

EVALUACIÓN DE LA NODULACIÓN Y RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE SOJA CON LA APLICACIÓN DE DISTINTAS FORMULACIONES DE INOCULANTES

FORNASERO, L.V.¹ & TONIUTTI, M.A.¹

RESUMEN

Se evaluó la aplicación de distintas formulaciones de inoculantes a base de *Bradyrhizobium japonicum* sobre la nodulación y rendimiento del cultivo de soja en el centro de la provincia de Santa Fe. Los tratamientos fueron: testigo sin inocular, inoculado con *B. japonicum*, con *B. japonicum* más factores Nod y con *B. japonicum* más protectores bacterianos. Los patrones de nodulación correspondieron a los de un suelo con buena dotación de población naturalizada de rizobios. El número de nódulos mostró una adecuada nodulación de las plantas, aunque los valores de peso de los nódulos fueron bajos. El tratamiento inoculado más factores Nod presentó un efecto favorable sobre el desarrollo de las raíces. El rendimiento fue superior en los tratamientos inoculados, mostrando incrementos entre un 3,5 % y un 10,8 % en relación al testigo. Las plantas de soja inoculadas con *B. japonicum* más factores Nod presentaron los mayores rendimientos. *Palabras clave:* Inoculantes; factores Nod; protectores bacterianos; soja; nodulación.

SUMMARY

The application of different formulations of *Bradyrhizobium japonicum* inoculants on nodulation and yield of soybean in the center of the province of Santa Fe was evaluated. The treatments were: uninoculated, inoculated with *B. japonicum*, with *B. japonicum* more Nod factors and with *B. japonicum* more bacterial protectors. Nodulation patterns corresponded to a soil with good supply naturalized rhizobia population. The number of nodules showed satisfactory nodulation of the plants, although the weight values of the nodules were low. Treatment inoculated Nod factors presented favorable effect on root development. The yield was higher in inoculated treatments, showing increases between 3.5% and 10.8% compared to the control. Soybean plants inoculated with *B. japonicum* more Nod factors showed the highest yields *Key words:* inoculants, Nod factors, bacterial protectors, soybean, nodulation.

1.- Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Litoral. Kreder 2805 (3080) Esperanza, provincia de Santa Fe. e-mail: lforname@fca.unl.edu.ar

Manuscrito recibido el 14 de enero de 2015 y aceptado para su publicación el 25 de agosto de 2015.

INTRODUCCION

El nitrógeno representa el 78% de los gases que componen la atmósfera, sin embargo no se encuentra disponible para las plantas (32). La fuente principal de este elemento para los vegetales lo constituye la materia orgánica del suelo, que al ser oxidada por la biota edáfica libera el nitrógeno. En suelos con bajo contenido orgánico este proceso proporciona a los cultivos cantidades insuficientes de nitrógeno inorgánico, por lo que la fijación biológica de nitrógeno (FBN) adquiere gran importancia como la mayor fuente de nitrógeno adicional (6). La FBN se lleva a cabo exclusivamente por procariontes que tienen la capacidad de reducir el nitrógeno atmosférico a amonio, que puede ser utilizado por las plantas, contribuyendo a la mejora y productividad de los cultivos (32, 45).

La soja (*Glicine max* L. Merr) es uno de los cultivos más importantes en muchos países del mundo y América del Sur es responsable aproximadamente del 50% de su producción mundial. En la actualidad, es de gran importancia por su alto contenido proteico y subproductos industriales, y se reconoce que la alta demanda de nitrógeno (N) del cultivo es mayoritariamente cubierta por la fijación simbiótica de este elemento (35, 36). Esta oleaginosa tiene la habilidad de asociarse con bacterias fijadoras de nitrógeno llamadas rizobios y a través de la fijación biológica obtener gran parte del N que requiere para su crecimiento y desarrollo.

El éxito de la FBN depende de la eficiente nodulación y fijación de N en las plantas. En el inicio de la infección y organogénesis nodular las bacterias se acercan a las raíces de la planta en respuesta a exudados radiculares, principalmente flavonoides

que activan la expresión de los genes nod y resulta en la síntesis de moléculas señal desde la bacteria hacia la planta, los lipooligosacáridos o factores Nod (LCO) (39). Los factores Nod inducen la formación de los pelos radicales y la ontogenia de la estructura completa del nódulo (16, 22, 29, 38), siendo también capaces de estimular procesos fisiológicos como la germinación de las semillas, promover el crecimiento de las plantas e incrementar el rendimiento en granos de leguminosas y no leguminosas (7, 46).

