

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO  
FACULTAD DE AGRONOMIA Y VETERINARIA**

“Trabajo final presentado para optar al Grado de  
Ingeniero Agrónomo”

**RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE SOJA (*Glycine max* (L.)  
Merr.) INOCULADA Y FERTILIZADA CON COBALTO Y  
MOLIBDENO**

**Alumna: Pozzi, Laura Paulina**

**D.N.I: 30966002**

**Directora: Fernandez, Elena M.**

**Río Cuarto – Córdoba**

**Mayo 2009**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO  
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA**

**CERTIFICADO DE APROBACIÓN**

Título del Trabajo Final: *Rendimiento del cultivo de soja (Glycine max (L.) Merr.) inoculada y fertilizada con cobalto y molibdeno*

Autor: **Laura P. Pozzi**

DNI: **30966002**

Directora: **Elena M. Fernandez**

**Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias del Jurado Evaluador:**

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**Fecha de Presentación:** \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

**Aprobado por Secretaría Académica:** \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
**Secretario Académico**

## AGRADECIMIENTOS

A mis padres Gloria y Ricardo, por su apoyo incondicional durante todos estos años, su cariño, esfuerzo y dedicación, a ellos les debo quien soy hoy.

A mis hermanos Lucia, Leonardo y Sebastián, a Roberto y a Marta, a mi abuela Nelly y a mis nonos Luís y Delia. A todos ellos porque siempre estuvieron a mi lado alentando cada paso de mi carrera.

A mis amigas y hermanas del alma, Meli, Angie y Vero, compañeras incondicionales, por haberme aguantado y apoyado cada vez que lo necesité. Simplemente por estar siempre junto a mí.

A mis grandes amigas Ani, Manu, Sara, Martita, Ivana y María Inés.

A mis amigos Cardo, Chivo y Jesús.

A los buenos amigos que hice durante estos años de carrera, Mana, Guille, Mariano Lau, Vale y Caro.

A dos grandes personas, Matias y Danilo Zallio por su colaboración desinteresada en este trabajo.

A mi profesora y directora de tesis, la Ingeniera Elena Fernández, por su dedicación.

A todas aquellas personas que de alguna manera u otra han compartido esta etapa de mi vida.

A todos ustedes, simplemente GRACIAS por haber ayudado a mi crecimiento personal y formación profesional.

## ÍNDICE DE TEXTO

I. RESUMEN .....	VI
II. SUMMARY .....	VII
III. INTRODUCCIÓN .....	1
i .HIPOTESIS .....	6
ii. OBJETIVOS GENERALES .....	6
iii. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
IV. MATERIALES Y MÉTODOS .....	7
i. CARACTERIZACIÓN DEL SITIO .....	7
ii. EXPERIMENTO .....	8
V. RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	10
i. DETERMINACIONES REALIZADAS Y ANALIZADAS .....	10
1. PROPIEDADES FÍSICO QUÍMICAS DEL SUELO .....	10
2. BALANCE HÍDRICO .....	10
3. NÚMERO DE PLANTAS POR SUPERFICIE.....	11
4. NODULACIÓN .....	12
5. MATERIA SECA .....	15
6. COMPONENTES DEL RENDIMIENTO.....	16
7. RENDIMIENTO .....	18
8. PORCENTAJE DE NITRÓGENO Y PROTEÍNA EN GRANO.....	19
ii. CONSIDERACIONES FINALES .....	20
VI. CONCLUSIONES .....	21
VII. BIBLIOGRAFÍA .....	22
VIII. ANEXO .....	25

## ÍNDICE DE CUADROS

**Cuadro 1** Características de un horizonte Hapludol típico, franco limoso de la región Sur de Santa Fe. (7)

**Cuadro 2** Resultados del análisis de suelo. (10)

**Cuadro 3** Número y peso seco de nódulos en raíz principal, individual y por planta, en V4-V5, en los tratamientos Inoculado y No Inoculado. (12)

**Cuadro 4** Número y peso seco de nódulos en raíz principal, individual y por planta, y peso seco de nódulos en las raíces secundarias, en R5, en los tratamientos Inoculado y No Inoculado. (13)

**Cuadro 5** Peso seco de biomasa aérea en el estado fenológico R5, en los tratamientos Inoculado y No Inoculado. (15)

**Cuadro 6** Rendimiento en los tratamientos Inoculado y No Inoculado. (18)

**Cuadro 7** Porcentaje de nitrógeno y proteína en ambos tratamientos Inoculado y No Inoculado. (19)

**Cuadro 1 (Anexo)** Componentes del rendimiento en los tratamientos Inoculado y No Inoculado. (24)

## ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1** Balance hídrico durante el ciclo del cultivo; evaluación del agua útil (mm) disponible para el cultivo. (11)

**Figura 2** Plantas emergidas por hectárea en tratamientos Inoculado y No Inoculado. (12)

**Figura 3** Peso seco de nódulos en la raíz principal y las secundarias, en R5, en los tratamientos Inoculado y No Inoculado. (14)

**Figura 4** Número de frutos por planta obtenidos en los tratamientos Inoculado y No Inoculado. (16)

**Figura 5** Granos por vaina obtenidos en ambos tratamientos Inoculado y No Inoculado. (16)

**Figura 6** Peso de 1000 granos obtenidos en ambos tratamientos Inoculado y No Inoculado. (17)

**Figura 7** Número de granos por superficie ( $m^2$ ) obtenidos en ambos tratamientos Inoculado y No Inoculado. (17)

**Figura 8** Relación entre el número de granos por superficie y el rendimiento ( $kg\ ha^{-1}$ ) para la totalidad del ensayo. (19)

**Figura 9** Relación entre el peso de 1000 granos y el rendimiento ( $kg\ ha^{-1}$ ) para la totalidad del ensayo. (19)

## I. RESUMEN

En los suelos de la Región Pampeana, el nutriente que condiciona principalmente el crecimiento y rendimiento de los cultivos es el nitrógeno (N). La soja, como otras leguminosas, aprovecha el N de la atmósfera a través de la fijación biológica (FBN) con la intermediación de la bacteria *Bradyrhizobium japonicum*. Este proceso requiere, además de los fotosintatos provistos por el cultivo, de micronutrientes esenciales molibdeno (Mo) y cobalto (Co) entre otros. El objetivo de este trabajo fue evaluar la respuesta del cultivo de soja a la inoculación con *Bradyrhizobium japonicum* y la adición de Co y Mo. Para ello se realizó un ensayo en Venado Tuerto, Provincia de Santa Fé, en el establecimiento “La Tona”. Se utilizó un diseño experimental de dos bloques con 5 repeticiones. El tratamiento consistió en la inoculación con un inoculante + Co y Mo (Rizopackmicro®). Durante el ciclo del cultivo se evaluó la nodulación (número y peso seco de nódulos en raíz principal y secundaria) y la materia seca como indicador de crecimiento del cultivo. La cosecha se realizó a mano y se evaluaron los componentes del rendimiento. Los resultados demostraron que –con las condiciones climáticas imperantes durante la campaña- no hubo diferencias significativas entre el tratamiento Inoculado y el No Inoculado en la nodulación, biomasa aérea y componentes de rendimiento (número de semillas/fruto, peso de los granos y número de granos/superficie). Aunque, hubo un aumento no significativo de 277 kg ha<sup>-1</sup> del rendimiento en el tratamiento Inoculado debido, posiblemente, al mayor número de plantas por hectárea.

**Palabras claves:** *Soja – nitrógeno – fijación biológica del nitrógeno – inoculante + micronutrientes Co y Mo – nodulación.*

## II. SUMMARY

In the soils of the Pampean Region, the nutrient that affects mainly the growth and yield of crops is nitrogen (N). Soybeans, like other legumes, used the N from the atmospheric through biological fixation (FBN) with the intermediation of the bacterium *Bradyrhizobium japonicum*. This process requires, in addition those provided by photosynthesis cultivation of essential micronutrients molybdenum (Mo) and cobalt (Co), among others. The aim of this study was to evaluate the response of the soybean crop to inoculation with *Bradyrhizobium japonicum* and the addition of Co and Mo. This experience was established in Venado Tuerto, Province of Santa Fe, in the "La Tona". We used an experimental design of two blocks with 5 replications. The treatment was inoculated with an inoculant + Co and Mo (Rizopackmicro). During the crop cycle was assessed nodulation (number and dry weight of root nodules, in primary and secondary root) and dry matter as an indicator of crop growth. The harvest was done by hand and measured the yield components. All results were analyzed by ANOVA and averages compared with Duncan's test at 5%. The results showed that the climatic conditions prevailing during the campaign, there were no significant differences between treatments inoculated and non inoculated on nodulation, biomass and yield components (number of seeds/fruit, weight of grains and number of grains/ area). Though, there was an increase not significant of 277 ka.ha<sup>-1</sup> yield in the inoculated treatments due possibly to the greater number of plants per hectare.

