

# **EVALUACIÓN DE DIFERENTES ALTERNATIVAS DE NUTRICIÓN NITROGENADA EN EL CULTIVO DE SOJA.**

Tesina  
del alumno

**LISANDRO LUIS MARTINO**

Director

**Ing. Agr. Carlos Senigagliesi**

Co-director

**Senigagliesi, Lucas.**

Tribunal Evaluador:

**Dr. Ricardo García**

**Ing. Agr. María Fernanda González Fiqueni**

**Ing. Agr. Gustavo González Anta**

Escuela de Ciencias Agrarias, Naturales y Ambientales,  
Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires

## ÍNDICE

	Página.
◆ AGRADECIMIENTO.....	3
◆ RESUMEN.....	4
◆ INTRODUCCIÓN.....	6
◆ HIPÓTESIS.....	13
◆ OBJETIVO.....	13
◆ OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
◆ MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
◆ RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24
◆ CONCLUSIONES.....	40
◆ BIBLIOGRAFÍA.....	41

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, quiero agradecer el compromiso y el apoyo brindado en todo momento del Ing. Agr. Carlos Senigagliesi, con el que pude contar en todas las etapas de la realización de mi Trabajo Final de Grado. Este compromiso fue visible en cada una de las reuniones realizadas, en donde el intercambio de ideas, sugerencias o modificaciones tenían un resultado positivo que me permitía seguir avanzando en el desarrollo de este trabajo.

Este agradecimiento se extiende también al Ing. