml}^{-1}$ de *B. japonicum* (cepa E109) en una dosis de 10 ml del producto concentrado, diluido en 450 ml de agua azucarada al 10%, cada 50 kg de semilla. En el momento de la siembra se aplicó superfosfato simple de calcio (fósforo 9,1%, azufre 12% y calcio 20%), en una dosis de 100 kg ha^{-1} .

En la etapa fenológica de soja denominada R5 se evaluó el patrón de nodulación mediante un muestreo al azar de seis plantas individuales de los surcos centrales de cada repetición. Las raíces con su pan de tierra (30 cm de profundidad y 20 cm de cada lado) fueron extraídas y lavadas cuidadosamente sobre un tamiz de 1 mm; posteriormente los nódulos se separaron manualmente. Se midieron número de nódulos en raíz principal y en raíces secundarias, peso fresco de nódulos en ambos tipos de raíces y porcentaje de nódulos funcionales o activos que se identificaban por su coloración interna, rosada o roja (Vincent, 1975). Se registró el peso seco de la parte aérea de la planta y la morfología de raíces (diámetro a la altura del cuello, a 2,5 y a 7,5 cm de profundidad y ángulo y profundidad de desviación o deformación de la raíz principal). Esta última determinación se hizo con la finalidad de detectar posibles efectos de la compactación subsuperficial del suelo en la estructura de las raíces. Al final del ciclo de cultivo, se cosecharon al azar 6 m lineales de soja por parcela de cada tratamiento para evaluar la biomasa total y el rendimiento en grano.

Los datos se analizaron mediante ANAVA, considerando en el modelo los efectos de secuencia de cultivos, productor, secuencia de cultivo x productor (estimador de la variabilidad entre parcelas con la misma secuencia de cultivos pero de productores diferentes), fertilización, inoculación y las interacciones: secuencia x fertilización, secuencia x inoculación y secuencia x fertilización x inoculación

(estimador de la variabilidad entre parcelas con la mismas combinación: secuencia, fertilización e inoculación dentro de un productor). La comparación de medias se realizó con la prueba LSD de Fisher para un nivel de significación de 10%. Se realizó análisis de correlación entre variables edáficas y morfología de raíces. El análisis estadístico se realizó usando el programa InfoStat (InfoStat, 2004).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 2 se presentan los valores promedio de las variables medidas para caracterizar el patrón de nodulación en soja.

El peso promedio de los nódulos de la raíz principal presentó diferencias debido a la secuencia ($p < 0,0001$), a la inoculación ($p < 0,0021$) y a la fertilización ($p < 0,0184$) durante la campaña con estrés hídrico (Tabla 3), mientras que bajo condiciones hídricas favorables sólo se manifestaron diferencias en secuencias de cultivos y entre secuencias dentro de un mismo productor.

Los pesos secos de nódulos totales por planta en la primer campaña representaron sólo 40% de los óptimos informados por Peticari *et al.* (2003), mientras que en el ciclo 2004/05, más húmedo, se obtuvieron promedios de 750 mg pl^{-1} , cercanos a los considerados como adecuados ($800\text{-}1000 \text{ mg pl}^{-1}$). La mayor diferencia se registró en la raíz principal, donde el peso promedio fue 2,2 veces superior a los de la primera campaña (550 y 250 mg, respectivamente), lo que manifiesta el efecto del estrés hídrico sobre la nodulación y FBN, tal como informan Peticari *et al.* (2003) y Racca (2003). Es esperable que el balance de nitrógeno del suelo resulte de esta forma menos negativo, debido a que la FBN puede estimarse a partir del peso seco nodular (Herridge

Tabla 2. Caracterización del sistema nodular de soja en R5 en lotes de productores según secuencia de cultivos en los dos ciclos, con y sin fertilización e inoculación