**Keywords:** *Soybean – nitrogen – biological nitrogen fixation – inoculant + micronutrients Co and Mo – nodulation.*

### III.INTRODUCCIÓN

La producción de soja ha crecido en nuestro país en forma ininterrumpida desde que comenzó su difusión comercial a fines de la década del '60. En el año 1970, la soja era aún un cultivo incipiente, con apenas 36.000 ha cosechadas y producción de 59.000 tn. A partir de ese año, comienza su expansión y llega en el año 2006 a producir más de 47 millones de toneladas. Este incremento en la producción se debió fundamentalmente a un aumento en la superficie destinada al cultivo que alcanza valores próximos a los 16 millones de ha, mientras que los aumentos en los rendimientos fueron más modestos entre 29 y 28 qq en 2006 y 2007, respectivamente (SAGPyA, 2009).

En los suelos de la región Pampeana, el nutriente que en mayor medida condiciona el crecimiento y rendimientos de los cultivos es el nitrógeno. Los suelos deben estar bien provisto de este nutriente, tanto en cantidad como en oportunidad para asegurar un óptimo estado fisiológico del cultivo durante los periodos críticos, momentos en los cuales se define el rendimiento de los mismos (Echeverría y Sainz Rozas, 2006).

#### ***Nitrógeno en soja***

El nitrógeno es el nutriente más importante entre los esenciales para los cultivos, por su rol en los sistemas biológicos, la complejidad de su ciclo y su participación en los sistemas de producción. Es el elemento que más comúnmente limita la producción de los cultivos de granos (Maddonni *et al.*, 2004).

La soja es un cultivo proteico por excelencia, necesita acumular grandes cantidades de nitrógeno para su normal crecimiento (Ferraris y Couretot, 2006). Las plantas que sufren deficiencias nitrogenadas maduran antes y frecuentemente se reduce la etapa de crecimiento vegetativo (Mengel y Kirkby, 2000). Deficiencias de nitrógeno reducen el área foliar del cultivo, principalmente por disminuciones en el tamaño, debido a la menor tasa de expansión. En la soja se afecta el número de las hojas por reducción de las ramificaciones (Andrade *et al.*, 2000). Un adecuado abastecimiento de nitrógeno se traduce en elevadas tasas de división y diferenciación celular y en una alta actividad fotosintética, lo que favorece una elevada eficiencia de interceptación y de conversión de la radiación interceptada por los cultivos en biomasa vegetativa y/o reproductiva (Echeverría y Sainz Rozas, 2006). La disponibilidad de nitrógeno puede modificar la calidad química de los granos, aunque este efecto es relativamente pequeño si se los compara con el impacto que tiene sobre el rendimiento y sus componentes numéricos (Imsande y Schmidt citado por Kantolic *et al.*, 2004).

La soja puede asimilar nitrógeno del aire en simbiosis con bacterias específicas, o del suelo, ya sea natural o aportado por fertilizantes.

El nitrógeno del suelo puede ser absorbido como formas fijas o combinadas químicamente, sea  $\text{NO}_3^-$  o  $\text{NH}_4^+$ , principalmente la primera forma se trasloca a las hojas donde es reducido a N-aminado a través del sistema de la enzima nitrato reductasa y energía proveniente de la fotosíntesis y posteriormente se incorpora a los aminoácidos que son utilizados para formar proteínas en las hojas o trasladados a otros puntos de la planta donde son utilizados con el mismo fin (Brun, 1983).

La fijación biológica del nitrógeno (FBN) es el proceso por el cual se fija nitrógeno desde la forma molecular estéril e inorgánica de la atmósfera, convirtiéndose a la forma orgánica, a través de microorganismos del suelo (Mengel y Kirkby, 2000). El cultivo de soja aprovecha el nitrógeno proveniente de la FBN debido a la asociación con la bacteria *Bradyrhizobium japonicum* (Peticari, 2003). La provisión de  $\text{N}_2$  a la planta mediante la simbiosis con bacterias de la familia *Rhizobiaceae* incluye dos procesos principales: el de infección y nodulación y el de la FBN (Maddonni *et al.*, 2004).

### ***Fijación de nitrógeno***

La cantidad de nitrógeno fijado de la atmósfera depende de varios factores, y las estimaciones realizadas oscilan en un amplio rango entre 30 y 300  $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , representando un 30-80 % del nitrógeno requerido por la planta (Gutiérrez Boem y Scheiner, 2006).

En condiciones ideales de expresión de la simbiosis, la nodulación comienza a visualizarse entre los 3 a 5 días y la actividad de fijación desde los 10 a 15 días. Los valores de N fijado son bajos en esos estadios hasta comienzo de floración (Peticari, 2006). Los nódulos retienen entre 30 a 50% del nitrógeno atmosférico fijado y la nutrición nitrogenada del cultivo está ligada principalmente a la absorción de nitratos desde el suelo (Wilson y Umbreit citados por Maddonni *et al.*, 2004). Desde la floración se registra la mayor actividad de los nódulos, las tasas máximas de fijación se sitúan entre los estados reproductivos R5 y R6, luego de esta etapa cae en forma abrupta (Peticari, 2003).

La evolución de la nodulación está relacionada con la tasa de acumulación de carbono (C), por lo tanto, las limitaciones nutricionales que afectan el crecimiento del cultivo, también influyen en la tasa de acumulación de nitrógeno (García citado por Peticari, 2006). Si no hay limitaciones ambientales, se ha observado que en los estados vegetativos V4 y V5, las plantas cuentan con 10 a 12 nódulos por planta, ubicados en la parte superior de la raíz primaria, con un peso por planta superior a 80 mg y un peso seco individual de los nódulos de 7 a 8 mg. En los estados reproductivos R5 y R6, una planta con adecuada nodulación presenta 40 a 50 nódulos, de los cuales por lo menos 12 se encuentran en la parte superior de la raíz primaria, son de tamaño mediano a grande (4 a 6 mm de diámetro). El peso seco óptimo de los nódulos por planta ronda los 800 mg y el peso individual de nódulo de 7 a 9 mg. En todos los casos la coloración interna de la mayoría de los nódulos es roja o

rosada. Cuando el nódulo se deteriora por senescencia natural o motivada por algún estrés finaliza la FBN, se visualiza a través del cambio de la coloración interna; se torna verde por la presencia de legcoleglobina y en el estado final previo a la degradación es amarronado por la presencia de legmethemoglobina (Peticari, 2006).

La FBN, es un proceso energéticamente costoso, se consume entre 2 a 3 veces más energía para obtener 1 gr de N fijado del que se necesitaría para obtener 1 gr de N desde el suelo en forma de nitratos (Peticari, 2003). Se estima que requiere entre 6-12 gr de carbohidratos por gramo de N fijado, incluyendo los requerimientos de los nódulos para crecer. Como los asimilados para sostener la fijación son provistos por la planta, es común observar una estrecha relación entre el crecimiento y la FBN, ya que ambos procesos dependen de la fotosíntesis. Este proceso es fuertemente dependiente de la nutrición nitrogenada de la planta. Así es que, cualquier factor que limite el crecimiento va a restringir la fijación y la relación inversa también es negativa porque provocar una deficiencia de nitrógeno (Gutiérrez Boem y Scheiner, 2006).

El proceso de FBN requiere, además de los fotosintatos provistos por el cultivo, de elementos como Fósforo (P), Molibdeno (Mo), Cobalto (Co) y Hierro (Fe). Está establecido que el Co es esencial para la fijación simbiótica del  $N_2$  y crecimiento de los rizobios. Estudios del efecto del Co sobre las bacterias simbióticas fijadoras de  $N_2$  mostraron que al incrementar el suministro de Co aumentaba el crecimiento de las mismas, la fijación de  $N_2$  y la formación de leghemoglobina en el rizobio. Se concluye que los efectos del Co en la fijación de  $N_2$  parece ser mediado por el crecimiento rizobial (Mengel y Kirkby, 2000). La concentración total de Mo en los suelos agrícolas oscila entre 0,07 y 5  $mg.kg^{-1}$ . Se lo encuentra mayormente adsorbido a óxidos de Fe. En la solución del suelo, la especie predominante a pH mayor a 4,3 es el  $MoO_4^{2-}$ . Este nutriente forma parte de la enzima nitrogenasa, que cataliza la reducción del N atmosférico en la simbiosis soja-*Bradyrhizobium japonicum* (Torri *et al.*, 2006).

