

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

**“Trabajo Final presentado para optar al Grado de Ingeniero
Agrónomo”**

**EFFECTOS DE PROTECTORES BACTERIANOS
SOBRE LA NODULACIÓN EN SOJA**

**Alumno: Tauro, Rodrigo Emanuel
DNI: 29.706.329**

**Director: Thuar, Alicia Maria
Río Cuarto - Córdoba
-Octubre 2011-**

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del Trabajo Final:

**EFFECTOS DE PROTECTORES BACTERIANOS
SOBRE LA NODULACIÓN EN SOJA**

Autor: Tauro, Rodrigo Emanuel

DNI: 29706329

Directora: Thuar, Alicia Maria

Aprobado y corregido de acuerdo con las sugerencias de la
Comisión Evaluadora:

Prof. Oscar Giayetto _____

Prof. Claudio Oddino _____

Prof. Dra. Alicia Thuar _____

Aprobado por Secretaría Académica: ____/_____/____

Secretario Académico

II

DEDICATORIA

A mi mamá, y a sus ganas de verme recibido.

AGRADECIMIENTOS

Para cada una de esas personas que han brindado su ayuda desinteresadamente, para mi directora Alicia. Simplemente gracias.

III

INDICE DEL TEXTO

RESUMEN.....	VI
SUMMARY.....	VII
INTRODUCCIÓN.....	1
ANTECEDENTES.....	3
HIPÓTESIS.....	6
OBJETIVO GENERAL.....	6
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	6
MATERIALES Y MÉTODOS.....	7
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	11
CONCLUSIONES.....	23
BIBLIOGRAFÍA CITADA.....	24
ANEXO.....	27

INDICE DE TABLAS

Tabla I: Características generales del sitio experimental.....	7
Tabla II: Distribución de tratamientos.....	8
Tabla III: Componentes de la nodulación.....	13
Tabla IV: Componentes de la nodulación: número y peso seco de nódulos por planta, peso seco por nódulo y respuesta en número de nódulos relativo a T1.....	15
Tabla V: Número y miligramos de nódulos por gramo de raíz.....	16
Tabla VI: Rendimiento en grano.....	21
Tabla VII: Relación entre biomasa aérea y rendimiento.....	22
Tabla VIII: Peso seco de biomasa aérea por planta, V ₆ -V ₇	27
Tabla IX: Peso seco de biomasa radicular por planta, V ₆ -V ₇	27
Tabla X: Peso seco de biomasa aérea por planta, R ₃ -R ₄	28
Tabla XI: Peso seco de biomasa radicular por planta, R ₃ -R ₄	28
Tabla XII: Componentes del rendimiento.....	28

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Contribución del suelo, la FBN y los fertilizantes a la demanda total de nitrógeno en soja, en función de los días de ciclo y las etapas fenológicas del cultivo (Ferraris y Mousegne 2008).....	3
Figura 2: Período crítico para la definición de componentes del rendimiento en soja y etapa de máxima FBN (Kantolic, 2007).....	4
Figura 3: Precipitaciones por mes, ocurridas durante el ciclo del cultivo y promedio de veinte años, según datos del propio establecimiento.....	11
Figura 4: Peso seco de biomasa aérea por planta, V ₆ -V ₇	12
Figura 5: Peso seco de biomasa radicular por planta, V ₆ -V ₇	13
Figura 6: Peso seco de biomasa aérea por planta, R ₃ -R ₄	14
Figura 7: Peso seco de biomasa radicular por planta, R ₃ -R ₄	14
Figura 8: Número de plantas por metro lineal.....	17
Figura 9: Nudos reproductivos por planta.....	18
Figura 10: Vainas por planta.....	18
Figura 11: Vainas por nudo.....	19
Figura 12: Granos por vaina.....	19
Figura 13: Número de granos por metro cuadrado.....	20

RESUMEN**EFFECTOS DE PROTECTORES BACTERIANOS SOBRE LA NODULACION EN SOJA**

La soja necesita absorber gran cantidad de nitrógeno para su normal crecimiento. Dado su carácter de leguminosa, puede cubrir gran parte de los requerimientos de éste nutriente por medio de la fijación biológica de nitrógeno (FBN).

El objetivo del trabajo fue evaluar la respuesta en la nodulación con el uso de protectores bacterianos en la inoculación.

El ensayo se realizó en un campo agrícola ubicado en cercanías de la localidad de Monte Maíz, Córdoba, Argentina. Se utilizó un diseño en bloques completos al azar con 5 tratamientos y 4 repeticiones, los cuales constaban de T1= sin inocular, T2= inoculado y T3, T4 y T5 con diferentes protectores bacterianos. Se evaluó número y peso seco de nódulos, peso seco de biomasa aérea, peso seco de biomasa radicular, rendimiento y componentes del rendimiento (plantas por metro, nudos por planta, vainas por nudo, granos por vaina).

La aplicación de protectores bacterianos permitió mejorar aspectos de la nodulación como número y peso seco de nódulos por planta, y obtener mayores valores en la nodulación específica (número y peso seco de nódulos por gramo de raíz). No se obtuvo un rendimiento estadísticamente significativo, así mismo los valores mayores fueron a favor de los tratamientos con protectores bacterianos.

Palabras clave: Soja, Nitrógeno, Protectores Bacterianos, Nodulación.

SUMMARY

EFFECTS OF THE BACTERIAL PROTECTORS IN NODULATION OF SOYA

The soya needs to absorb large amount of nitrogen to grow adequately. As it is a legume, it can cover a great number of its requirements through the biological nitrogen fixation (BNF).

The aim of this research was to evaluate the response in the nodulation by using bacterial protectors in the inoculation.

The assay was carried out in an agricultural field near Monte Maíz town, Córdoba, Argentina. A randomized complete block design with 5 (five) treatments and 4 (four) repetitions was used, which consists of T1: with no inoculation, T2: with inoculation and T3, T4 and T5 with different bacterial protectors. Quantity and dry weight of nodules were evaluated, dry weight of aerial bio-mass, dry weight of the bio-mass of the root system, yield and yield components (plants per meter, nodes per plants, pods per nodes, grains per pods).

The use of bacterial protectors allowed to improve aspects of the nodulation as quantity and dry weight of nodes per plant and to obtain better results in the specific nodulation (quantity and dry weight of nodes per grams of root.) There wasn't a statistically significant yield and the highest numbers were in favor of the treatment with bacterial protectors.

Key words: Soya, Nitrogen, Bacterial Protectors, Nodulation, Yield.

INTRODUCCION

La soja (*Glycine max (L.) Merrill*) ha significado en el mundo una gran revolución productiva-comercial en la cadena agroalimentaria mundial por ser una importante fuente de proteína vegetal para la alimentación animal, y especialmente humana en aquellos países que reemplazan en gran medida con soja la proteína animal. Adicionalmente, en estos últimos años es también uno de los cultivos claves para la obtención de biocombustibles (ACSOJA, 2008).

Según datos del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación (2011), en la última campaña 09/10 se obtuvo una producción record de soja de 52,6 millones de toneladas.

La ampliación en los límites agrícolas ha promovido la utilización de suelos considerados frágiles y/o marginales, observándose en la mayoría de estos ambientes baja presencia de nitrógeno (N) circulante y, debido a que la soja es un cultivo proteico por excelencia (40% de proteínas), necesita acumular grandes cantidades de N para su crecimiento. Para cubrir esta demanda, además de la absorción desde el suelo de este nutriente, existen alternativas químicas (fertilizantes) y biológicas (fijación biológica). Actualmente, como consecuencia del alto precio del petróleo, se hace costoso el uso de fertilizantes nitrogenados, siendo entonces la fijación biológica del nitrógeno (FBN) una fuente de N de bajo costo económico y ambiental (Peticari, 2008).

La FBN es un mecanismo desarrollado por las leguminosas a partir de la asociación de bacterias pertenecientes a la familia de las *Rhizobiáceas*, en el caso de la soja *Bradyrhizobium japonicum*. Éstas pueden agregarse sobre la semilla o al suelo, a través de inoculantes, para esto es importante la selección de la cepa bacteriana con criterio para formar nódulos (infección), fijar nitrógeno (efectividad) y sobrevivencia en la semilla y en el suelo (Fertilizando, 2008).