Ciclo	Productor y secuencia	Con inoculación		Sin inoculación	
		Fertilizados	No fertilizados	Fertilizados	No fertilizados
I	1- SS	0,31 (a)	0,20	0,19	0,16
		0,54 (b)	0,31	0,62	0,43
		73% (c)	68%	74%	70%
	1- MS	0,56	0,44	0,30	0,37
		0,74	0,73	0,28	0,42
		79%	64%	65%	64%
	2- SS	s/d	0,09	s/d	0,11
			0,24		0,26
2- MS			86%	84%	
	0,26	0,18	0,22	0,10	
	0,48	0,26	0,38	0,30	
		70%	83%	61%	87%
II	3- SS	0,31	0,41	0,30	0,35
		0,65	0,49	0,34	0,39
		72%	79%	73%	82%
	3- MS	0,86	0,74	0,90	0,89
		0,63	0,48	0,68	0,45
		76%	66%	73%	74%
	4- SS	0,33	0,35	0,46	0,32
		0,43	0,45	0,67	0,34
		62%	64%	65%	59%
	4- MS	0,60	0,69	0,66	0,76
		0,78	0,38	0,69	0,49
		56%	62%	56%	67%

En cada celda de la tabla se presenta: (a) PNRP = peso fresco promedio por planta de nódulos de la raíz principal (en gramos), (b) PNRL: peso fresco de nódulos por planta de raíces laterales (en gramos), (c) %NA = porcentaje de nódulos activos.
S: Soja, M: Maíz. Valor de n = 6; s/d: sin datos

et al., 1990).

Durante la campaña 2003/04, la variabilidad entre productores ($p < 0,0001$) fue el factor más importante para variables como número de nódulos en raíz principal, en raíces laterales y peso de nódulos de estas últimas; esto no permitió detectar diferencias estadísticamente significativas entre secuencias, fertilización ni inoculación, aunque los valores medios generales favorecieron a la secuencia maíz-soja. En el segundo período, las diferencias entre secuencias fueron significativas ($p < 0,01$) para las variables antes mencionadas.

En ambos períodos, no se detectaron efectos estadísticamente significativos ($p > 0,01$) de los factores secuencia, fertilización ni inoculación sobre el porcentaje de nódulos activos (Tabla 2). Sin embargo, los mayores valores (de 75 a 85% de nódulos activos) se presentaron en los lotes con mejores condiciones físico-químicas (lotes correspondientes a productores 2 y 3) (Tabla 1).

Se encontraron correlaciones negativas significativas entre el número y peso de nódulos en raíz primaria con la disponibilidad de nitratos, en coincidencia con Cicore *et al.* (2005). La secuencia maíz-soja presentó los valores mayores de peso de nódulos en la raíz principal en lotes con menor disponibilidad de nitratos ($R = -0,88$ y $-0,79$, para las

campañas 1 y 2, respectivamente). Estos resultados evidenciaron que la nodulación responde a condiciones edáficas particulares, especialmente relacionadas a la deficiencia de nitrógeno (González *et al.*, 1998; Fernández Canigia, 2003; Racca, 2003). En la secuencia maíz-soja, la nodulación puede haber sido favorecida por el rastrojo del cultivo anterior (maíz) que modifica la relación C:N del sustrato, estimula la inmovilización de N en el suelo y facilita la FBN (Racca, 2003).

El rendimiento en granos presentó diferencias significativas según la secuencia ($p < 0,0001$), correspondiéndole el valor mayor a maíz-soja, y dentro de ésta, a los productores 2 y 4 (28,06 y 31,27 qq ha⁻¹ respectivamente). No obstante, estos datos no correlacionaron con los mayores valores de peso promedio de nódulos por planta. Los resultados encontrados son coincidentes con lo observado por otros autores (Díaz Zorita y Fernández Caniggia., 1999; Lázaro *et al.*, 2004), quienes no hallaron asociación entre rendimientos en grano y patrón de nodulación. Es posible que ante condiciones climáticas favorables para una adecuada mineralización de los rastrojos, se genere una suficiente disponibilidad de N para las plantas y, consecuentemente, no constituya éste un factor limitante del rendimiento. La FBN es energéticamente más cara que la absor-

Tabla 3. Peso fresco de nódulos por planta sobre la raíz principal, para las campañas con y sin estrés hídrico (2003/2004 y 2004-2005).