La FBN puede aportar del 25 al 90% del N necesario para el desarrollo del cultivo cuando los factores ambientales no sean limitantes (14, 30). El uso de especies capaces de nodular y fijar el nitrógeno eficientemente, combinado con estrategias agronómicas simples permitirán obtener altos rendimientos y contribuir a las reservas nitrogenadas del suelo (31). El mayor éxito en relación a la implementación de prácticas agrícolas sustentables vinculadas con la FBN ha sido sin lugar a dudas el desarrollo de inoculantes a base de cepas rizobianas para leguminosas.

En Argentina, la inoculación del cultivo de soja es una práctica muy difundida y en las formulaciones de inoculantes se utilizan las cepas *Bradyrhizobium japonicum* E109 (USDA 138) y *B. japonicum* 61A273 (privada), recomendadas por el Instituto de Microbiología y Zoología Agrícola- INTA Castelar. La adición de factores Nod a los inoculantes constituye una opción interesante para promover el desarrollo del sistema radical y la nodulación incrementando el rendimiento del cultivo de soja. Otra alternativa importante es la incorporación de materiales poliméricos como protectores bacterianos para lograr una mayor supervivencia de las bacterias sobre la semilla e

incrementar la eficiencia de los inoculantes. El uso de aditivos de protección de las células bacterianas ha permitido prolongar la sobrevivencia de los rizobios aplicados a las semillas (27) con incrementos significativos de rendimiento (12, 26).

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de inoculantes a base de *B. japonicum* formulados con la adición de factores Nod y polímeros protectores bacterianos sobre la nodulación y rendimiento del cultivo de soja en el centro de la provincia de Santa Fe.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en la Unidad Experimental de Cultivos Extensivos de la Facultad de Ciencias Agrarias (FCA), Universidad Nacional del Litoral (UNL), ubicado en la localidad de Esperanza (31°25'S, 60°56'W), departamento Las Colonias, provincia de Santa Fe. El clima del área es templado pampeano húmedo. La temperatura media diaria anual es de 18°C y varía entre 25°C en verano y 10°C en invierno. El valor medio anual de precipitaciones es de 926 mm y su distribución presenta los menores valores en el periodo junio-agosto, mientras que los máximos se registran en los meses de diciembre, enero y marzo (21). Los datos meteorológicos registrados durante el ciclo del cultivo fueron obtenidos de la estación automática meteorológica inalámbrica de la FCA-UNL.

El suelo del sitio de estudio es un Argiudol típico serie Esperanza con aptitud agrícola y una historia previa de más de tres años del cultivo de soja en siembra directa. Las características químicas del suelo fueron: 2,10% de materia orgánica

(44), 0,141% de nitrógeno orgánico total (1), 13 ppm de fósforo disponible (5) y pH 5,9 (24).

Los parámetros físicos del suelo evaluados fueron el contenido hídrico gravimétrico, la densidad aparente (Ds) y la resistencia mecánica a la penetración (Rp). Previo al ensayo, se tomaron diez muestras de suelo no perturbado (cilindros de 5 cm de altura por 5 cm de diámetro) colectadas en el horizonte A (0-15 cm), se secaron en estufa a 105°C hasta peso constante y se determinaron el contenido hídrico por gravimetría y la Ds según Blake y Hartge (3). La Rp se determinó con un penetrómetro de impacto, tomada cada 2 cm desde la profundidad 0 hasta 0,15 m del horizonte A.

La estimación de la cantidad de rizobios se realizó mediante la extracción de diez cilindros de suelo en la profundidad 0 a 0,20 m. El análisis microbiológico se efectuó sobre una muestra compuesta de 10 g de suelo según la técnica del número más probable (NMP), con diluciones seriadas hasta 10⁶ con cinco repeticiones por dilución (43).

El 30 de noviembre de 2010 se sembró la variedad de soja RA 725 en siembra directa a 0,52 m entre surcos, con una densidad de 27 semillas/m lineal (± 3). Se establecieron cuatro tratamientos: testigo sin inocular (T) e inoculados con productos comerciales a base de *B. japonicum* conteniendo al menos 1.10⁹ bacterias/ml, inoculante base acuosa (I), inoculante con LCO (IF) e inoculante con protectores bacterianos (IP). Las semillas fueron inoculadas dentro de las cuatro horas antes de la siembra según el tratamiento correspondiente, siendo tratadas el día anterior con fungicida en base acuosa formulado con Thiram (35% p/v) más Carbendazim (15% p/v) en una dosis de 2ml/kg de semilla. En

los tratamientos inoculados y testigo, las dosis utilizadas fueron 3 ml de inoculante o agua respectivamente por kg de semilla. El diseño experimental fue en bloques completos al azar con tres repeticiones, siendo el tamaño de cada tratamiento de 10 surcos de ancho por 50 m de longitud.