El Instituto de Microbiología y Zoología Agrícola (IMYZA) desde 1980 lleva adelante el programa nacional de selección de cepas con ensayos en las diferentes áreas productivas del cultivo de soja, con el fin de seleccionar las de mejor comportamiento, las que posteriormente serán recomendadas para la fabricación de inoculantes comerciales. Hasta el momento la cepa E109 de *Bradyrhizobium japonicum* es la recomendada para la inoculación de soja en Argentina, por su aptitud simbiótica y plasticidad a variadas condiciones edafoclimáticas (Toresani *et al.*, 2006)

La inoculación es una práctica de bajo costo, adoptada por la mayoría de los productores, siendo común el uso de inoculantes en base líquida. La calidad de los inoculantes fue mejorando gradualmente en el país. Estudios realizados por el laboratorio de Microbiología de Suelos de la EEA INTA Balcarce entre 1995 y 2005, sobre los inoculantes que se reciben para el análisis de

calidad, el 86% superaba la concentración estándar de 1×10^9 ufc.ml⁻¹ a la fecha de elaboración, establecida por el SENASA (González, 2006).

Los problemas más comunes que ocurren durante la inoculación son aplicaciones en dosis inferiores a las recomendadas, determinando menor número de bacterias en la semilla; exposición del inoculante a altas temperaturas durante el tratamiento de la misma, lo que disminuye drásticamente la viabilidad de rizobios y debido a factores relacionados con las condiciones ambientales como estrés hídrico y térmico (Peticari, 2005 a).

Estas razones llevan a las empresas a buscar soluciones a esta problemática y más aún impulsadas por ser la soja el cultivo principal en los planes de rotación. Para ello se diseñan protectores bacterianos, principalmente, para disminuir el impacto a la desecación celular y de altas temperaturas desde que la bacteria se adhiere sobre la superficie de la semilla en el momento de la inoculación, permitiendo realizar una práctica en forma anticipada a la siembra y fundamentalmente para lograr una mayor viabilidad de rizobios al momento de la infección, lo que se podría traducir en una mayor nodulación en la raíz. Los protectores bacterianos también pueden atenuar los efectos tóxicos producidos por el uso de fungicidas, mejorando la compatibilidad de la bacteria con el producto químico (Rizobacter Argentina S.A., 2008).

ANTECEDENTES

Para la producción de una tonelada de soja, en condiciones no limitantes de otros nutrientes, se estima que el cultivo necesita absorber 80 kilogramos de N, gran parte de éste requerimiento es cubierto vía FBN, a través de la simbiosis soja – *Bradyrhizobium*. En la región pampeana se han determinado aportes de N por FBN del orden del 30-70% de las necesidades totales, dependiendo del nivel de fertilidad nitrogenada del suelo y las características climáticas de la estación de crecimiento (INPOFOS, 2005).

La mayor tasa de fijación biológica en soja se produce en etapas reproductivas, floración y llenado de granos (figura 1). Luego de R5 la tasa de fijación disminuye hasta hacerse nula antes de la madurez fisiológica. Este fenómeno ocurre porque la planta destina gran cantidad de hidratos de carbono (fuente de energía para el rizobio) hacia los granos, desactivando así el proceso de fijación biológica de nitrógeno, los nódulos quedan sin alimentación, mueren y se desprenden (Fernández Canigia, 2003).

Al inicio del ciclo la fijación es mínima, ensayos realizados en Balcarce, Buenos Aires, se cuantificó que durante la etapa vegetativa la tasa de acumulación de nitrógeno es idéntica para sojas noduladas y sin nodular, es decir el nitrógeno es aportado por el suelo (Racca y Collino, 2005).

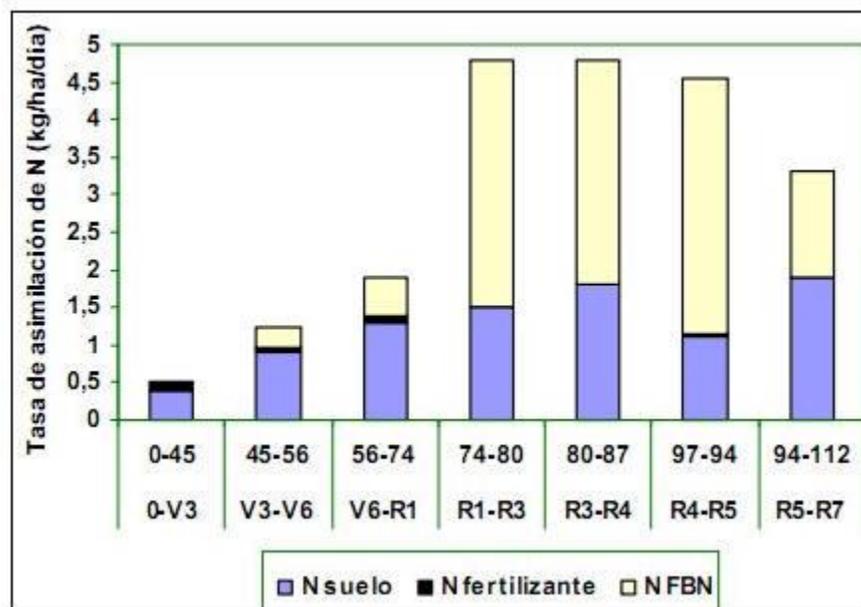


Figura 1. Contribución del suelo, la FBN y los fertilizantes a la demanda total de nitrógeno en soja, en función de los días de ciclo y las etapas fenológicas del cultivo (Ferraris y Mousseigne 2008).

La etapa en la cual se determina la mayor asimilación de nitrógeno vía fijación biológica, R1 a R5, coincide con la mayor parte de la etapa crítica para la definición de rendimiento en soja (figura 2). Existe una relación directa entre el número de granos y la tasa de crecimiento del cultivo durante éste período, y por lo tanto, modificaciones en el nivel de recursos (radiación, agua y nutrientes) disponibles durante el período crítico o en la capacidad de las plantas para capturarlos y utilizarlos, afectaran el número de granos y, consecuentemente, el rendimiento (Kantolic, 2007).

Por lo dicho anteriormente, una exitosa inoculación que permita llegar a esta etapa con buenos componentes en la nodulación, permitirá abastecer gran parte del nitrógeno necesario para la planta.

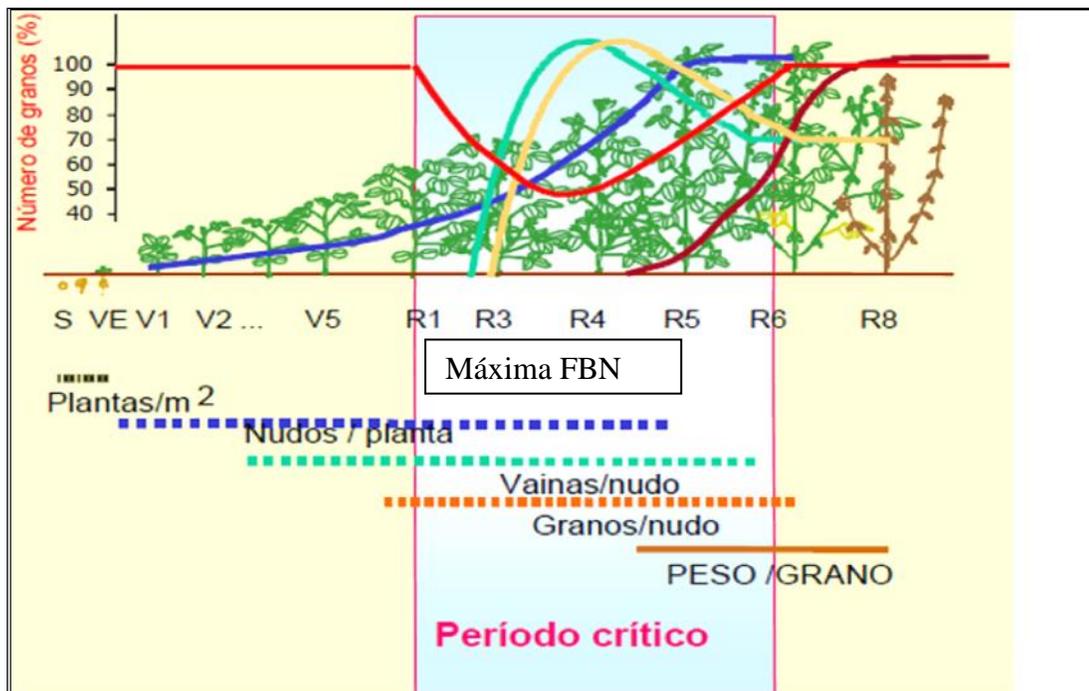


Figura 2. Período crítico para la definición de componentes del rendimiento en soja y etapa de máxima FBN (Kantolic, 2007).