Tratamientos		Peso nódulos (g)	
		Año 2003-4	Año 2004-5
Secuencia	Maíz-soja	0,30 a	0,76 a
	Soja - soja	0,18 b	0,35 b
Inoculación	Inoculado	0,29 a	0,54 a
	No inoculado	0,21 b	0,58 a
Fertilización	Fertilizado	0,31 a	0,55 a
	No fertilizado	0,21 b	0,56 a

Para un mismo tratamiento, letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas entre ambos niveles.

ción del N del suelo, por lo que las leguminosas desarrollan mecanismos fisiológicos que permiten disminuir o anular la fijación biológica ante suficiente N disponible en el suelo (Racca, 2003). Además, se debe considerar que cuando la población de rizobios se ha naturalizado, existe un fenómeno de competencia entre las cepas inoculadas y naturalizadas en el suelo por la formación de nódulos. De acuerdo a González *et al.* (1998), entre 10 y 20% de los nódulos formados proceden de las cepas inoculadas y el impacto de la inoculación se traduce a incrementos de menos de 10% en los rendimientos, con frecuencia no significativos; esto no implica que la fijación biológica no sea funcional.

Los mayores diámetros de raíces se registraron en la secuencia maíz-soja, en lotes con valores de rendimiento superior. En el primer período analizado se encontró que el grado de deformación de la raíz fue mayor en suelos con mayor densidad aparente, tanto a 0-5 como a 10-15 cm. En la segunda campaña, esta variable presentó diferencias significativas en la secuencia de cultivos, manifestándose mayor grado de deformación en la secuencia soja-soja, coincidiendo con menores valores de peso y número de nódulos en raíz principal.

CONCLUSIONES

El peso promedio de los nódulos de la raíz principal fue la variable de mayor sensibilidad a las diferentes prácticas culturales. La rotación maíz-soja fue el factor que más favoreció al sistema nodular, estableciendo las mayores diferencias en el patrón de nodulación. La fertilización e inoculación mostraron efectos significativos sobre la nodulación sólo en el período de menor precipitación (campaña 2003-2004). La condición de mayor disponibilidad hídrica determinó un promedio de peso seco de nódulos totales por planta 2,2 veces superior a los registrados en la campaña con estrés hídrico.

Los suelos con menor disponibilidad de nitratos manifestaron mayor número y peso de nódulos en

la raíz principal. Además, los patrones de nodulación no manifestaron efectos significativos sobre los rendimientos en grano.

Los resultados reflejan la influencia manifiesta de la variabilidad de las condiciones climáticas, normal en la región semiárida del centro de Córdoba, sobre la nodulación del cultivo de soja.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido realizado con el apoyo económico de la SECyT de la U. N. de Córdoba. Se agradece a los productores agropecuarios Carlos Berardo, Orlando Delgado, Ángel García y Nelson Gasparotto, en cuyos establecimientos se realizaron las experiencias. Al Ing. Agr. Pablo Bagnera por el suministro de fertilizantes. A la Dra. Adriana Abril por haber facilitado el inoculante.