En el estadio V1 (13) se determinó el porcentaje de implantación a través del recuento del número de plántulas emergidas por metro lineal en diez ubicaciones diferentes de cada tratamiento. En los estadios fenológicos V4 y R5, a los 27 y 104 días después de la siembra respectivamente, se muestrearon al azar 10 plantas con suelo rizosférico de las líneas laterales respetando las borduras, para cada tratamiento y sus réplicas. Se evaluaron número y peso seco nodular en raíz principal y secundarias, y materia seca por planta. El material fue secado en estufa de aire forzado a 65°C hasta peso constante.

En madurez fisiológica, se determinaron el número de plantas por metro cuadrado, número de nudos, vainas y granos por planta, y el rendimiento. El muestreo se realizó tomando las plantas de dos hileras centrales de un metro lineal de surco, correspondientes a una superficie de 1m².

Los resultados fueron analizados según análisis de la varianza y las medias se compararon según el test de Tuckey ($p < 0,05$). El análisis estadístico se realizó utilizando el software InfoStat (8).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La información meteorológica registrada durante el ciclo del cultivo para la localidad de Esperanza mostró condiciones benignas para el crecimiento y desarrollo del cultivo. La variación de las temperaturas

medias y distribución de las precipitaciones registradas para el periodo comprendido entre noviembre de 2010 y mayo de 2011, y las medias mensuales normales (21) se presentan en la Figura 1. Según los datos pluviométricos, durante el ciclo del cultivo se registró un volumen de precipitaciones de 695 mm, siendo la media histórica para el periodo correspondiente de 635 mm.

El rango de temperaturas óptimas para el desarrollo del cultivo de soja se halla comprendido entre 20 y 30°C, siendo muy favorables las temperaturas próximas a 30°C (37). Las temperaturas medias mensuales registradas en los meses en que se llevó a cabo el ensayo fueron superiores al promedio normal de la región.

La evaluación de los parámetros físicos del suelo mostró condiciones restrictivas para el crecimiento de las raíces. Al inicio de la experiencia, la humedad gravimétrica del suelo fue 23%, correspondiendo a una lámina de agua de 46 mm, y los valores de Rp y Ds fueron 3,79 megapascuales (MPa) y 1,41 g/cm³ respectivamente. Los suelos manejados mediante el sistema de siembra directa presentan valores de Rp y Ds mayores que los suelos laboreados (10). Esta situación sería atribuible a la ausencia de remoción y al efecto compactante derivado del pasaje de maquinarias (4).

En la Figura 2 se presenta la variación de la Rp a medida que incrementa la profundidad del suelo. La medida de Rp es una vía sencilla para detectar cambios en el perfil que pueden relacionarse con la exploración de las raíces (34). Según Atwell (2), con Rp superiores a 2 MPa se reduciría el crecimiento de las raíces de la mayoría de las especies cultivadas. La tasa de crecimiento radical del cultivo de soja sería afectada severamente cuando la Rp del suelo presente valores de 3 MPa (25).

Fig.1: Variación de las temperaturas medias mensuales y distribución de las precipitaciones registradas durante el ciclo del cultivo de soja (periodo noviembre 2010-mayo 2011) y las medias mensuales normales (21) correspondientes a la localidad de Esperanza (Santa Fe).

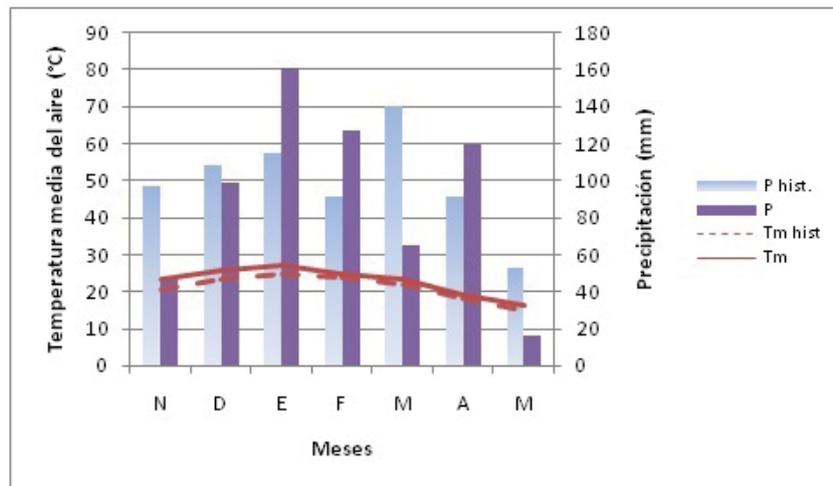
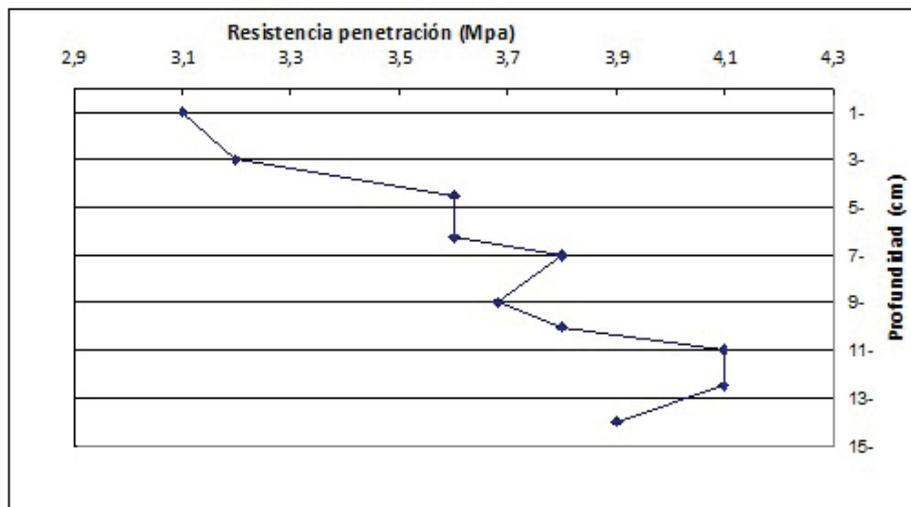