Sin limitaciones ambientales, en numerosas experiencias se observó que el perfil de nodulación adecuado en R₅-R₆ es de 40 a 50 nódulos por planta, de los cuales 12 por lo menos se encuentran en la parte superior de la raíz primaria, de tamaño mediano a grande (4 a 6 milímetros de diámetro), el peso seco de nódulos por planta óptimo es aproximadamente de 800 miligramos y el peso individual de nódulos 7 a 9 miligramos, con una coloración interna de la mayoría de nódulos de roja a rosada, así mismo han sido encontrados diferentes valores según las áreas cultivadas (Peticari, 2005 b).

De Sá Pereira (2009), observó que la respuesta al rendimiento de granos se correlaciona con la biomasa nodular en forma positiva y en forma negativa con el número de nódulos, esto nos indica que con pocos nódulos grandes (en general más eficientes) existe mayor probabilidad de alto rendimiento y en cambio son escasas las posibilidades de conseguirlo cuando las plantas tienen muchos nódulos pequeños.

La respuesta a la inoculación es mayor cuando los lotes no cuentan con antecedentes de soja. Ensayos realizados con inoculantes determinaron respuesta promedio por encima del testigo de 806 kg.ha⁻¹ en 21 lotes sin historia sojera y de 342 kg.ha⁻¹ en 28 lotes con historia previa de soja, la menor respuesta en ésta última es debido a la interacción de cepas (Díaz Zorita, 2004). Esto no sugiere suprimir la inoculación en lotes con historia de soja, debido a que las bacterias naturalizadas comienzan a multiplicarse en contacto con la raíz, mientras que las comerciales están presentes en altas concentraciones produciendo una nodulación inmediata (Fernández Canigia, 2003).

Ensayos realizados con protectores bacterianos y el fungicida Ritiram Carb (Tiram + Carbendazim, Rizobacter Argentina S.A. 2008) sobre supervivencia de *Bradyrhizobium* en semilla de soja, mostraron un efecto positivo sobre viabilidad hasta 30 días después de la inoculación (Montero y Sagardoy, 2008). Estos resultados indican que es posible la inoculación en presencia de fungicidas. Es imprescindible partir de un inoculante de alta calidad, no contaminado, con alta concentración de células fisiológicamente activas (Montero, 2010).

Ferraris y Couretot (2005) realizaron ensayos en varios sitios de la provincia de Buenos Aires sobre inoculación con protectores bacterianos y obtuvieron un incremento en el rendimiento de 13% en relación al testigo sin inocular y 5% con respecto al tratamiento inoculado.

La protección de la bacteria parece ser especialmente útil bajo condiciones agresivas para la bacteria, como sequía, altas temperaturas durante la implantación o presencia de fertilizantes en cercanías de la semilla. En estos casos, el protector disminuiría la mortandad de los microorganismos y se lograrían mejores parámetros de nodulación que redundarían en mejores rendimientos, esto surge al considerar ensayos conducidos en la región norte de Buenos Aires, donde la diferencia por el uso de protectores bacterianos vs inoculante sólo fue mayor cuando la campaña fue de bajas precipitaciones (Ferraris y Mousegne 2008).

HIPÓTESIS

El uso de protectores bacterianos en la inoculación de semillas de soja aumenta el número de rizobios disponibles para producir una mayor nodulación.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la respuesta de la nodulación en soja con el uso de protectores bacterianos en la inoculación.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1) Evaluar el efecto de protectores bacterianos sobre el número de nódulos por planta en etapas fenológicas vegetativa y reproductiva.
- 2) Evaluar el efecto de protectores bacterianos sobre la biomasa seca nodular en etapas fenológicas vegetativa y reproductiva.
- 3) Evaluar el efecto de protectores bacterianos sobre la biomasa seca vegetal en etapas fenológicas vegetativa y reproductiva.
- 4) Evaluar el efecto de protectores bacterianos en el rendimiento del cultivo y analizar sus componentes en la etapa fenológica reproductiva.

MATERIALES Y MÉTODOS

a. Caracterización del sitio experimental:

El ensayo se realizó en el establecimiento “BLANCANIEVES”, campo agrícola privado, ubicado sobre ruta provincial N° 11 a 3 kilómetros al oeste de la localidad de Monte Maíz, departamento Unión, provincia de Córdoba.

El régimen térmico en la región está dado por una temperatura estival media para enero de 24.3°C y temperatura invernal de julio de 9.5°C, dando una amplitud térmica anual de 14.8°C, característica de un clima templado. La fecha media de primera helada es el 24 de mayo y de última helada el 10 de septiembre, dando un período libre de heladas de 256 días (Los Suelos, 2006).

El régimen pluviométrico anual es de 850mm, siendo para el año del ensayo 2009, de 908 mm, con una precipitación acumulada durante el ciclo del cultivo, octubre-marzo de 818 mm, según datos del propio establecimiento.

En la tabla I se resumen las características generales del sitio experimental.

Tabla I. Características generales del sitio experimental.

SITIO	BLANCA NIEVES. Monte Maíz
Serie de suelo	La Bélgica
Tipo de suelo	Hapludol típico
Sistema de labranza	Directa
Historia agrícola	+ de 20 años
Cultivo antecesor	Maíz
Historia de inoculación	Si
P del suelo (ppm)	20 (método Bray y Kurtz)
MO (%)	2.15 (método Walkley-Blak)
N-NO ₃ (ppm)	16.4 (reducción por cadmio)
Humedad (%)	15.38 (método gravimétrico)
fertilización	No

b. Diseño experimental y tratamientos:

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar (DBCA), con 5 tratamientos y 4 repeticiones para cada uno. El tamaño de las parcelas fue de 6 surcos espaciados a 0.52 metros, por un largo de 20 metros. En todos los casos las semillas fueron tratadas con fungicida MAXIM XL, Fludioxonil + Metalaxil-M (Rizobacter Argentina S.A.) con 1ml.kg^{-1} de semilla. Como inoculante se utilizó la cepa E109 de alta concentración, (1×10^9 ufc. ml^{-1} de *Bradyrhizobium japonicum*), siendo la dosis empleada de 4ml.kg^{-1} de semilla para los tratamientos inoculados. Se utilizaron tres protectores bacterianos diferentes cedidos por empresas privadas a dosis recomendada.

Descripción de los tratamientos:

T1: testigo 1, sin inocular.

T2: testigo 2, inoculante.

T3: inoculante + protector 1.

T4: inoculante + protector 2.

T5: inoculante + protector 3.

La tabla II muestra la distribución de los tratamientos.

Tabla II: Distribución de tratamientos.

BLOQUE I	BLOQUE II	BLOQUE III	BLOQUE IV
T5	T3	T1	T4
T4	T2	T5	T3
T3	T5	T2	T1
T2	T1	T4	T2
T1	T4	T3	T5

c. Materiales:

El cultivar utilizado fue Don Mario 3700 RG, se sembró el 7 de noviembre de 2009 a una densidad de 30 semillas.metro⁻¹, sobre un rastrojo de maíz en un lote con historia sojera. La sembradora utilizada fue una Agrometal TX Mega SD de 13 surcos a 0.52 metros.

Se realizó un seguimiento del cultivo siendo necesario control de malezas, plagas y enfermedades.

d. Determinaciones realizadas:

Para los muestreos se descartaron los surcos de bordura, y se trabajó sobre los surcos centrales de cada parcela, los mismos se realizaron en etapas fenológicas vegetativas y reproductivas. El procedimiento fue extraer 5 plantas por parcela, realizándose 4 repeticiones por cada una, se cuantificó el número de nódulos y la biomasa nodular de cada tratamiento, también se midió la biomasa vegetal aérea, para identificar si existe una relación con el rendimiento, y la biomasa radicular. En madurez de cosecha, para rendimiento y análisis de componentes, se tomaron 4 muestras de 1 metro lineal cada una por parcela.

Las mediciones realizadas fueron las siguientes:

Etapa V₆-V₇ y R₃-R₄

- Número de nódulos por planta.
- Peso seco de biomasa nodular en miligramos.planta⁻¹.
- Peso seco de biomasa vegetal aérea en gramos.planta⁻¹.
- Peso seco de raíz en gramos.planta⁻¹.