Entre los otros factores ambientales que pueden disminuir la FBN, podemos citar al exceso o al déficit de agua, la salinidad, acidez de los suelos, la presencia de nitratos (Gutiérrez Boem y Scheiner, 2006), el alto contenido de materia orgánica en el suelo (Melgar *et al.*, 2006) y la alta temperatura. La fijación de nitrógeno es mucho más sensible a la sequía que la fotosíntesis, lo que sugiere que el efecto del estrés hídrico no se debe únicamente a una reducción en la provisión de asimilados a los nódulos por un menor crecimiento del cultivo, sino también a un efecto directo sobre su metabolismo. La sequía y las altas temperaturas en el suelo disminuyen la supervivencia de los rizobios en el suelo que impide el establecimiento de los nódulos. También, estas temperaturas reducen la infección de las raíces, la formación y la actividad de los nódulos ya formados. En suelos ácidos ( $pH < 5$ ), el bajo pH no solo disminuye la infección y la formación de nódulos, sino que también afecta la supervivencia

de los rizobios y, en general, son deficientes en Mo. A medida que aumenta la disponibilidad de N en el suelo disminuyen la formación de nuevos nódulos y la actividad de los ya formados (Gutiérrez Boem, 2008). Sin embargo, en general las plantas que reciben mayor proporción de N de la fijación no sufren reducciones del rendimiento comparadas con las suplementadas con N mineral (Madonni *et al.*, 2004). Además, el aporte de la fijación simbiótica puede aumentar significativamente el porcentaje de proteína (Imsande y Schmidt citado por Kantolic *et al.*, 2004).

### ***Inoculación***

La práctica más recomendable para lograr que la FBN sea una fuente importante de N para el cultivo es la inoculación de la semilla con cepas de *Bradyrhizobium japonicum* incorporadas por medio de inoculantes de alta calidad, a la cual se le puede agregar micronutrientes esenciales para el proceso como Co y Mo (Ferraris y Couretot, 2006).

Para evaluar el resultado de la inoculación, según Maddonni *et al.* (2004), se puede recurrir a determinaciones microbiológicas y agronómicas simples que consisten en evaluar:

1- Nodulación temprana: Como indicadores de una abundante cantidad de bacterias en la zona de desarrollo radical desde los primeros estadios de crecimiento. Cuanto más temprana sea la nodulación mayor será el tiempo total de fijación. Conviene recordar que el cese de la fijación está determinado por la competencia entre los nódulos y los frutos en desarrollo por los fotosintatos.

2- Máxima nodulación: Como indicadora de la cantidad de fijación tiene menos importancia el número de nódulos que su peso seco. La distribución de los nódulos entre la raíz principal y secundarias esta relacionada con el momento en que se produjo la nodulación (cuanto mayor sea la proporción de nódulos en la raíz principal más temprana habrá sido la formación de nódulos).

3- Aspecto del cultivo: Un cultivo correctamente inoculado comparado con uno no inoculado, puede brindar una orientación de la provisión de nitrógeno de ambos. En un suelo con escasa disponibilidad de  $\text{NO}_3^-$  el retraso en la nodulación se puede manifestar como clorosis en el cultivo en las primeras fases del ciclo, síntoma que se prolongara durante todo el ciclo si el cultivo no logra desarrollar nódulos. Por otra parte, en suelos con alta provisión de  $\text{NO}_3^-$  probablemente el cultivo no manifieste clorosis, pero debido a la absorción de  $\text{NO}_3^-$  se interrumpe la fijación unas dos o tres semanas antes, por lo que es factible observar que el cultivo no nodulado tienda a completar su ciclo en forma más temprana que el nodulado.

4- Rendimiento: Comparando el rendimiento de cultivos inoculados con no inoculados es factible observar diferencias en el caso de que el cultivo inoculado haya nodulado en forma más temprana, en mayor cantidad (mayor peso seco de nódulos), o que

las cepas mas eficientes del inoculante hayan logrado producir una elevada proporción del total de nódulos formados.

En una experiencia, donde se trabajó con distintas fuentes de N (nitratos, urea y FBN) se registraron aportes de 600 mg de N fijación por planta, durante el llenado de granos. El autor concluyó que en presencia de niveles no inhibitorios de N inorgánico (a partir de 250 kg.ha<sup>-1</sup> ya comienza a disminuir el nitrógeno aportado por la FBN), la rápida fijación de N<sub>2</sub> durante el llenado de granos mejora la eficiencia de la fotosíntesis de la soja y por este motivo se espera una mayor acumulación de materia seca con esta fuente de N (Peticari, 2006).

Se han realizado experiencias con inoculante más el agregado de micronutrientes como Co y Mo en diferentes regiones del país sobre un suelo Argiudol típico y en siembra directa. Ferraris y Couretot (2006), en Pergamino (Provincia de Buenos Aires), en un lote con más de 20 años de agricultura, observaron un efecto positivo sobre la nodulación; en V3 –V4 una infectividad del 100 % de las plantas y un aumento en el peso de los nódulos, y en R3 un incremento de la nodulación evaluada como el número medio de nódulos efectivos en los 10 cm superiores de la raíz principal. Además, observaron un aumento de 5 qq.ha<sup>-1</sup> con respecto al testigo, aunque esta diferencia no fue significativa. Fontaneto *et al.* (2006), en Rafaela (Centro de Santa Fe), encontraron un aumento en la cantidad de nódulos por planta, tanto en V4 como en R3, y del rendimiento (9,5%) con respecto al testigo.

Según Maddonni *et al.* (2004), comparando el rendimiento de cultivos inoculados con los no inoculados, es factible observar que se produzcan diferencias en el caso de que el cultivo inoculado haya nodulado en forma más temprana y en mayor cantidad. En esta experiencia, de esta teoría, sólo se comprobó un mayor rendimiento a favor del tratamiento inoculado con micronutrientes Co y Mo.

No existe información de la aplicación de inoculante más micronutrientes sobre la FBN y crecimiento de cultivos en un suelo Hapludol típico, en la región de Venado Tuerto.

### **III.i. Hipótesis**

La inoculación con *Bradyrhizobium japonicum* y el agregado de micronutrientes esenciales para la fijación biológica de nitrógeno, tales como cobalto y molibdeno, incrementará los rendimientos del cultivo de soja, en un sistema de agricultura continua.

### **III.ii. Objetivo General**

Evaluar la respuesta del cultivo de soja a la inoculación con *Bradyrhizobium japonicum* y micronutrientes esenciales para la fijación biológica de nitrógeno (cobalto y molibdeno), en un sistema de agricultura continua en la región de Venado Tuerto, Provincia de Santa Fé.

### **III.iii. Objetivos Específicos**

- Evaluar la nodulación de un cultivo de soja en respuesta a la inoculación con *Bradyrhizobium japonicum* y la fertilización con cobalto y molibdeno.
- Evaluar el crecimiento y la producción del cultivo de soja en respuesta a la inoculación con *Bradyrhizobium japonicum* y la fertilización con cobalto y molibdeno.

## **IV. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **VI.i. Caracterización del sitio**

#### **IV.i.1. Clima**

El clima de la región de Venado Tuerto – Santa Fé, presenta un régimen pluviométrico de tipo monzónico, siendo la época más lluviosa el verano y con menos precipitaciones en el invierno, con un promedio anual de 946 mm. Con respecto al régimen térmico el área pertenece a las de clima templado con temperaturas extremas no muy marcadas, es decir, con veranos e inviernos suaves, con una temperatura media anual de 16,4 °C. La época de heladas comienza a fines de marzo y finaliza a principios de septiembre, siendo el período libre de heladas de 270 días, aproximadamente según la carta de suelos de la República Argentina elaborada por el INTA (1983).

#### **IV.i.2. Fisiografía**

El sitio experimental, presenta un relieve normal con pendientes que no sobrepasan el 1 %, el suelo pertenece a la Serie Santa Isabel, clasificado como Hapludol típico, franca limosa fina, mixta, térmica y de acuerdo a su Capacidad de Uso como I-2 según la Carta de Suelos de la República Argentina elaborada por el INTA (1983).