Fig. 2: Variación de la resistencia mecánica a la penetración con la profundidad del suelo.



El efecto restrictivo de la compactación del suelo puede causar limitaciones físicas y fisiológicas para el crecimiento global de la planta a través de un pobre desarrollo radical (16, 20). Según datos de la literatura, la inhibición del crecimiento de las plantas sería atribuida principalmente a la reducción del volumen de enraizamiento (15, 19).

En el presente estudio, la población de rizobios del suelo fue $2,1 \cdot 10^2$ NMP/gramo de suelo seco. En áreas con varias secuencias del cultivo de soja la inoculación reiterada ha permitido que los rizobios introducidos con el inoculante se naturalizaran en el suelo (30). En la región sojera tradicional de nuestro país, las poblaciones varían desde 10^2 hasta 10^5 rizobios por g de suelo (31). Debido a esta razón es posible observar la presencia de nódulos en las raíces de plantas no inoculadas en suelos con historia previa del cultivo soja, tal como ocurrió en esta investigación.

La implantación del cultivo presentó valores que oscilaron entre 89 y 90% de plántulas emergidas a los diez días de la siembra para los diferentes tratamientos del ensayo.

En el estadio fenológico V4 el número de nódulos en raíz principal osciló entre 5,2 y 6,1 por planta y los valores totales entre 15,7 y 21,1; sin mostrar diferencias significativas entre los tratamientos, según se observa en la Tabla 1. Resultados similares fueron reportados en plantas de soja cultivadas en siembra directa en la localidad de Azul, provincia de Buenos Aires (23). El peso seco de los nódulos totales osciló entre 8,0 y 12,3 mg por planta, mostrando valores inferiores a los obtenidos por Lázaro y col. (23). Por otro lado, la materia seca radicular de las plantas inoculadas con *B. japonicum*

más factores Nod presentaron valores superiores a los restantes tratamientos.

En el estadio R5 los valores de número de nódulos totales por planta variaron desde 61 a 73, siendo superiores a los reportados por Peticari y col. (31) para obtener una adecuada nodulación de las plantas de soja. El análisis del peso seco de nódulos presentó valores entre 221 y 244 mg por planta. Evaluaciones de nodulación realizadas en ensayos a campo mostraron variaciones en el peso de los nódulos entre 90 y 220 mg por planta, para las localidades de Cañada de Gómez y Clason, provincia de Santa Fe (41). En nuestro estudio, en todos los tratamientos el peso seco de los nódulos fue inferior al peso óptimo, considerado 800 mg por planta según Peticari y col. (31).

La materia seca radicular de los tratamientos IF e IP fueron 5,15 y 4,75 g por planta respectivamente, mostrando valores significativamente superiores a los restantes tratamientos. Souleimanov y col. (40) obtuvieron un peso seco radicular de plantas de soja inoculadas con factores Nod mayor al peso del control, sugiriendo que la utilización de los LCOs podrían afectar el transporte de auxinas y modificar el balance hormonal ocasionando importantes cambios en el crecimiento y desarrollo de las plantas de soja.