BIBLIOGRAFÍA

- Alessandria, E.; H. Leguía; L. Pietrarelli; J. Sánchez; S. Luque; M. Arborno y J. Zamar, 2001. La agrodiversidad en sistemas extensivos: el caso de Córdoba. LEISA. Revista de Agroecología. Vol. 16: 10-11.
- Altieri, M., 1987. The significance of diversity in the maintenance of the sustainability of traditional agroecosystems. ILEIA 3(2): 3-7.
- Altieri, M., 1999. Agroecología Bases científicas para una agricultura sustentable. Editorial Nordan-Comunidad. 325 pp.
- Amarger, N., 2001. Rhizobia in the field. Advances in Agronomy 73: 109-168.
- Baliña, R.M y M. Díaz-Zorita, 2006. Aporte de la fertilización fosfatada a la fijación biológica de nitrógeno en soja En: XX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo y I Reunión de Suelos de la Región Andina, 2006, Salta-Jujuy.
- Brookfield, H. y M. Stocking, 1999. Agroddiversity: definition, description and design. Global Environmental Change 9: 77-80.
- Buttery, B.R.; S.J. Park and D.J. Hume, 1992. Potential for increasing nitrogen fixation in grain legumes. Can. J. Plant Sci. 72: 323-342.
- Capitanelli, R., 1979. Clima. En: Vazquez, Miatello y Roqué (Dir.) Geografía física de la provincia de Córdoba. Ed. Boldt. Buenos Aires, pp. 45-138.
- Cicore, P.; H. Sainz Rozas, H. Echeverría y P. Barbieri, 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.
- Date, R.A. 2000. Inoculated legumes in cropping systems of the tropics. Field Crops Research 65: 123-136.
- Díaz Zorita, M. y M.V. Fernández Canigia, 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 Canigia, M.V., 2003. Factores determinantes de la nodulación. Departamento de Investigación y Desarrollo Nitragin Argentina S.A. 46 pp.
- González, N.; A. Peticari, B. Stegman de Gurfinkel y E. Rodríguez Cáceres, 1998. Nutrición nitrogenada. En L.Giorda y H. Baigorri (Eds.) El cultivo de soja en Argentina. SIN:0329-007. INTA Editar, San Juan, Argentina. pp. 188-198
- Herridge, D.F.; F.J. Bergensen and M.B. Peoples, 1990. Measurement of nitrogen fixation by soybean in the field using ureide and natural ^{15}N abundance methods. *Plant Physiol.* 93: 708-716.
- InfoStat, 2004. Grupo InfoStat, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Lázaro, L.; J. Ressia, L. Lett, G. Mendivil, M. Agostini, C. de Pablo y R. Balbuena, 2004. Efectos de los sistemas de labranza y la inoculación en soja en siembra tardía. *Agriscientia*, XXI (2):59-66.
- Leguía, H.; L. Pietrarelli, S. Luque, J.Sánchez, E. Alessandria, M. Arborno y J.Zamar, 2004. El bosque nativo como referente del deterioro de los suelos agrícolas. *LEISA. Revista de Agroecología* 19 (4): 28-31.
- Page, A. L.; R. H. Miller and D. R. Keeney (Ed.), 1982. *Methods of soil analysis. Part 2 Chemical and microbiological properties.* Amer. Soc. Of Agron. Inc and Soil Sci. Soc. of Am. Wiscosin. USA, 1159 pp.
- Peticari, A.; N. Arias, H. Baigorri, J. De Battista, L. Lett, M. Montecchia, J. Pacheco Basurco, A. Simonella, S. Toreani, L. Ventimiglia y R.Vicentini, 2003. Inoculación y fijación biológica de nitrógeno en el cultivo de soja. Capítulo 7. El libro de la soja. Ed. SEMA. pp. 69-76.
- 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.
- Sanabria, J.A.; G.L. Argüello, A. Balbis, C. Dasso y O. Barbeito, 1999. Evaluación de los aspectos geomorfológicos, pedológicos e hidrológicos de la Cuenca Rafael García-Lozada, para el control de la erosión hídrica. Informe Final Secretaría de Ciencia y Tecnología de la U. N. de Córdoba, 123 pp. (Inédito)
- Satorre, E., 1998. Aumentar los rendimientos en forma sustentable en la Pampa Argentina: aspectos generales. En: Solbrig, O. y L. Vainesman (Comp.). *Hacia una agricultura productiva y sostenible en la pampa.* pp. 72-98.
- Serraj, R.; T.R. Sinclair and L.H. Allen, 1999. Soybean nodulation and N_2 fixation response to drought under carbon dioxide enrichment. *Plant cell and env.* 21:491-500.
- Toresani, S.; M. Bodrero y J. M. Enrico, 2007. Comportamiento de inoculantes para soja en la zona sur de la provincia de Santa Fe, Argentina. *Revista de investigaciones de la Facultad de Ciencias Agrarias – U. N. de Rosario.* Vol. XI: 23-29.
- Vincent, J.M., 1975. *Manual práctico de Rizobiología.* Editorial Hemisferio Sur. Buenos Aires.74 pp.
- Walker, J. and D. J. Reuter (Eds), 1996. *Indicators of catchments health: a technical perspective.* CSIRO, Melbourne, 170 pp.
- Zamar, J.L., 2004. El índice normalizado de vegetación como indicador de la sustentabilidad de un territorio agrícola. Tesis Magister. Universidad Nacional de Córdoba, 106 pp.
- Zhang, F. and D. L. Smith, 2002. Interorganismal signaling in suboptimum environments: the legume-Rhizobia symbiosis. *Advances in Agronomy* 76: 125-161.