#### **IV.i.3. Descripción del perfil de suelo**

##### Datos analíticos

En el Cuadro 1 se describen las características de los horizontes de un suelo típico de la región Sur de Santa Fe.

Cuadro 1. Características de un horizonte Hapludol típico, franco limoso de la región Sur de Santa Fe.

Horizonte	Ap	A1	B2	B3	C
Profundidad de la muestra (cm)	0-20	20-36	36-67	67-98	98-145
Materia Orgánica (%)	2,20	1,56	1,01	6,36	0,2
Arcilla (%)	16	23,9	21,7	16,8	15,8
Limo (%)	43,1	39,0	39,5	43,0	42,4
Arena (%)	39,3	35,3	37,0	37,7	38,9
Equivalente de humedad (%)	16,5	21,7	18,2	16,5	14,5
pH en pasta	5,9	6,1	6,2	6,7	7,0
pH en agua 1:2,5	6,6	6,9	7,0	7,6	8,0

### Descripción del perfil

**Ap (0-20):** Pardo muy oscuro en húmedo y pardo grisáceo en seco; franco; estructura granular fina débil; muy friable; límite inferior abrupto, suave.

**A1 (20-36):** Pardo oscuro a pardo grisáceo muy oscuro en húmedo; franco; estructura granular fina débil; muy friable; límite inferior claro, suave.

**B2 (36-67):** Pardo a pardo oscuro en húmedo y pardo en seco; franco; estructura en prismas gruesos y medios débiles; firme; límite inferior difuso, ondulado.

**B3 (67-98):** Pardo a pardo oscuro en húmedo y pardo en seco; franco; estructura en bloques subangulares medios; débiles; friable; límite inferior difuso.

**C (98-145 a +):** Pardo en húmedo y pardo claro en seco; franco; masivo; suelto.

## **IV.ii. Experimento**

### **IV.ii.1. Condiciones experimentales**

La experiencia se realizó en un establecimiento ubicado a 5 km al sureste de la ciudad de Venado Tuerto, Dpto. General López, Provincia de Santa Fé, perteneciente al señor Carlos Zallio. El cultivo antecesor sembrado fue maíz.

La siembra se realizó en el 22 de noviembre de 2006, en hileras a 52,5 cm, con una densidad de 28 granos.m<sup>-1</sup>. En esa operación se realizó una fertilización con Fosfato monoamónico (70 kg.ha<sup>-1</sup>) y Sulfato de amonio (20 kg ha<sup>-1</sup>) para elevar los valores de P y S disponibles en el suelo, y así favorecer el desarrollo del cultivo.

Se utilizó un diseño de dos bloques con 5 repeticiones, la superficie de cada bloque fue de 40 m de ancho por 780 m de largo, haciendo así una superficie de 31000 m<sup>2</sup>.

El tratamiento fue la inoculación con un inoculante comercial en base a *Bradyrhizobium japonicum* y suplementado con cobalto-molibdeno (Rizopack micro, de Rizobacter S.A. Pergamino, Argentina) como se explicita a continuación:

T1: Testigo sin inocular.

T2: Inoculante (5 x 10<sup>9</sup> bacterias.ml<sup>-1</sup>) + cobalto y molibdeno (1,03% Co, 10,25% Mo).

La inoculación fue realizada al momento de la siembra, con una dosis de Rizopack micro de 385 ml cada 100 kg de semillas.

### **IV.ii.2. Determinaciones realizadas**

*En el clima:* Se registraron las precipitaciones diarias durante el ciclo del cultivo.

*En el suelo:* Se realizaron análisis de suelo previo a la siembra para evaluar el contenido de Materia Orgánica (MO), N, P y S a 0 – 20cm.

*En el cultivo:*

Durante el ciclo se tomaron 5 muestras de  $\frac{1}{4}$  m<sup>2</sup>, en las que se evaluó:

- N° de plantas emergidas por hectárea.
- Fechas fenológicas en: V4 - V5, R5 y R7.
- Tiempo a cubrir el surco
- Materia seca por planta en las etapas fonológicas R5 y R7, se tomó una muestra de 5 plantas por tratamiento, se separaron los órganos presentes y secaron en estufa de circulación de aire forzado a 100 °C hasta peso constante.
- Nodulación en la etapa fenológica V4-V5 y R5. Se realizó número y peso seco de nódulos en raíz principal y secundarias.

A cosecha se tomaron 5 muestras de 1 m<sup>2</sup>, en las que se evaluó:

- Número de plantas por hectárea.
- Componentes del rendimiento: número de frutos por planta, semillas por frutos (sub-muestra de 20 frutos) y peso de 1000 semillas (2 sub- muestras).
- Contenido de proteína y nitrógeno en los granos (Malavolta *et al.*, 1989).

#### **IV.ii.3. Análisis de datos**

Los resultados fueron analizados mediante ANAVA y las medias comparadas con el test de Duncan al 5% mediante el uso del programa InfoStat, versión 2007.

## **V. RESULTADOS Y DISCUSIONES**

### **V.i. Determinaciones realizadas y analizadas**

#### **V.i.1. Propiedades físico químicas del suelo**

Previo a la siembra, se realizó un análisis de suelo. La información solicitada fue la siguiente: Fósforo (P) disponible, Nitrógeno de Nitratos (N-NO<sub>3</sub>), Azufre de Sulfatos (S-SO<sub>4</sub>), Materia Orgánica (%) y Carbono orgánico (Ct%) y pH. Los resultados pueden observarse en el cuadro 2.

Cuadro 2: Resultados del análisis de suelo.

<u>Variable</u>	<u>nivel</u>
P disponible	9,1 ppm
N-NO <sub>3</sub>	23,8 ppm
S-SO <sub>4</sub>	8 ppm
Materia Orgánica	2,29%
C orgánico	1,33%
pH	6,28

Los valores iniciales de nitrógeno son bajos (~13 kg de N.ha<sup>-1</sup>), que no afectan significativamente la fijación biológica de nitrógeno (FBN), pues en grandes cantidades tendría un efecto negativo sobre la nodulación (Scheiner, 2000).

El nivel de fósforo es bajo (Cuadro 2). Investigaciones realizadas en el INTA, universidades y grupo de productores y profesionales en numerosos sitios de la región Pampeana indican que los niveles de P disponible en el suelo para el cultivo de soja deberían ubicarse por encima de los 20-25 ppm (García, 2001).

El nivel de azufre es bajo. La necesidad de fertilización con S se recomienda cuando los niveles extractables de S-SO<sub>4</sub> son inferiores a 10 ppm (Díaz-Zorita, 2003).

La materia orgánica es un indicador de la calidad del suelo, ya que incide directamente sobre propiedades edáficas, como estructura y disponibilidad de carbono y nitrógeno. Los valores medios, mínimos y máximos de materia orgánica para suelos del Sur de Santa Fe son 3.02; 2.23 y 3.65, respectivamente (Silva Rossi, 2004). Por lo tanto, los valores de materia orgánica en este análisis corresponden a un nivel medio.

Estas deficiencias de P y S se corrigieron con el agregado de fertilizantes.

#### **V.i.2. Balance hídrico**

La sensibilidad del cultivo de soja a un estrés hídrico, en distintos subperíodos, ha sido ampliamente estudiada. Está establecido un grado de sensibilidad creciente del

cultivo considerando la etapa vegetativa, reproductiva temprana y reproductiva tardía (Dardanelli y Andriani, 2003).

Se registraron las precipitaciones diarias y con ellas se confeccionó un balance hídrico según el método propuesto por Gil (1998). Como se observa en la figura 1 no se produjeron déficit hídricos durante el ciclo del cultivo, manteniéndose la disponibilidad por encima del umbral crítico del 50% de agua útil para el suelo estudiado. Las barras verticales indican el comienzo y el fin del período crítico R3 y R5 según Kantolic (2003).