(Para evaluar peso seco, se sometieron las muestras a estufa a 70° C hasta peso constante).

Etapa R₈

- Rendimiento por tratamiento en kg.ha⁻¹.
- Componentes de rendimiento en cada tratamiento
 - Número de plantas por metro lineal
 - Número de vainas por planta.
 - Número de nudos por planta
 - Número de vainas por nudo
 - Número de granos por vaina

e. Análisis de los resultados:

Los datos se analizaron con el programa Infostat, se realizó un ANOVA y se compararon los promedios con el Test de DGC (p=0.05).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La campaña 2009/2010 se caracterizó por un inicio (octubre/noviembre) con precipitaciones por debajo de lo normal, lo que demoró y dificultó en ciertos casos la óptima implantación del cultivo, luego en los meses de diciembre/enero se recuperó la carga de agua en el perfil, habiendo llovido en estos meses el 64% del régimen pluviométrico anual, originando también problemas en la siembra de soja de segunda por exceso de agua.

La principal limitante en la zona es el agua, expresada en ET_c (evapotranspiración del cultivo). Se estima que la soja posee una eficiencia en el uso del agua (EUA) de entre 5 y 11 $kg \cdot mm^{-1} \cdot ha^{-1}$ (Gil, 2008), por lo cual para un rendimiento de 4000 kg, sin considerar otras limitantes, se necesitaría una ET_c de 500 mm de agua, en esta campaña considerando sólo la precipitación en la etapa del cultivo octubre/marzo llovió 818 mm, lo cual da una idea de las excelentes condiciones de humedad. La figura 3 muestra la distribución de precipitaciones ocurridas durante el ciclo del cultivo.

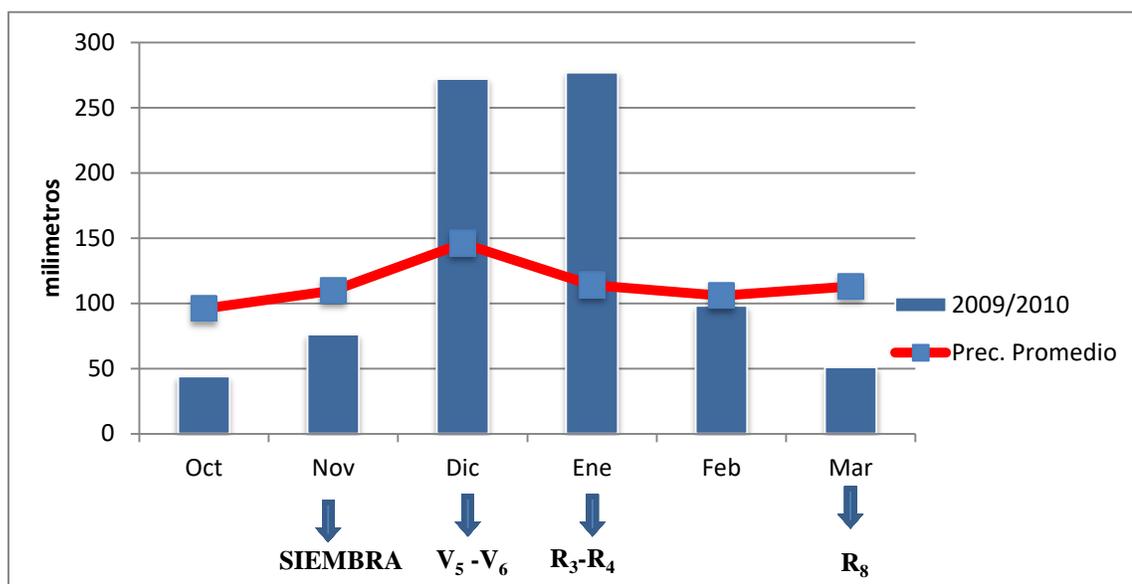


Figura 3: Precipitaciones por mes, ocurridas durante el ciclo del cultivo y promedio de veinte años, según datos del propio establecimiento.

MUESTREO EN ETAPA V₆- V₇.

Al analizar el peso seco de la biomasa aérea se encontraron diferencias estadísticamente significativas para tres de los tratamientos T1, T2 y T4 (figura 4). En el caso de T2 y T4 es posible asociarlo con número o peso seco de nódulos, pero no en T1 el cual obtuvo el menor valor en estos factores, así mismo es necesario recordar que al inicio del ciclo la fijación biológica es mínima, y que si la mayor biomasa puede deberse al nitrógeno éste puede ser aportado desde el suelo como indica Racca y Collino 2005.

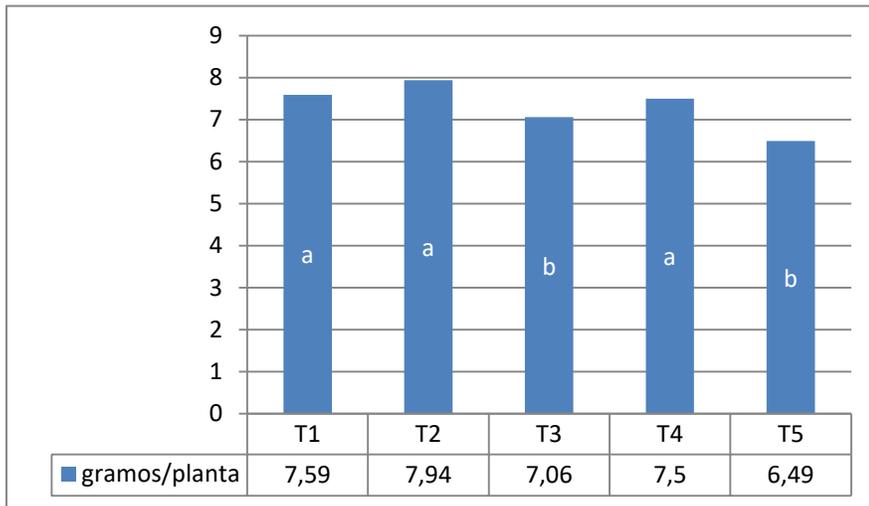


Figura 4: Peso seco de biomasa aérea por planta, V₆-V₇. Letras distintas indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$) según test de DGC.

En el análisis de peso seco de biomasa radicular no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, pero sí se encontró que los mayores valores promedios se corresponden con los tratamientos que lograron significancia estadística en biomasa aérea por planta de la figura 4, T1, T2 y T4 (figura 5).

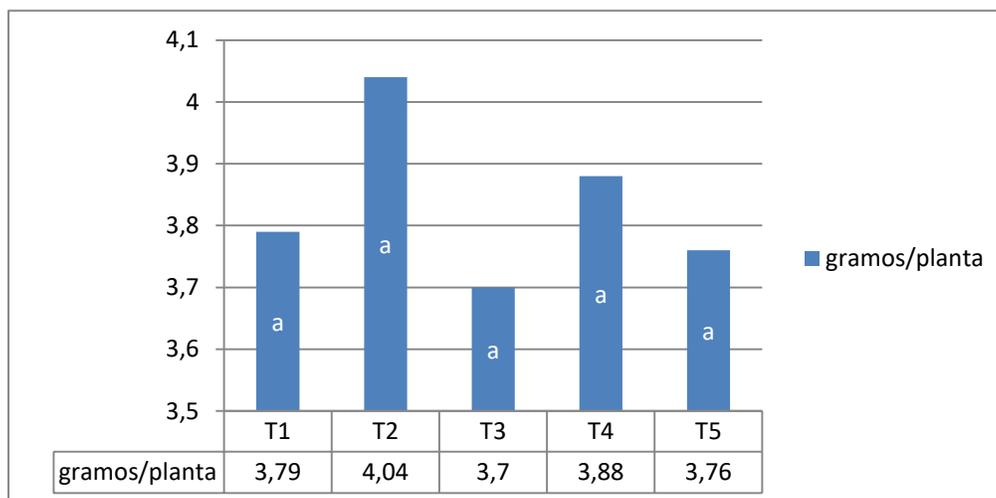


Figura 5: Peso seco de biomasa radicular por planta, V₆-V₇. Letras distintas indican diferencias significativas (P<= 0.05) según test de DGC.