En el presente estudio, los patrones de nodulación correspondieron a los de un suelo con buena dotación de población naturalizada de rizobios, similar a lo informado por otros investigadores para la región sojera núcleo de nuestro país (9, 41, 42). Las cepas naturalizadas presentan mejor adaptación a las condiciones adversas del ambiente edáfico, mientras que las introducidas con un inoculante fueron seleccionadas, entre otras características, por

Tabla 1: Efecto de los tratamientos sobre la nodulación y masa seca de las plantas de soja en los estadios fenológicos V4 y R5 (Letras de las columnas distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$))

| Estadio Fenológico | Tratamiento ¹ | N° Nódulos por planta | | | Peso seco nódulos por planta (mg/planta) | | | Materia seca (g/pl) | | |
|--------------------|--------------------------|-----------------------|-----------------|-------|--|-------|---------|---------------------|--------|--------|
| | | Rp ² | Rs ³ | Total | Rp | Rs | Total | Radicular | Aérea | Total |
| V4 | T | 5,5 | 10,3 | 15,8 | 5,7 b | 6,1 | 11,8 ab | 0,3 a | 1,7 ab | 2,0 ab |
| | I | 5,7 | 15,4 | 21,1 | 4,2 ab | 6,1 | 10,3 ab | 0,3 a | 1,7 ab | 2,0 ab |
| | IF | 6,1 | 12,9 | 19,1 | 5,1 ab | 7,2 | 12,3 b | 0,4 b | 1,8 b | 2,2 b |
| | IP | 5,2 | 10,6 | 15,8 | 3,1 a | 4,9 | 8,0 a | 0,3 a | 1,4 a | 1,7 a |
| | EE | ns | ns | ns | 0,6 | ns | 1,1 | 0,01 | 0,09 | 0,10 |
| R5 | T | 10,2 a | 50,4 | 60,6 | 38,2 | 183,1 | 221,3 | 3,5 a | 36,6 | 40,1 |
| | I | 12,0 a | 53,2 | 65,3 | 45,8 | 179,8 | 225,5 | 3,6 a | 36,7 | 40,3 |
| | IF | 11,1 a | 61,5 | 72,6 | 39,9 | 204,2 | 244,2 | 5,1 b | 44,1 | 49,3 |
| | IP | 11,1 a | 50,5 | 61,7 | 35,2 | 192,1 | 227,3 | 4,7 b | 43,8 | 48,5 |
| | EE | ns | ns | ns | ns | ns | ns | 0,27 | ns | ns |

I: (n: 30) T: testigo; I: Inoculado *B. japonicum*; IF: Inoculado *B. japonicum* más factores Nod; IP: Inoculado *B. japonicum* más protectores bacterianos E.E: error estándar).

2: Rp: raíz principal 3: Rs: raíces secundarias

Tabla 2: Componentes de rendimiento del cultivo de soja de los distintos tratamientos (Letras de las columnas distintas indican diferencias significativas ($p \leq 0,05$)).

| Tratamiento ¹ | Nº de plantas/m ² | Nº de nudos planta ⁻¹ | Nº de vainas planta ⁻¹ | Nº de Granos planta ⁻¹ | Rendimiento (kg ha ⁻¹) |
|--------------------------|------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------------|
| T | 21 | 17,7 a | 78 | 134 | 4119 a |
| I | 21 | 18,0 ab | 85 | 139 | 4352 b |
| IF | 22 | 18,5 b | 84 | 138 | 4565 c |
| IP | 23 | 18,0 ab | 78 | 134 | 4262 b |
| EE | ns | 0,18 | ns | ns | 48,1 |

1: (T: testigo; I: Inoculado *B. japonicum*; IF: Inoculado *B. japonicum* más factores Nod; IP: Inoculado *B. japonicum* más protectores bacterianos; E.E: error estándar).

su capacidad de fijar nitrógeno y son vulnerables a las condiciones de estrés (11). Según estudios de evaluación de la capacidad simbiótica realizados en diferentes suelos de la región Pampeana, los rizobios naturalizados presentaron una alta capacidad para formar nódulos pero fueron disminuyendo la eficiencia en la FBN (14, 33).

En la Tabla 2 se presentan los valores de los componentes de rendimiento del cultivo de soja evaluados en madurez fisiológica para los distintos tratamientos. El rendimiento fue superior en los tratamientos inoculados con *B. japonicum*, mostrando incrementos entre 3,5% y 10,8 % en relación al testigo, correspondiendo el mayor porcentaje al tratamiento IF. Nápoles y col. (28) obtuvieron aumentos de rendimientos en el cultivo de soja mediante la aplicación de un inoculante a base de *B. japonicum* potenciado en la síntesis de factores Nod en el 66% de los sitios experimentales evaluados en diferentes regiones de Argentina, independientemente de la condición de suelo.