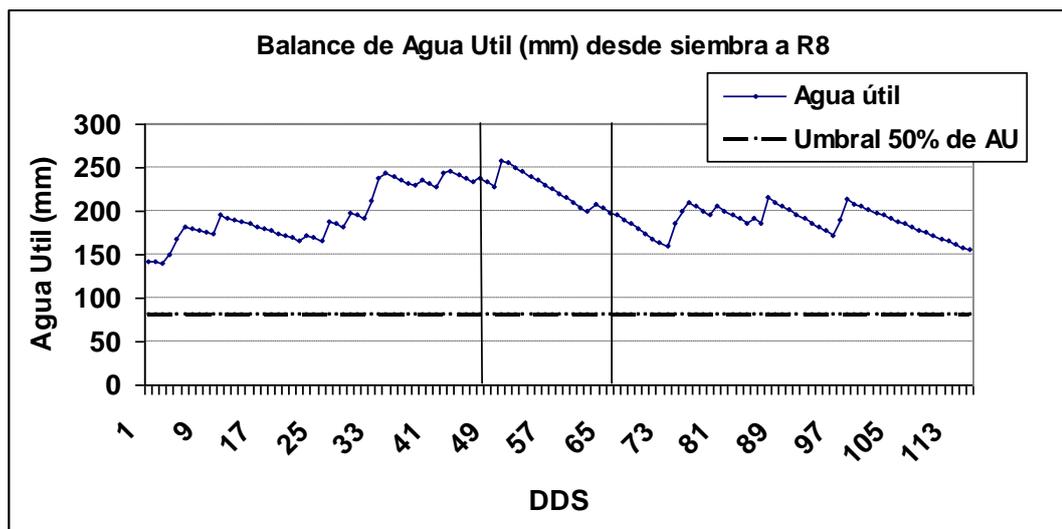


Figura 1: Balance hídrico durante el ciclo del cultivo; evolución del agua útil (mm) disponible para el cultivo.

*Balance hídrico según Gil (1998). Días después de siembra (DDS).*

### **V.i.3. Número de plantas emergidas por superficie**

El principal efecto de la densidad de siembra es el de condicionar el tamaño del Índice de Área Foliar (IAF) y, de esta forma, modificar la tasa de crecimiento del cultivo a lo largo del ciclo. Si por alguna razón, un cultivo sembrado a una determinada densidad genera un IAF tan bajo que no logra superar el IAF crítico durante la fructificación, no podrá maximizar el rendimiento (Kantolic, 2008 b).

En esta experiencia se midieron plantas emergidas por hectárea y los resultados obtenidos fueron 449280 plantas por ha<sup>-1</sup> para el tratamiento Inoculado y 503040 plantas por ha<sup>-1</sup> para No Inoculado, estos valores corresponden a un 83,5% y 93,5% de emergencia, respectivamente.

El valor obtenido muestra una diferencia del 10% entre ambos tratamientos a favor de No Inoculado, como puede verse en la figura 2. Considerándose esta diferencia no relevante debido a una compensación en el número de ramas fértiles en las menores densidades. Kantolic (2008 b) sugiere que densidades mayores a 25 plantas por metro no

generan cambios negativos en el rendimiento para situaciones de no restricción hídrica en el cultivo.

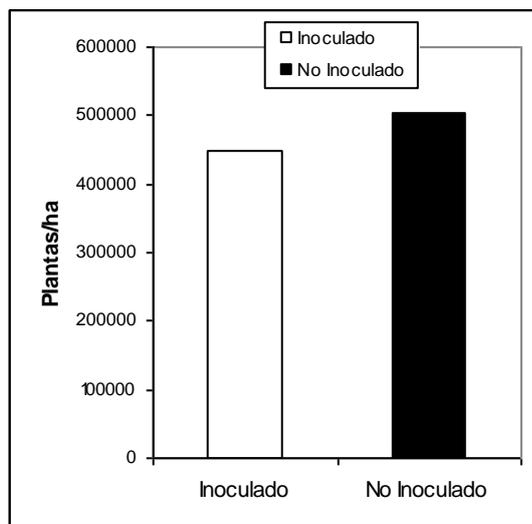


Figura 2: Plantas emergidas por hectárea del cultivo de soja en tratamiento Inoculado y No Inoculado.

#### **V.i.4.Nodulación**

##### Estado fenológico V4-V5 (23/12/2006)

El estado V4-V5 se caracteriza por tener 4-5 nudos con hojas totalmente desarrolladas (Fehr y Caviness, 1977).

El resultado del conteo de nódulos en la raíz principal y su peso seco -expresado en miligramos- no presentó diferencias significativas entre tratamientos y alto coeficiente de variación (CV) (Cuadro 3). Los valores registrados del número son inferiores a los indicados por Peticari (2003) (5 a 6 vs 10-12), pero con mayor peso individual (8-11 mg vs 7 a 8 mg) en ambos tratamientos.

Cuadro 3: Número y peso seco de nódulos en raíz principal, individual y por planta del cultivo de soja, en V4-V5, en los tratamientos Inoculado y No Inoculado.

Tratamiento	Nódulos en V4-V5 en la raíz principal		
	Número de nódulos por planta	Peso individual (mg)	Peso total por planta (mg)
Inoculado	6	8	48
No Inoculado	5	11	55
Valor p	0,4408	0,3434	0,4759
CV (%)	33,04	58,67	78,40

*En columnas, letras distintas indican diferencias significativas al 5% de probabilidad según prueba Duncan (Infostat, 2007). CV: Coeficiente de variación.*

El cuadro 3 muestra que no existen diferencias entre tratamientos de número y peso seco de nódulos en raíz primaria en el estadio fenológico V4-V5, siendo los valores promedios similares en ambos casos. Según Wilson y Umbreit citado por Maddonni *et al.*

(2004), en los primeros estadios hasta la prefloración, los nódulos retienen 30 a 50% del nitrógeno atmosférico fijado y la nutrición del cultivo está ligada mayormente a la absorción de nitratos desde el suelo, con lo que este resultado en este estadio, no produciría cambios más tarde en los componentes del rendimiento.

Según Maddonni *et al.* (2004) cuanto más temprana sea la nodulación (con abundante cantidad de bacterias en la zona de desarrollo radical) mayor será el tiempo total de fijación, en este caso no se encontró una mejor nodulación temprana con respecto al tratamiento No Inoculado.

#### Estado fenológico R5 (28/01/2007)

La importancia de la fijación biológica está dada no sólo por la cantidad de nitrógeno que aporta sino también porque dicho aporte se produce durante el período de llenado, cuando los requerimientos se hacen máximos, disminuyendo así la retraslocación y por lo tanto la senescencia foliar. Luego de esta etapa, la fijación cae abruptamente, ya que los nódulos mueren ante un cambio en la prioridad de los destinos (Maddonni *et al.*, 2004).

La etapa R5 del ciclo del cultivo corresponde al comienzo del llenado de los granos, se identifica cuando posee semillas de 3 mm de largo en una vaina en alguno de los cuatro nudos superiores del tallo principal con una hoja totalmente desarrollada (Fehr y Caviness, 1977).

En R5 (Cuadro 4) no hubo diferencias estadísticas significativas en el peso seco de los nódulos en la raíz principal con la inoculación, aunque hubo una tendencia a incrementarlo como así también su número. El peso por planta alcanzó valores próximos a los considerados óptimos (800 mg) por Peticari (2003), aunque con un alto coeficiente de variación (CV).

Cuadro 4: Número y peso seco de nódulos en raíz principal, individual y por planta, y peso seco de nódulos en las raíces secundarias del cultivo de soja, en R5, en los tratamientos Inoculado y No Inoculado.

Tratamiento	Nódulos en R5			
	Raíz Principal			Raíces Secundarias
	Número de nódulos por planta	Peso seco individual (mg)	Peso seco total por planta (mg)	Peso seco individual (mg)
Inoculado	13	82	1066	158,00 a
No Inoculado	10	56	560	3,36 b
Valor p	0,1757	0,1035	0,1693	0,0003
CV (%)	29,36	32,23	55,82	49

*En columnas, letras distintas indican diferencias significativas al 5% de probabilidad según prueba Duncan (Infostat, 2007). CV: Coeficiente de variación.*

Se observaron diferencias significativa entre tratamientos en el peso seco de los nódulos de la raíz secundaria (p: 0,0003) (Cuadro 4).

Maddonni *et al.* (2004), cita que cuanto mayor sea la proporción de nódulos en la raíz principal, más temprana habrá sido la formación de nódulos, coincidente con el caso anterior (nodulación temprana) los tratamientos no presentaron diferencias significativas, sólo se produjo una tendencia de mayor peso seco de nódulos en raíz principal en el tratamiento Inoculado.