Al analizar los componentes de la nodulación se observaron diferencias estadísticamente significativas en número de nódulos para dos de los tratamientos con protectores T4 y T5 y para el testigo inoculado T2. Los tratamientos T4 y T5 además obtuvieron significativamente mayor peso seco de nódulos por planta y, aunque sin diferencias, mayor peso por nódulo. Esto inicialmente es exitoso ya que se cuenta con buen número y tamaño de nódulos al inicio del ciclo del cultivo (Tabla III).

Tabla III. Componentes de la nodulación.

TRATAMIENTOS	Nº Nódulos x Planta	Peso seco Nod x Planta (mg)	Peso seco x Nod (mg)
T1 Sin Inocular	46 b	127.0 b	2.70 a
T2 Inoculado	53 a	128.5 b	2.42 a
T3 Inoculado + Protector 1	46 b	113.5 b	2.46 a
T4 Inoculado + Protector 2	60 a	184.0 a	3.06 a
T5 Inoculado + Protector 3	60 a	178.0 a	2.96 a
Valor de P	0.0384	0.0029	0.0775
CV %	13.33	16.21	15.02

Letras distintas indican diferencias significativas (P<= 0.05) según test de DGC.

MUESTREO EN ETAPA R₃ – R₄

En el análisis de peso seco de biomasa aérea no hubo diferencias estadísticamente significativas, así mismo la tendencia estuvo a favor de los tratamientos con protectores bacterianos T3, T4 y T5, los cuales superaron entre un 17 y 22% al tratamiento sin inocular T1 y un 14% y 19% al tratamiento inoculado T2 (figura 6).

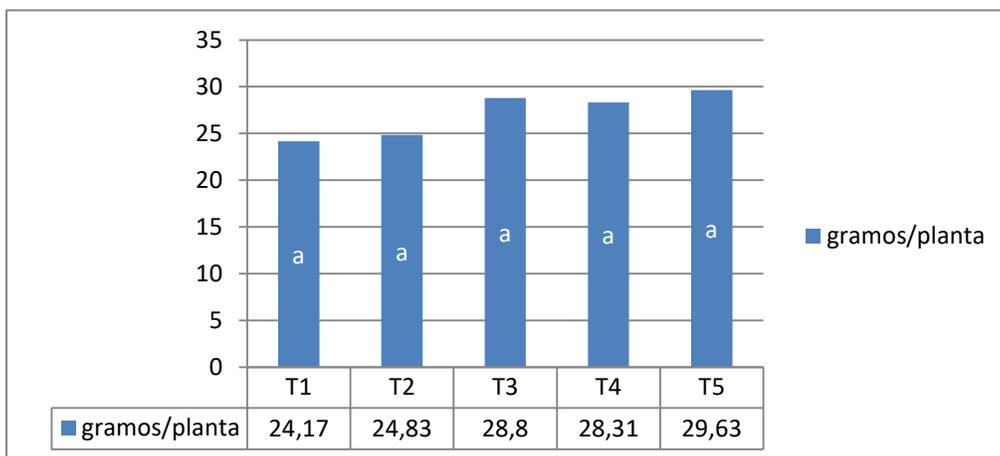


Figura 6: Peso seco de biomasa aérea por planta, R₃-R₄. Letras distintas indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$) según test de DGC.

Para el análisis de peso seco de raíz a pesar de que no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas, los tratamientos con protectores (T3, T4 y T5) lograron un peso superior entre 5 y 6 % con respecto a los tratamientos sin inocular T1 e inoculado T2 (figura 7).

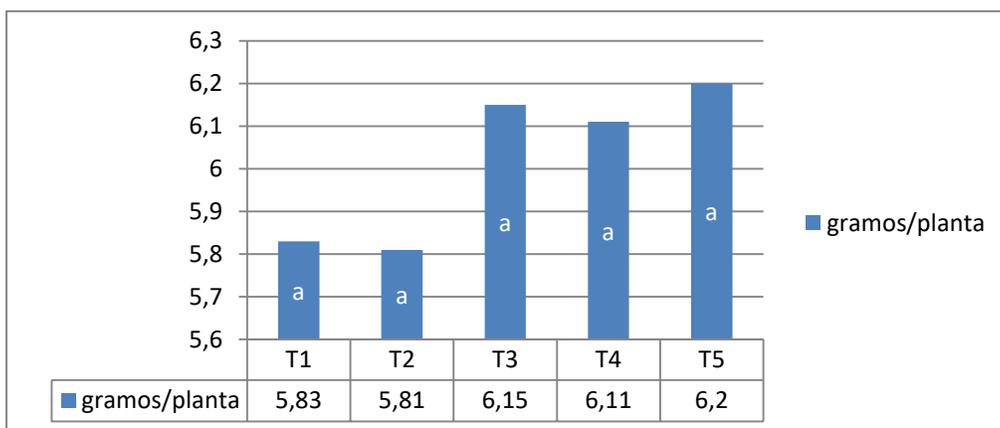


Figura 7: Peso seco de biomasa radicular por planta, R₃-R₄. Letras distintas indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$) según test de DGC.

En los componentes de la nodulación se encontraron diferencias estadísticamente significativas en número y peso seco (tabla IV).

Si tomamos el tratamiento sin inocular (T1), como punto de partida para mejorar aspectos de la nodulación, vemos que los tratamientos inoculados (T2, T3, T4 y T5) superaron significativamente su número de nódulos, con una gran respuesta en número de nódulos relativo a T1, a la vez que lograron mayor peso seco de nódulos, aunque sólo T5 fue significativo. Esto demuestra el efecto positivo que posee la inoculación y especialmente la protección de la bacteria, ya que permitió en uno de los tratamientos (T5) un excelente número y peso seco de nódulos, y a la vez peso seco por nódulo promedio.

Tabla IV. Componentes de la nodulación; número y peso seco de nódulos por planta, peso seco por nódulo y respuesta en número de nódulos relativo a T1.

TRATAMIENTOS	N° Nódulos x Planta.	Peso seco Nod x Planta (mg)	Peso seco x Nod (mg)	Respuesta en N° de nódulos relativo a T1
T1 Sin Inocular	112 b	524.67 b	4.68 a	-
T2 Inoculado	147 a	647.33 b	4.40 a	+35
T3 Inoculado + Protector 1	144 a	666.67 b	4.62 a	+32
T4 Inoculado + Protector 2	161 a	671.33 b	4.16 a	+49
T5 Inoculado + Protector 3	185 a	924.67 a	4.99 a	+73
Valor de P	0,009	0,0185	0.6760	-
CV (%)	14.16	15.47	14.38	-

Letras distintas indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$) según test de DGC.

Al comparar los resultados de la tabla anterior, en forma general, con los citados por Peticari (2005 b) el cual dice que el perfil de nodulación adecuado en R₅-R₆ es de 40 a 50 nódulos, con peso seco de los mismos por planta de 800 mg y peso individual de 7 a 9 mg. se observa que el número de nódulos por planta es superado ampliamente, que el peso seco de los mismos es inferior en cuatro de los tratamientos y solo T5 lo supera y que a la vez el peso individual es inferior, cabe recordar que los perfiles de nodulación suelen ser distintos según las áreas cultivadas.

Cuando se relacionó el número y peso seco de nódulos con el peso seco de raíz, se obtuvo la nodulación por unidad de raíz, la cual nos permite hacer comparaciones entre los tratamientos. No hubo diferencias estadísticamente significativas para número pero si para peso seco, siendo el tratamiento T5 el que obtuvo el mayor valor (tabla V).

Tabla V. Número y miligramos de nódulos por gramo de raíz.

TRATAMIENTOS	Nº nod.gr raíz⁻¹	mg nod.gr raíz⁻¹
T1	19 a	89 b
T2	25 a	111 b
T3	23 a	108 b
T4	26 a	109 b
T5	29 a	148 a
Valor de P	0,2326	0,0595
CV (%)	20,73	17,84

Letras distintas indican diferencias significativas ($P <= 0.05$) según test de DGC.

El perfil de nodulación obtenido por el tratamiento T5 en cuanto a peso seco de nódulos por planta, peso seco por nódulo y peso seco por gramo de raíz, nos permite suponer una mayor respuesta al rendimiento al compararse con lo observado por De Sá Pereira (2009) el cual dice que existe una correlación positiva de la biomasa nodular con el rendimiento.