En ensayos realizados desde los años 1996 a 2002 en diferentes localidades de las provincias de Tucumán, Buenos Aires, Salta, Santa Fe, Córdoba, Paraná y Entre Ríos inoculando con cepas altamente eficientes y métodos de inoculación apropiados, se observó una respuesta positiva a la inoculación con incrementos de rendimiento que oscilaron desde 5 a 116 % (31). Sin embargo, en suelos con historia previa del cultivo de soja que presentaran poblaciones naturalizadas de 10^2 a 10^5 rizobios por gramo de suelo, la respuesta en el rendimiento podría ser nula o muy baja. No obstante, aún con incrementos de rendimiento mínimos esperados del 5 al 10%, la práctica de inoculación permitiría el ahorro del nitrógeno mineral del suelo frente a la extracción de los

cultivos, mejoraría la calidad del grano a través de una mayor concentración de proteínas y contribuiría a una economía anual en el uso de fertilizantes nitrogenados (18, 31).

CONCLUSIONES

Los patrones de nodulación obtenidos en el presente estudio correspondieron a los de un suelo con buena dotación de población naturalizada de rizobios. El número de nódulos sugeriría una adecuada nodulación de las plantas de soja. Sin embargo, los valores de peso de los nódulos para los distintos tratamientos fueron muy bajos en relación a los valores considerados óptimos.

La inoculación con *B. japonicum* más factores Nod presentó un efecto favorable sobre el desarrollo de las raíces de las plantas de soja bajo las condiciones físicas restrictivas del suelo.

La tecnología de la inoculación y las alternativas biotecnológicas como la adición de LCOs y el desarrollo de mejores protectores bacterianos permitirían incrementar el rendimiento del cultivo de soja atendiendo a las nuevas tendencias ambientales.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Ing. Ag. Horacio Imvinkelried, Cátedra de Cultivos Extensivos de la Facultad de Ciencias Agrarias (UNL) por su inestimable colaboración durante la realización del ensayo.

BIBIOGRAFIA

- 1.- **AOAC.** 1990. Official Methods of Analysis of the AOAC. 14th Ed. AOAC, Washington, D.C.
- 2.- **ATWELL, B.J.** 1993. Response of roots to mechanical impedance. *Environ. Exp. Bot.* 33 (1): 27-40.
- 3.- **BLAKE, G.R. & HARTGE, K.H.** 1986. Particle density. In: Klute, A (Ed.) *Methods of soil analysis: physical and mineralogical methods*. 2nded. Madison: American Society of Agronomy, p. 377-382.
- 4.- **BOTTA, G.F.; JORAJURIA, D.; BALBUENA, R. & ROSATTO, H.** 2004. Mechanical and cropping behaviour of direct drilled soil under different traffic intensities: effect of soybean (*Glycine max* L.) yields. *Soil Till. Res.* 78(1):53-78.
- 5.- **BRAY, R. & KURTZ, L.** 1945. Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- 6.- **CHOTTE, J.L.; SCHWARTZMANN, A.; BALLY, A. & MONROZIER, L.J.** 2002. Changes in bacterial communities and Azospirillum diversity in soil fractions of a tropical soil under 3 or 19 years of natural fallow. *Soil Biol. Biochem.* 34: 1083-1092.
- 7.- **DAKORA, F. D.** 2003. Defining new roles for plant and rhizobial molecules in sole and mixed plant cultures involving symbiotic legumes. *New Phytologist*, 158 (1) 39-49.
- 8.- **DI RIENZO, J.A.; CASANOVES, F.; BALZARINI, M.G.; GONZALEZ, L.; TABLADA, M. & ROBLEDO, C.W.** InfoStat versión 2013. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- 9.- **DÍAZ ZORITA, M. & FERNANDEZ CANIGIA, M.V.** 1999. Patrones de nodulación de soja en relación con propiedades de suelo bajo tres sistemas de labranza. *Rev. Fac. Agron. La Plata* 104 (1): 53-60.
- 10.- **DÍAZ-ZORITA, M.; DUARTE, G.A. & GROVE, J.H.** 2002. A review of no-till systems and soil management for sustainable crop production in the subhumid and semiarid Pampas of Argentina. *Soil Till. Res.* 65 (1):1-18.
- 11.- **FERNÁNDEZ CANIGIA, M.V.** 2003. Factores determinantes de la nodulación. Departamento de Investigación y Desarrollo Nitragin Argentina S.A. 46 pp.
- 12.- **FERRARIS, G.N.; COURETOT, L.A.; DIAZ ZORITA, M. & MOUSEGNE, F.** 2010. Tecnologías en el uso de inoculantes para soja: Efectos sobre la nodulación, el rendimiento y su interacción con prácticas de manejo. XXII Congreso Arg. Ciencia del Suelo, Rosario, Santa Fe, 2010.
- 13.- **FHER, W.R. & CAVINESS, C.E.** 1977. Stages of soybean development. *Cooperative Ext. Serv. Iowa State Univ. Spec. Rep.* 80.
- 14.- **GONZÁLEZ, N.; PERTICARI, A.; STEGMAN, B. & RODRIGUEZ CÁCERES, E.** 1997. Nutrición nitrogenada. En Giorda, L.M. y Baigorri, H.E.J. (Eds.) *El cultivo de la soja en Argentina*. INTA. Centro Regional Córdoba. EEA Marcos Juárez-EE Manfredi. Coordinación Subprograma Soja. p 187-198.
- 15 **GRZESIAK S.; HURA, T.; GRZESIAK, M.T. & PIEŃKOWSKI, S.** 1999. The impact of limited soil moisture and waterlogging stress conditions on morphological and anatomical root traits in maize (*Zea mays* L.) hybrids of different drought tolerance. *Acta Physiol.Plant.* 21:305-315.
- 16 **GRZESIAK, S.; GRZESIAK, M.Y.; FICLEK, W.; HURA, T. & STABRYŁA, J.** 2002. The impact of different soil moisture and soil compaction on the growth of triticale root system. *Physiol. Plant.* 24: 331-342.