La figura 3, muestra el peso seco de los nódulos en la raíz principal y las secundarias. En la raíz principal la diferencia de peso seco (mg) entre tratamiento Inoculado y No Inoculado es mínima, en cambio, en raíces secundarias la diferencia es sustancial. Con esto podemos decir, que esta respuesta es positiva al agregado del inoculante más micronutrientes Co y Mo. Aunque los nódulos en las raíces secundarias son de menor importancia, ya que a igual peso seco de nódulos, los de la raíz primaria fijan cerca de diez veces más nitrógeno que los situados en raíces secundarias (Racca, 2008).

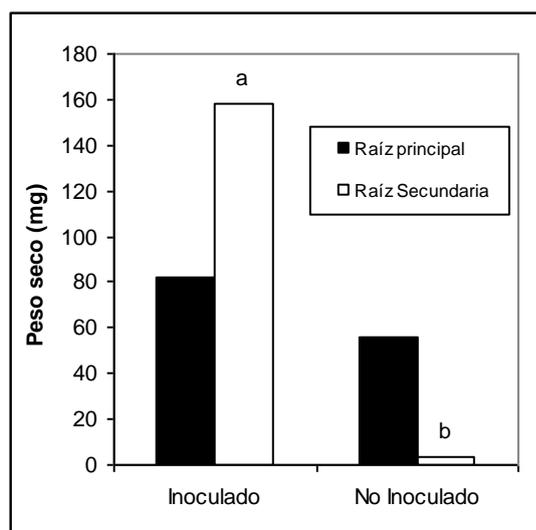


Figura 3: Peso seco de nódulos en la raíz principal y las secundarias del cultivo de soja, en R5, en los tratamientos Inoculado y No Inoculado.

En trabajos de Ferraris y Couretot (2006) (Pergamino, campaña 2005/2006) los resultados han sido muy diferentes a los de esta experiencia; ellos observaron que la inoculación con micronutrientes Co y Mo permitió incrementar la infectividad y el número de nódulos en raíz principal. Por su parte, Fontaneto *et al.* (2006), encontraron resultados coincidentes con los de Ferraris y Couretot (2006), donde la inoculación más el agregado de micronutrientes Co y Mo incrementó la cantidad de nódulos por planta.

### **V.i.5. Materia Seca**

Para maximizar el rendimiento, debe optimizarse el crecimiento del cultivo entre R3 y R6, es decir, se debe incrementar la cantidad de recursos disponibles durante este período crítico y aumentar la eficiencia de captura y eficiencia de utilización de dichos recursos (Kantolic, 2008 a). La evolución de la FBN está relacionada con la tasa de acumulación de carbono (C) (García citado por Peticari, 2006).

En el presente trabajo se midió la materia seca de la parte aérea en los estadios R5 y R7 en respuesta a la aplicación de inoculante con micronutrientes, ya que el rendimiento es función directa de la biomasa acumulada (Kantolic, 2003). En el Cuadro 5, vemos que no hubo diferencia estadísticas significativa entre los tratamientos, tanto en el estadio fenológico R5 (28/01/2007) como en el R7 (08/03/2007).

Cuadro 5: Peso seco de biomasa aérea ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) en el estado fenológico R5 y R7, del cultivo de soja, en los tratamientos Inoculado y No Inoculado.

Tratamiento	Peso Seco Biomasa Aérea ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ )	
	R5	R7
Inoculado	8858,77	17552,08
No Inoculado	8114,64	16034,76
CV (%)	15,36	17,69

CV: Coeficiente de variación

Los resultados sugieren que al tener similares valores de biomasa, pudo haber mayor consumo de nitrógeno generado por mineralización directa del suelo en el tratamiento No Inoculado, compensando biomasa aérea y que el nitrógeno aportado por la simbiosis del tratamiento Inoculado no alcanzó a generar diferencias significativas. Como consecuencia de la escasa diferencia en el número y peso seco de los nódulos en raíz principal (Cuadro 4), es factible pensar que no haya diferencia en la biomasa aérea, porque fue igual el aporte de nitrógeno en ambos tratamientos.

Calviño (1999), explica que la FBN es más eficiente con niveles bajos de disponibilidad del nutriente en el suelo. Altos niveles de nitrógeno en el suelo, por acumulación durante el barbecho o por fertilización, resultan en menores cantidades de nitrógeno fijado vía FBN.

Si bien esta fuente de provisión de nitrógeno (FBN) representa una economía en términos de costos de producción agrícola, acceder al nitrógeno de esta forma no es gratuito para el crecimiento de las plantas. Plantas no noduladas, al no tener la carga de producción y mantenimiento de los nódulos, tiene más carbono disponible para el crecimiento, con el consiguiente ahorro de energía (Madonni *et al.*, 2004). Durante el ciclo del cultivo, las temperaturas y precipitaciones fueron muy favorables, lo que pudo producir una mayor mineralización en el suelo en etapas posteriores, produciéndose un

adecuado aporte de nitrógeno de fácil disponibilidad para el cultivo. Entonces, podemos inferir que el cultivo ahorró energía, y en vez de producir nódulos o aumentar su peso, utilizó la fuente más fácilmente disponible de nitrógeno.

Se observó que el tratamiento Inoculado con micronutrientes (Co y Mo) sufrió un retraso en el crecimiento con respecto al tratamiento No Inoculado, ya que el tiempo a cubrir el surco fue más tardío en el primer caso, con una diferencia entre ambos de 8 días, aunque no se observaron diferencias en el ciclo completo. Lo que no coincidiría con Maddonni *et al.* (2004) quienes observaron que un cultivo no nodulado tiende a completar su ciclo en forma más temprana que el nodulado.

### **V.i.6.Componentes de rendimiento**

A lo largo del ciclo del cultivo se van generando, en forma secuencial, los subcomponentes que determinan el número de granos; estos granos posteriormente se llenan a partir de sustancias que sintetiza o translocadas por la planta (Kantolic *et al.*, 2004).

Se midieron a cosecha, cuatro componentes del rendimiento: Número de frutos por planta, Número de granos por fruto, Peso de 1000 semillas (g) y el Número de granos por m<sup>2</sup>.

En el *número de frutos por planta* no presentó diferencia estadística significativa entre los tratamientos (Figura 4. y Cuadro 1 en Anexo). Esto puede deberse a que la biomasa aérea generada en ambos tratamientos fue similar (Cuadro 5), por lo tanto, la inoculación no generó mayor cantidad de fotoasimilados, y consecuentemente mayor cantidad de flores y vainas (Kantolic, 2008 a).

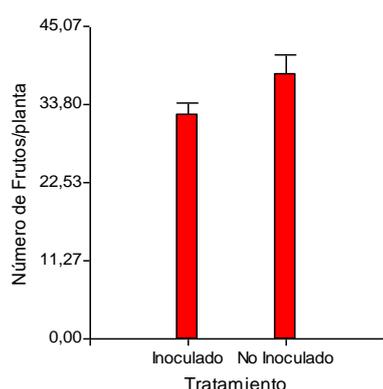


Figura 4: Número de frutos por planta obtenidos en ambos tratamientos, Inoculado y No Inoculado.

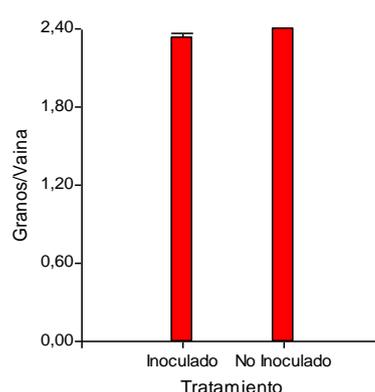


Figura 5: Granos por vaina obtenidos en ambos tratamientos, Inoculado y No Inoculado.

El *número de granos por vaina* registrado en esta experiencia fue, en promedio, de 2,3 y 2,4 en las plantas que tuvieron inoculante y en las no inoculadas, respectivamente. A pesar de que los valores fueron semejantes se encontró diferencia significativa -p de 0,0400- a favor del tratamiento No Inoculado (Figura 5 y Cuadro 1 en Anexo). Esta diferencia mínima puede considerarse poco significativa, ya que el tratamiento Inoculado compensó con el mayor número de plantas por hectárea, siendo los valores de 360000 y 288000 plantas ha<sup>-1</sup> para Inoculado y No Inoculado respectivamente.

De todas maneras, Board citado por Kantolic *et al.* (2004), cita que el número de granos por vaina es mucho más estable que los demás subcomponentes del número de granos por planta o superficie ante variaciones ambientales. Esta es una característica relativamente estable para un mismo genotipo; por lo tanto, las principales variaciones en el número de granos por nudo están asociadas a cambios en el número de vainas que se establecen (Kantolic, 2008 a).