MUESTREO EN ETAPA R₈

Análisis de los componentes del rendimiento

En el análisis de número de plantas por metro lineal no se encontraron diferencias estadísticamente significativas (figura 8). Se observa gran pérdida de plantas desde la siembra con 30 semillas, a R₈ con un promedio de 13 plantas por metro lineal esto se debe, además del poder germinativo de la partida de semillas, a problemas sanitarios en el suelo (Baigorri, 2010).

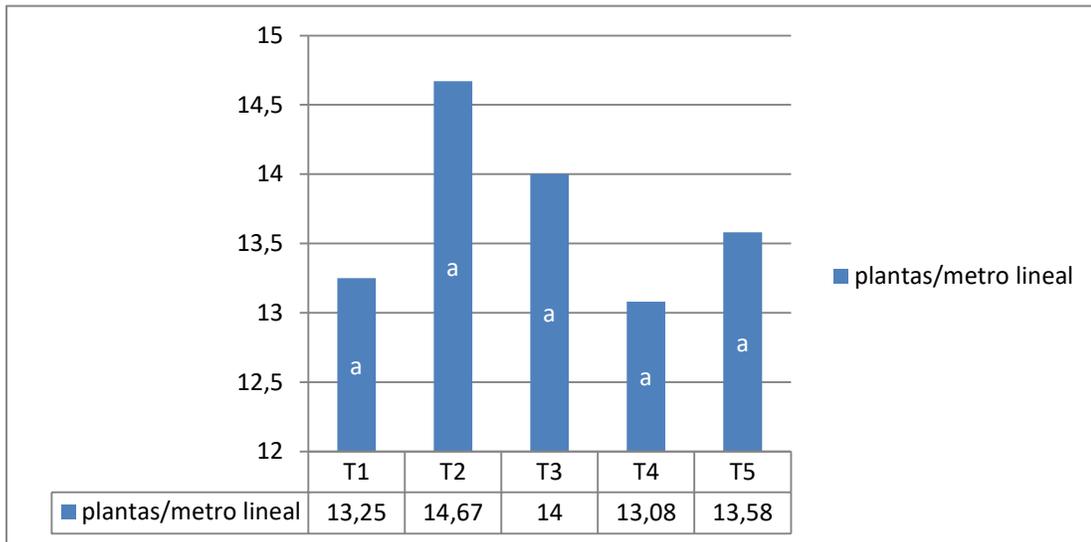


Figura 8: Número de plantas por metro lineal. Letras distintas indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$) según test de DGC.

Debido a la elección de la placa de siembra, la distribución de plantas en el surco no fue homogénea, esto determinó que algunas plantas ramificaran y otras no, a modo práctico para analizar número de nudos por planta no se discriminó entre tallo principal y ramificación, sino que se tomó sólo aquellos que poseían al menos una vaina y se los llamó Nudos Reproductivos. No se encontraron diferencias significativas en dicha variable (figura 9).

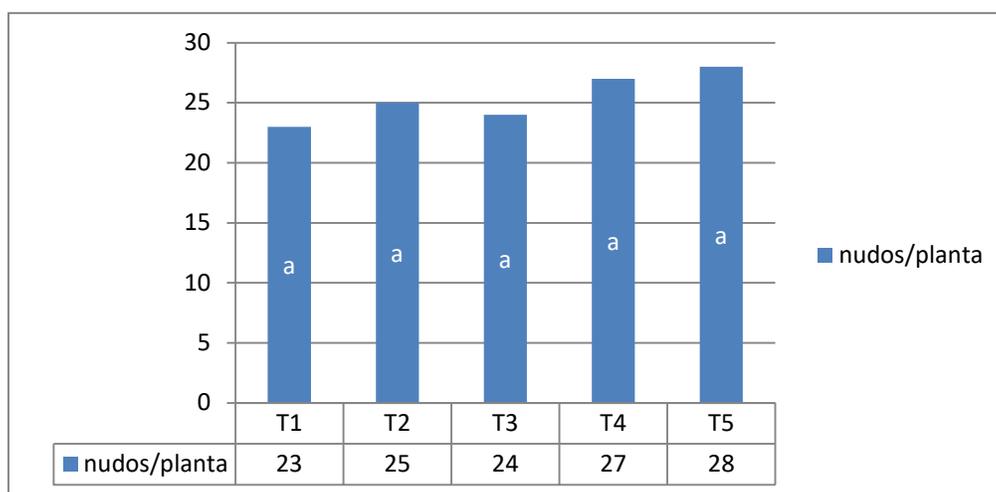


Figura 9: Nudos reproductivos por planta. Letras distintas indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$) según test de DGC.

En el análisis de vainas por planta no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, así mismo se observa una clara tendencia a favor de la inoculación, y especialmente de los tratamientos con protectores bacterianos T4 y T5 (figura 10).

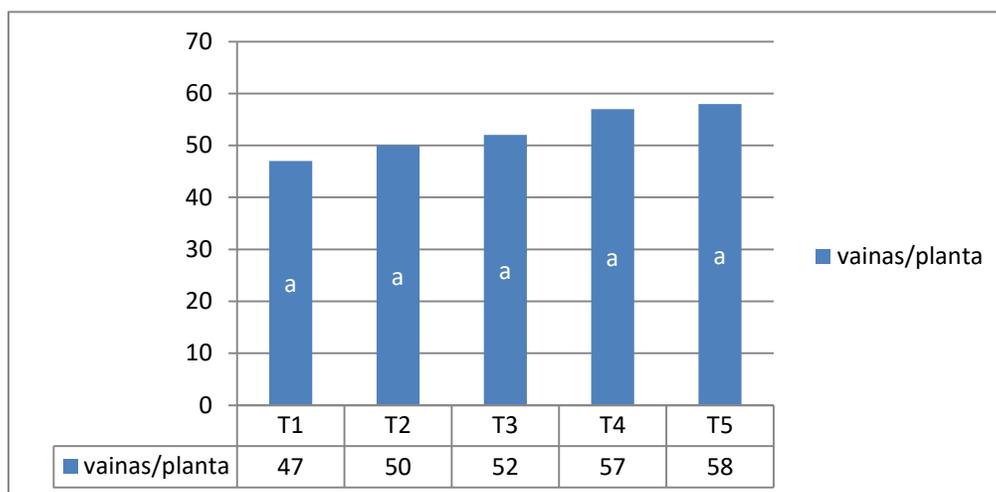


Figura 10: Vainas por planta. Letras distintas indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$) según test de DGC.

El número de vainas por nudo se obtuvo de relacionar vainas por planta con los nudos reproductivos por planta, el dato refleja la fertilización promedio por nudo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas (figura 11).

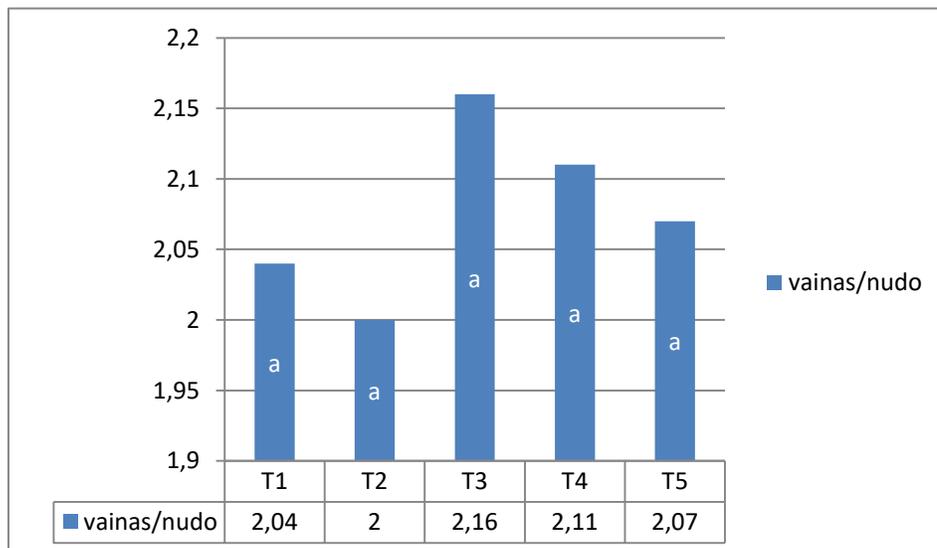


Figura 11: Vainas por nudo. Letras distintas indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$) según test de DGC.

En el número de granos por vaina no se encontraron diferencias estadísticamente significativas (figura 12). Así mismo este componente tiene un alto grado de control genético y, en promedio resulta poco modificable ante cambios en la disponibilidad de los recursos (Kantolic, 2007).