- 17.- HEIDSTRA, R. & BISSELING, T. 1996. Nod factor-induced host responses and mechanisms of Nod factor perception. *New Phytol.* 133:25-43.
- 18.- HUNGRÍA, M. 2006. A importancia da fixacao biológica do nitrógeno na cultura da soja: uma historia de sucesso na América do Sul. 3º Congreso de Soja del Mercosur. Workshop de FBN. Rosario. p. 336-338.
- 19.- IJIMA, M. & KONO, Y. 1991. Inter specific differences of the root system structures of four cereal species as affected by soil compaction. *Jpn. J. Crop Sci.* 60: 130-138.
- 20.- IJIMA, M.; KONO, Y.; A. YAMAUCHI, A. & PARDALES, J.R. 1991. Effects of soil compactio on the development of rice and maize root system. *Environ. Exp. Bot.* 30: 333-342.
- 21.- INTA. 1991. Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. Carta de suelos de la República Argentina - Hoja 3160 -26 y 25 ESPERANZA-PILAR.
- 22.- KIDAJ, D.; WIELBO, J. & SKORUPSKA, A. 2012. Nod factors stimulate seed germination and promote growth and nodulation of pea and vetch under competitive conditions. *Microbiol. Res.* 167:144-150.
- 23.- LÁZARO, L.; RESSIA, J.; LETT, L.; MENDIVIL, G.; AGOSTINI, M.; DE PABLO, C. & BALBUENA, R. 2004. Efectos de los sistemas de labranza y la inoculación en soja en siembra tardía. *Agriscientia*, XXI (2):59-66.
- 24.- MAG. 1982. Toma de muestras y Determinaciones Analíticas en Suelos y Aguas. Santa Fe. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Dirección General de Ext. e Inv. Agropecuarias. Santa Fe. 152pp.
- 25.- MATERECHERA, S. A.; DEXTER, A.R. & ALSTON, A.M. 1991. Penetration of very strong soils by seedling roots of different plant species. *Plant and Soil*, 135: 31-41.
- 26.- MICUCCI, F. G; AMIGO, J.; LEDESMÁ, F. & DÍAZ-ZORITA, M. 2010. Aportes de tratamientos biológicos de semillas de soja (*Glycine max* L. Merr.) en lotes con antecedentes del cultivo en la Región del NOA. XXII Congreso Arg. Ciencia del Suelo, Rosario, Santa Fe, 2010.
- 27.- MONTERO, F.A. & SAGARDOY, M.A. 2003. Supervivencia de *Bradyrhizobium japonicum* sobre semilla de soja tratada sin fungicida, inoculante líquido y protector. IV Reunión Nac. Cient. Téc. Biología de Suelos- IV Encuentro de FBN, Las Termas de Río Hondo, Santiago del Estero, Argentina.
- 28.- NÁPOLES, M.C; GONZÁLEZ-ANTA, G.; CABRERA, J.C.; VARELA, M.; E. GUEVARA, E.; MEIRA, S.; NOGUE-RAS, F. & CRICCO, J. 2009. Influencia de inoculantes y factores edáficos en el rendimiento de la soja. *Cultivos Tropicales.* 30 (3): 19-22.
- 29.- OLDROYD, G.E. & DOWNIE, J.A. 2008. Coordinating nodule morphogenesis with rhizobial infection in legumes. *Annu Rev Plant Biol* 59:519-46.
- 30.- PERTICARI, A. 2005. Inoculación de calidad para un máximo aprovechamiento de la FBN. *Actas del Congreso Mundo Soja*, Buenos Aires (Argentina), p.121-126.
- 31.- PERTICARI, A.; ARIAS N.; BAIGORRI, H.; DE BATTISTA, J.J.; MONTECCHIA, M.; PACHECO BASURCO, J.C.; SIMONELLA, A.; TORESANI, S.; VENTIMIGLIA, L. & VICENTINI, R. 2003. Inoculación y fijación biológica de nitrógeno en el cultivo de soja. En: *El libro de la soja*. Ed. SEMA. Buenos Aires. p 69-76.