El *peso del grano* puede describirse como una función de su tasa o ritmo de crecimiento y de la duración del período de llenado. Al igual que el número de granos, en la mayoría de las situaciones el peso de los granos está limitado por la disponibilidad de asimilados (Kantolic, 2003).

El peso de los granos obtenidos en ambos tratamientos fue similar (Figura 6 y Cuadro 1 en Anexo). Como se observó en el Cuadro 5, los valores de biomasa aérea en ambos tratamientos fueron similares, por lo tanto la cantidad de asimilados generados en el tratamiento Inoculado no fue mayor como para aumentar el peso de los granos. Fontaneto *et al.* (2006) no encontraron efecto sobre el peso de 1000 semillas ante el agregado de Inoculante más Co y Mo, con respecto al testigo sin inocular ni fertilizar.

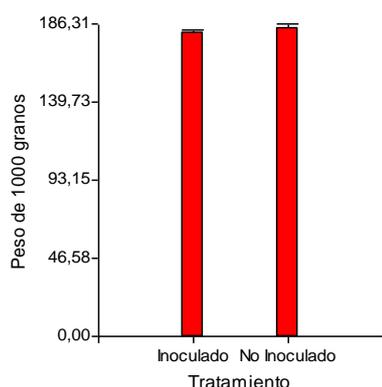


Figura 6: Peso de 1000 granos obtenidos en ambos tratamientos, Inoculado y No Inoculado.

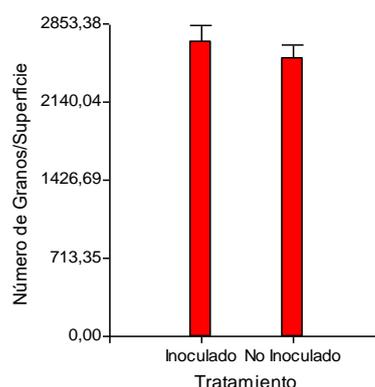


Figura 7: Número de granos por superficie (m<sup>2</sup>) obtenidos en ambos tratamientos, Inoculado y No Inoculado.

El número de granos por superficie tampoco presentó diferencias significativas entre los tratamientos Inoculado y No Inoculado (Figura 7 y Cuadro 1 en Anexo).

Existe una relación bastante robusta entre el número de granos y la radiación interceptada acumulada entre R3 y R6, y una mayor duración de la etapa, permite aumentar el nivel de radiación capturada por el cultivo durante el período crítico (Kantolic, 2003). Pero como se observó en el Cuadro 5, durante la etapa fenológica R5, no se produjeron diferencias de biomasa aérea entre los tratamientos que permitieran expresar estos resultados.

### **V.i.7. Rendimiento**

Al evaluar los componentes del rendimiento por separado, vemos que en promedio, no existieron diferencias significativas entre ambos tratamientos, el comportamiento fue similar en todos los casos, y en algunos, la tendencia fue mayor hacia el tratamiento No Inoculado, sin embargo, el rendimiento muestra un aumento de 277 kg ha<sup>-1</sup> a favor de Inoculado (Cuadro 6). Esto puede deberse a que, como se manifestó anteriormente, en las parcelas con inoculante hubo un mayor número de plantas por superficie (360000 pl ha<sup>-1</sup>) comparado con el No Inoculado (288000 pl ha<sup>-1</sup>).

Cuadro 6: Rendimiento del cultivo de soja, en los tratamientos Inoculado y No Inoculado.

Tratamiento	Rendimiento (kg ha <sup>-1</sup> )
Inoculado	4884,4
No Inoculado	4607,5
CV (%)	10,86

*CV: Coeficiente de variación*

Los resultados de esta experiencia coinciden con los de Ferraris y Couretot (2006) en condiciones ambientales diferentes. En estas experiencias se registraron tendencias positivas a favor de la inoculación, pero Fontaneto *et al.* (2006) obtuvieron aumentos del 9,5% en comparación con el testigo sin inocular y sin fertilizar, como así también Maddonni *et al.* (2004).

En principio, puede entenderse al rendimiento como el producto de dos componentes principales: el número de granos por unidad de superficie y el peso de los mismos.

El número de granos por unidad de superficie es el componente que mejor explica las variaciones en el rendimiento (Fig. 8), comparativamente con el peso de las semillas (Fig. 9). Por lo cual, comprender la generación del número de granos por m<sup>2</sup> permite identificar con cierta precisión cuales serían las acciones más efectivas para lograr mejoras

en el rendimiento, a pesar de que exista una proporción no predecible de cambios asociados con el peso de la semilla (Kantolic, 2003).

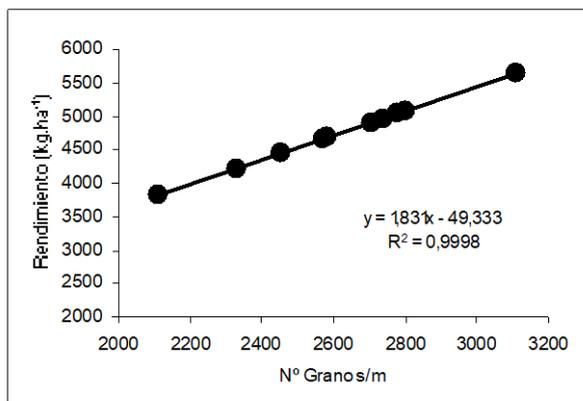


Figura 8: Relación entre el número de granos por superficie y el rendimiento ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para la totalidad del ensayo.

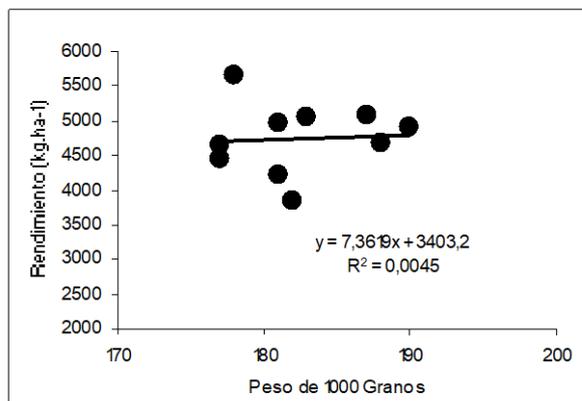


Figura 9: Relación entre el peso de 1000 granos y el rendimiento ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) para la totalidad del ensayo.

#### **V.i.8. Porcentaje de Nitrógeno y Proteína en grano**

Durante el llenado de granos, una parte importante del N que está en las hojas se retrasloca a los granos. Esto ocurre simultáneamente con la senescencia de las hojas y, por lo tanto, a una disminución del área foliar, de la fotosíntesis del canopeo, y de la disponibilidad de asimilados (Díaz-Zorita, 2003).

No existieron diferencias estadísticamente significativas en ninguno de los dos componentes, ni en nitrógeno en grano y por ende en proteína. Los valores porcentuales de nitrógeno y proteína en grano se muestran en el cuadro 7.

Cuadro 7: Porcentaje de nitrógeno y proteína en ambos tratamientos Inoculado y No Inoculado.

Tratamiento	Nitrógeno grano (%)	Proteína grano (%)
Inoculado	5,166	32,28
No Inoculado	5,074	31,72
CV (%)	1,60	1,59

En esta experiencia, se observó que en el tratamiento Inoculado la retención foliar en el estadio R7 fue mayor, por lo tanto podemos pensar que la inoculación demoró la senescencia, en efecto, demoró la disminución de la fotosíntesis, la caída de fotoasimilados para el llenado de granos y la traslocación de nitrógeno a proteína en grano, siendo levemente mayor (0,56%) a favor del tratamiento inoculado.

De todas maneras, como se mencionó anteriormente, los valores de biomasa en ambos tratamientos fueron similares (Cuadro 5), por lo tanto recibieron la misma cantidad de nitrógeno, por ende, igual cantidad de nitrógeno traslocado a los granos.

#### **V.ii. Consideraciones finales**

No se comprobó la hipótesis de este trabajo, esto puede deberse a dos causas.

La primera, puede estar relacionada a la historia prolongada del suelo con soja inoculada, ya que este lote viene de agricultura continua desde hace 20 años y la rotación se basó en una secuencia soja/maíz. El suelo poseía cepas de *Bradyrhizobium japonicum* que se pusieron de manifiesto en el tratamiento no inoculado, generando menor cantidad de nódulos y, de menor tamaño.