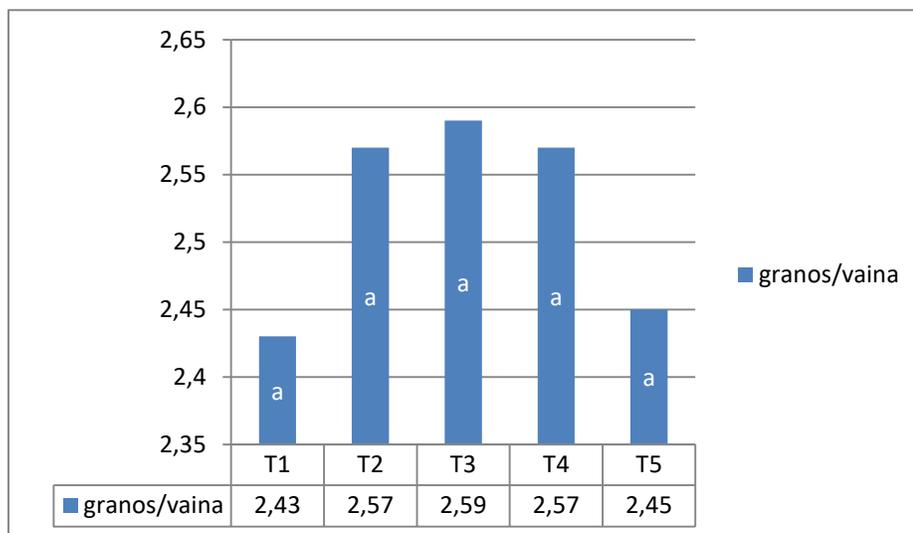


Figura 12: Granos por vaina. Letras distintas indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$) según test de DGC.

Debido a la pérdida de las muestras ya trilladas y pesadas no fue posible calcular a posterior el peso de semillas de cada tratamientos, solo se contaba con una muestra universal de la cual se obtuvo un peso de mil semillas promedio de 152 gramos, debido a este inconveniente no se calculó el rendimiento estimado.

Cabe recordar que el número y peso de granos son los componentes principales del rendimiento, si bien existe compensación entre ellos, estos componentes guardan entre sí una cierta independencia que permite suponer que un aumento en cualquiera de los dos puede producir un aumento de rendimiento, sin embargo en un rango amplio de condiciones agronómicas el número de granos por superficie es el componente que mejor explica las variaciones en el rendimiento (Kantolic, 2007).

A partir de los componentes analizados, número de vainas por planta, número de granos por vaina y número de plantas por metro lineal, se calculó el número de granos por metro cuadrado sin diferencias estadísticamente significativas (figura 13).

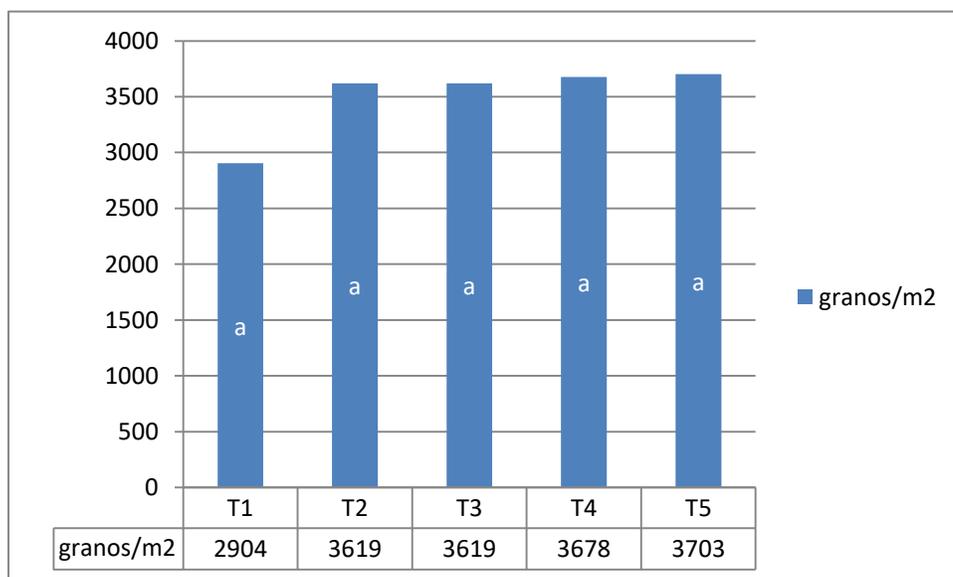


Figura 13: Número de granos por metro cuadrado. Letras distintas indican diferencias significativas ($P \leq 0.05$) según test de DGC.

El componentes de vainas por planta analizado en la figura 10, si bien sin diferencias estadísticas es el que mejor explica esta tendencia en el número de granos por metro cuadrado a favor de los tratamientos que han sido inoculados.

Rendimiento

El rendimiento final se obtuvo por trilla manual de 12 metros lineales por tratamiento y fueron expresados en kilogramos por hectárea (tabla VI). No se encontraron diferencias estadísticamente significativas, así mismo existe una tendencia en los promedios de los tratamientos T2, T3, T4 y T5 que fueron mayores al testigo sin inocular T1, y los tratamientos que incluyeron protectores (T3, T4 y T5) fueron mayores al resto (T1 y T2). Las diferencias porcentuales de rendimiento se corresponden con ensayos conducidos por Ferraris y Couretot (2005), en las localidades de Pergamino y Wheelwright, provincia de Buenos Aires, sobre suelos Argiudoles típicos, donde los tratamientos con protectores bacterianos tuvieron una respuesta relativa del 13% en comparación con el tratamiento sin inocular y un 5% respecto al tratamiento inoculado.

Tabla VI. Rendimiento en grano.

Tratamientos	Rendimiento (kg.ha ⁻¹)	Diferencia con el testigo T1 (kg.ha ⁻¹)	Diferencia con el testigo T2 (kg.ha ⁻¹)
T1	4432 a	0	-240 (5,4%)
T2	4672 a	+240 (5,40%)	0
T3	4759 a	+327 (7,30%)	+87 (1,8%)
T4	5028 a	+596 (13,4%)	+356 (7,6%)
T5	5057 a	+625 (14,1%)	+385 (8,2%)
Valor de p	0.6001		
CV (%)	11.14		

Letras distintas indican diferencias significativas (P<= 0.05) según test de DGC.

Al analizar la tabla VI con los resultados de los componentes de nodulación obtenidos en R₃-R₄ (tabla IV), vemos que los promedios de rendimiento guardan mayor relación con el número de nódulos por planta de los tratamientos que tuvieron significancia estadística (T2, T3, T4 y T5), pero no así con el peso seco de los nódulos por planta ya que solo T5 se diferenció estadísticamente.

Los resultados de peso seco de biomasa aérea obtenidos en la etapa R₃-R₄ se calcularon por hectárea y se compararon con el rendimiento final, debido a que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en ningún caso, no es posible afirmar una relación directa, así mismo se observa que los tratamientos con inoculación T2, T3, T4 y T5 poseen el mayor promedio en biomasa y en rendimiento, a la vez que coinciden con los tratamientos que obtuvieron el mayor número y peso seco de nódulos (tabla IV) y posiblemente la mayor disponibilidad de nitrógeno para la generación de biomasa aérea y rendimiento (tabla VII).

Tabla VII. Relación entre biomasa aérea y rendimiento.

Tratamientos	Biomasa aérea (kg.ha ⁻¹)	Rendimiento (kg.ha ⁻¹)
T1	6158	4432
T2	7004	4672
T3	7753	4759
T4	7120	5028
T5	7737	5057

CONCLUSIONES

En el primer muestreo, el uso de protectores fue positivo en los tratamientos T4 y T5, los cuales no se diferenciaron en número de nódulos por planta del tratamiento que sólo fue inoculado (T2), pero sí lo hicieron del resto en peso seco de nódulos.

En el segundo muestreo fue positiva la inoculación ya que todos los tratamientos (T2, T3, T4 y T5) se diferenciaron estadísticamente en número de nódulos del testigo sin inocular T1. Y con el uso de protector se destacó el tratamiento T5 el cual se diferenció del resto en peso seco de nódulos por planta.