- 32.- PHILIPPOT, L. & GERMON, J.C. 2005. Contribution of bacterial to initial input and cycling of nitrogen in soils. En: Buscot, F. y Varma, A. (eds.). *Microorganisms in soils: roles in genesis and functions*, Springer, Nueva York, EEUU. p. 159-176.
- 33.- PIANATANIDA N.; BREZZONI, E.; TAU, J.; RIVERO, BRUTTI, L.; PACHECO BASURCO, J.C.; DIEGUEZ, R.N. & PERTICARI, A. 1991. Caracterización de poblaciones naturalizadas de *Bradyrhizobium japonicum* en el área de Marcos Juárez. Necesidad de reinocular el cultivo de soja. Primera Reunión Nac. Oleaginosas, Rosario, 1991.
- 34.- PIRES DA SILVA, A.; IMHOFF, S. & CORSI, M. 2003. Evaluation of soil compaction in an irrigated short duration grazing system. *Soil Till. Res.* 70 (1): 83-90.
- 35.- RACCA, R.W. & COLLINS, D.J. 2005. Bases fisiológicas para el manejo de la fijación biológica de nitrógeno en soja. Congreso Mundo Soja. Buenos Aires. p 111-120.
- 36.- RODRIGUEZ-NAVARRO, D.N; MARGARET OLIVER, I.; M. ALVAREDA CONTRERAS, M. & RUIZ-SAINZ, J.E. 2011. Soybean interactions with soil microbes, agronomical and molecular aspects. *Agron. Sustain. Dev.* 31 (1):173-190.
- 37.- SADRAS, V.O.; FERREIRO, M.; F. GUTHEIM, F. & KANTOLIC, A.G. 2000. Desarrollo fenológico y su respuesta a temperatura y fotoperíodo. En Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja. Editores: F. H. Andrade y V. O. Sadras. p 29-60.
- 38.- SCHULAMAN, H.R.M.; GISEL, A.A.; QUAEVLIEG, N.E.M.; BLOEMBERG, G.V.; LUGTENBERG, B.J. J. ; KIJNE, J.W.; POTRYKUS, I.; SPAINK, H.P. & SAUTTER, C. 1997. Chitin oligosaccharides can induce cortical cell division in roots of *Vicia sativa* when delivered by ballistic microtargeting. *Development.* 124: 4887-4895.
- 39.- SCHULTZE, M. & KONDOROSI, A. 1998. Regulation of symbiotic root nodule development. *Annu. Rev. Genet.* 32: 33-57.
- 40.- SOULEIMANOV, A.; PRITHIVIRAJ, B. & SMITH, D.L. 2002. The major Nod of *Bradyrhizobium japonicum* promotes early growth of soybean and corn. *J. Exp. Bot.* 53 (376): 1929-1934.
- 41.- TORESANI, S.; BODRERO, M. & ENRICO, J.M. 2007. Comportamiento de inoculantes para soja en la zona sur de la provincia de Santa Fe, Argentina. *Rev. Inv. Fac. Cs Agrarias. UNR.* XI: 23-29.
- 42.- VENTIMIGLIA, L.; CARTA, H.; RILLO, S. & RICHMOND, P. 2003. Sistema de inoculación en soja. En: Experimentación en campos de productores. Campaña 2002/2003. U.E.E.A. 9 de Julio. p131-135.
- 43.- VINCENT, J.M. 1975. Manual práctico de Rizobiología. Editorial Hemisferio Sur. Bs As. 74 pp.
- 44.- WALKEY, A. & BLACK, L. 1934. An examination of the dagthareff method for determining soil organic matter and proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci* 37: 27-38.
- 45.- ZEHR, J.P.; JENKINS, B.D.; SHORT, S.M. & STEWARD, G.F. 2003. Nitrogenase gene diversity and microbial community structure: a cross-system comparison. *Environ. Microbiol.* 5: 539-554.
- 46.- ZHANG, F. Y SMITH, D.L. 2001. Interorganismal signalling in suboptimum environments: the legume-rhizobia symbiosis. *Adv. Agron.* 76: 125-161.