La segunda puede ser debida a que los valores de temperatura y el balance hídrico fueron muy favorable, a pesar del bajo contenido inicial de N-NO<sup>-3</sup> (23, 8 ppm) en los primeros 20 cm del suelo, que pudieron favorecer una alta mineralización durante las etapas avanzadas del cultivo, siendo esta la causante de una baja eficiencia en la situación inoculada.

Otra causa que podemos suponer, es que el inoculante no era el apropiado, posiblemente al momento de uso pudo no tener la cantidad de bacterias.ml<sup>-1</sup> establecida en el marbete. O también que el inoculante no era compatible con el cultivar sembrado.

## VI. CONCLUSIONES

No se encontraron diferencias estadísticas significativas entre el tratamiento inoculado con micronutriente (Co y Mo) en nodulación, biomasa aérea, componentes del rendimiento, como el número de granos por unidad de superficie y peso de 1000 granos, y en un componente de calidad como es la proteína en granos.

Por lo tanto, con estos resultados, no se cumple la hipótesis planteada para esta experiencia, de que la inoculación con bacterias del genero *Bradyrhizobium japonicum* y el agregado de micronutrientes esenciales para la fijación biológica de nitrógeno, tales como el Cobalto y el Molibdeno, incrementará los rendimientos del cultivo de soja.

## VII. BIBLIOGRAFÍA CITADA

- ANDRADE, F.H., H.E. ECHEVARRÍA, N.S. GONZÁLEZ y S. UHART. 2000. Requerimientos de nutrientes minerales. En: ANDRADE, F.H. y V.O. SADRAS. **Bases para el manejo del maíz, el girasol y la soja**. Editorial Médica Panamericana. Cap. 8. p: 207-233.
- BRUN, W.A. 1983. Asimilación. En: NORMAN, A.G. **Fisiología, mejoramiento, cultivo y utilización de la soja**. Hemisferio Sur, Buenos Aires. 1<sup>ra</sup> Ed. Cap. 3. p: 47-77.
- CALVIÑO, P. 1999. Nutrición del cultivo y fertilización. **Soja. Actualización 2002. INTA**. Informe de Actualización Técnica N° 74. p: B1-B9.
- DARDANELLI, J. y J. ANDRIANI. 2003. La disponibilidad hídrica y la respuesta del cultivo de soja. **El libro de la soja. Actualización 2003. CREA**. Cuaderno de Actualización Técnica N° 66. Cap. 10. p: 107-118.
- DIAZ-ZORITA, M. 2003. Soja: Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo. **El libro de la soja. Actualización 2003. CREA**. Cuaderno de Actualización Técnica N° 66. Cap. 8. p: 82-90.
- ECHEVERRÍA, H. y H. SAINZ ROZAS. 2006. Nitrógeno. En: ECHEVERRÍA, H. y F. GARCÍA. **Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos**. INTA. Cap. 4. p: 69-95.
- FEHR, W.R. and C.E. CAVINESS. 1977. Stages of soybean development. **Special Report 80**. Iowa State University, Ames, Iowa. 11 p.
- FERRARIS, G.N. y N. COURETOT. 2006. Evaluación de nuevos desarrollos en inoculación de soja. En: [www.rizobacter.com.ar/home/es/informes\\_tecnicos/](http://www.rizobacter.com.ar/home/es/informes_tecnicos/). Consultado: 18/12/06.
- FONTANETO, H., O. KELLER, C. NEGRO, L. BELOTTI y D. GIAILEVRA. 2006. Inoculación y fertilización con Cobalto y Molibdeno sobre la nodulación y la producción de Soja. En: [www.inta.gov.ar/rafaela](http://www.inta.gov.ar/rafaela). Consultado: 27/04/09.
- GARCÍA, F. 2001. Balance de fósforo en los suelos de la región pampeana. **Informaciones agronómicas. INPOFOS**. Informaciones agronómicas N° 9. p: 2-3.
- GIL, R. 1998. Modelo de Balance Hídrico. Curso de agricultura FUNDACREA 2008.
- GUTIERREZ BOEM, F. y J. SCHEINER. 2006. Soja. En: ECHEVERRÍA, H. y F. GARCÍA. **Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos**. INTA. Cap. 13. p: 283-297.
- GUTIERREZ BOEM, F. 2008. Nutrición del cultivo. **Producción de Soja. Actualización 2008.CREA**. Cap. 4. p: 45-55.
- INTA. 1983. Carta de suelos de la República Argentina. Buenos Aires Hoja: 3363-36-1. VENADO TUERTO.
- KANTOLIC, A. 2003. Bases funcionales de la determinación del rendimiento y manejo del cultivo de soja. **El libro de la soja. Actualización 2003. CREA**. Cuaderno de Actualización Técnica N° 66. Cap. 2. p: 31-38.

- KANTOLIC, A.G., P.I. GIMENEZ y E.B. de la FUENTE. 2004. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en soja. En: SATORRE, E.H. *et al.* **Producción de granos. Bases funcionales para su manejo.** Editorial Facultad de Agronomía. UBA. Cap. 9. p: 167-201.
- KANTOLIC, A. 2008 a. Determinantes del rendimiento. **Producción de Soja. Actualización 2008.CREA.** Cap. 1. p: 13-23.
- KANTOLIC, A. 2008 b. Fecha y densidad de siembra. **Producción de Soja. Actualización 2008.CREA.** Cap. 2. p: 23-33.
- MADDONNI, G.A., R.A. RUIZ, P. VILLARIÑO e I. GARCIA DE SALOMONE. 2004. Fertilización en los cultivos para grano. En: SATORRE, E.H. *et al.* **Producción de granos. Bases funcionales para su manejo.** Editorial Facultad de Agronomía. UBA. Cap. 19. p: 501-557.
- MALAVOLTA, E.; G. E. VITTI y S. A. OLIVERA 1989 **Avaliação de estado nutricional das plantas.** Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato. 201 p.
- MELGAR, R., M TORRES DUGAN y J LAVANDERA. 2006. El manejo del nitrógeno en la soja: Fijación biológica o fertilización? En: [www.fertilizando.com./articulos](http://www.fertilizando.com./articulos). Consultado: 18/12/06.
- MENGEL, K. y E.A. KIRKBY. 2000. Nitrógeno. En: **Principios de nutrición vegetal.** EEA INTA Pergamino. 1<sup>ra</sup> Ed. en español. Cap. 7. p: 305-338.
- PERTICARI, A. 2003. Inoculación y fijación biológica de nitrógeno en el cultivo de soja. **El libro de la soja. Actualización 2003. CREA.** Cuaderno de Actualización Técnica N° 66. Cap. 7. p: 69-78.
- PERTICARI, A. 2006. Fijación biológica de nitrógeno: Un aporte sustantivo para la producción de soja. **Soja. Actualización 2006. INTA.** Informe de Actualización Técnica N° 3. p: 5-12.
- RACCA, R. 2008. Inoculación. En: [www.fertilizando.com./articulos](http://www.fertilizando.com./articulos). Consultado: 27/04/09.
- SAGPYA. 2009. Dirección de coordinación de delegaciones, estimaciones agrícolas. En: [www.sagpya.gov.ar](http://www.sagpya.gov.ar). Consultado: 15/05/09.
- SCHEINER, J. 2000. Soja: Criterios para el manejo de la fertilización del cultivo. En: DIAZ-ZORITA, M. 2003. **El libro de la soja. Actualización 2003. CREA.** Cuaderno de Actualización Técnica N° 66. Cap. 8. p: 81-91.
- SILVA ROSSI, M. 2004. Materia orgánica: Su utilización en la evaluación de la calidad del suelo en distintos ambientes del sur de Santa Fe. **Informaciones agronómicas. INFOFOS.** Informaciones agronómicas N° 24. p: 9-11.

TORRI, S., R. LAVADO y S. URRICARIET. 2006. Micronutrientes y otros elementos trazas. En: ECHEVERRÍA, H. y F. GARCÍA. **Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos**. INTA. Cap. 9. p: 189-213.

## VII.ANEXO

Cuadro 1: Componentes del rendimiento del cultivo de soja, en los tratamientos Inoculado y No Inoculado.

Tratamiento	Número de frutos/planta	Número de granos/frutos	Peso de 1000 semillas (g)	Número de granos por m <sup>2</sup>
Inoculado	32,2	2,34 a	181,2	2695
No Inoculado	38,2	2,40 b	183,6	2543
CV (%)	14,75	1,63	2,59	10,73

CV: Coeficiente de variación