Los tratamientos inoculados T2, T3, T4 y T5 tuvieron en promedio mayor biomasa aérea en R₃-R₄, relacionándose numéricamente estos valores con los obtenidos en el rendimiento promedio final de los tratamientos.

Si bien en el rendimiento final no hubo diferencias estadísticamente significativas, existe una tendencia positiva con la inoculación y el uso de protectores bacterianos.

Los datos obtenidos en este trabajo fueron propios del ambiente en el que se desarrollaron, caracterizado fundamentalmente por un año húmedo. Sería necesario repetir el ensayo utilizando otras cepas o en otra campaña para confirmar estos resultados.

BIBLIOGRAFÍA

ACSOJA, 2008. **El aporte de la soja: contribución al movimiento productivo y a la recaudación.** En: www.acsoja.org.ar Consultado 10/03/2011

BAIGORRI, H. 2010. **Consultoría de Planeta Soja.** En: www.planetasoja.com.ar Consultado 10/03/2011

De Sá PEREIRA, E. 2009. **La soja y el uso de inoculantes en el sudoeste bonaerense.** INTA Coronel Suarez. EEA Bordenave. Buenos Aires.

DIAZ ZORITA, M. 2004. **Nutrición balanceada y manejo de la inoculación.** Cuadernillo Soja. Revista Agromercado. pp. 14-17.

FERNANDEZ CANIGIA, M. V. 2003. **Manual de nodulación.** En: www.nitragin.com.ar Consultado 10/03/2011.

FERRARI, G.N. Y F. MOUSEGNE 2008. **Inoculación de soja en el norte, centro y oeste de Buenos Aires. Resultados de experiencias y prácticas de manejo para mejorar su eficiencia.** Desarrollo Rural INTA EEA Pergamino.

FERRARI, G.N. Y L.A. COURETOT 2005. **Evaluación de nuevos desarrollos en inoculación de soja. Campaña 2005/06.** Proyecto Regional Agrícola. Desarrollo rural INTA Pergamino.

FERTILIZANDO 2008. **Impacto de la fijación biológica del nitrógeno en la producción de soja.** Alejandro Peticari. En: www.fertilizando.com. Consultado 19/03/2009

GIL, R. C. 2008. **La eficiencia del uso del agua en el sistema agrícola.** Instituto de suelos INTA Castelar. En: www.donmario.com.ar. Consultado 20/03/2011

GONZALES, N. 2006. **Fijación de Nitrógeno en Soja. Inoculantes: Situación actual y perspectivas en Argentina.** Laboratorio de Microbiología de Suelos EEA INTA Balcarce. En: www.inta.gov.ar . Consultado 21/03/2011

INPOFOS 2005. **Soja: Criterios para la fertilización del cultivo**. Fernando O. Garcia. En: www.inpofos.org. Consultado 25/03/2011.

KANTOLIC, A. G. 2007. **Ecofisiología del cultivo de soja: Bases para el manejo y para el aumento del rendimiento potencial**. Cátedra de cultivos industriales, departamento de Producción Vegetal, Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.

LOS SUELOS, 2006. **Recursos Naturales de la Provincia de Córdoba**. Agencia Córdoba Ambiente, INTA EEA Manfredi.

MINISTERIO DE AGRICULTURA, GANADERIA Y PESCA 2011. **Sistema Integrado de información Agropecuaria**. En: www.siaa.gov.ar. Consultado 14/03/2011

MONTERO, F. A. 2010. **Acción de protectores bacterianos sobre la viabilidad de inoculantes de soja y la respuesta de nodulación**. RIZOBACTER ARGENTINA S.A. En www.rizobacter.com.ar. Consultado 30/03/2011.

MONTERO, F. Y M. A. SAGARDOY 2008. **Supervivencia de *Bradyrhizobium japonicum* sobre semilla de soja (*Glycine max (L) Merrill*) tratada con fungicida, inoculante líquido y protector**. Departamento Producción de Inoculantes, Rizobacter Argentina S.A.

PERTICARI, A 2005 (a). **Inoculación de calidad para un máximo aprovechamiento de la FBN**. Mundo Soja Superando barreras con responsabilidad 2005. Actas del Congreso. 23 y 24 de junio de 2005. Disponible en: www.planetasoja.com/trabajos Consultado 26/03/2011

PERTICARI, A. 2005 (b). **Uso de Biofertilizantes. Inoculación y fijación biológica de nitrógeno en el cultivo de soja**. IMYZA INTA CASTELAR. Castelar, Buenos Aires.

PERTICARI, A. 2008 **Desarrollo de estrategias productivas sostenibles para la región semiárida Argentina**. XXI Congreso argentino de la ciencia del suelo. San Luis, Argentina.

RACCA, R.W. y D. J. COLLINO, 2005. **Bases fisiológicas para el manejo de la fijación biológica del nitrógeno en soja.** Actas del Congreso Mundo Soja: 111-120. Buenos Aires, Argentina.

RIZOBACTER ARGENTINA S.A. 2008. **Acción de Protectores Bacterianos sobre la viabilidad de inoculantes y respuesta a la nodulación.** Ing. Fabio A. Montero. En: www.rizobacter.com.ar . Consultado 15/03/2011

TORESANI, S.; A. PERTICARI; M. E. SANCHEZ; G. GIUBILEO, 2006. **Evaluación de cepas de rizobios para inocular soja en Zaballa, Santa Fe.** Cátedras de Microbiología Agrícola y Estadística. Facultad de Cs. Agrarias (UNR). Zavalla, Santa Fe, Argentina. En: www.acsoja.org.ar/mercosoja2006/trabajos. Consultado 4/03/2011

ANEXO

En las siguientes tablas se muestran, además de los resultados, los valores de P y coeficientes de variación que no fueron incluidos en el texto.

MUESTREO EN ETAPA V₆- V₇.

Tabla VIII. Peso seco de biomasa aérea por planta, V₆-V₇.

Letras distintas indican diferencias significativas con el test de DGC ($p \leq 0.05$).

Tratamiento	Peso seco de biomasa aérea por planta (gr.pl ⁻¹)
T1	7.59 a
T2	7.94 a
T3	7.06 b
T4	7.50 a
T5	6.49 b
Valor de P	0.0232
Coefficiente de variación (CV) %	7.43

Tabla IX. Peso seco de biomasa radicular por planta, V₆-V₇.

Letras distintas indican diferencias significativas con el test de DGC ($p \leq 0.05$).

Tratamiento	Peso seco de biomasa radicular por planta (gr.pl ⁻¹)
T1	3.79 a
T2	4.04 a
T3	3.70 a
T4	3.88 a
T5	3.76 a
Valor de P	0.184
Coefficiente de variación (CV) %	5.18

MUESTREO EN ETAPA R₃ – R₄

Tabla X. Peso seco de biomasa aérea por planta, R₃-R₄.

Tratamiento	Peso seco de biomasa aérea por planta (gr.pl ⁻¹)
T1	24.17 a
T2	24.83 a
T3	28.80 a
T4	28.31 a
T5	29.63 a
Valor de P	0.3324
Coefficiente de variación (CV) %	13.6

Letras distintas indican diferencias significativas con el test de DGC (p<=0.05).

Tabla XI. Peso seco de biomasa radicular por planta, R₃-R₄.

Tratamiento	Peso seco de biomasa radicular por planta (gr.pl ⁻¹)
T1	5.83 a
T2	5.81 a
T3	6.15 a
T4	6.11 a
T5	6.2 a
Valor de P	0.9030
Coefficiente de variación (CV) %	10.58

Letras distintas indican diferencias significativas con el test de DGC (p<=0.05).

COMPONENTES DEL RENDIMIENTO

Tabla XII. Componentes del rendimiento.

Tratamientos	Nudos/planta	Vainas/planta	Vainas/nudo	Granos/vaina	Plantas/metro lineal	Granos/metro
T1	23 a	47 a	2.04 a	2.43 a	13.25 a	2904
T2	25 a	50 a	2.00 a	2.57 a	14.67 a	3619
T3	24 a	52 a	2.16 a	2.59 a	14.00 a	3619
T4	27 a	57 a	2.11 a	2.57 a	13.08 a	3678
T5	28 a	58 a	2.07 a	2.45 a	13.58 a	3703
Valor de P	0.4799	0.3990	0.4749	0.1047	0.3170	-
CV (%)	14.74	13.85	3.94	3.21	6.79	-

Letras distintas indican diferencias significativas con el test de DGC (p<=0.05).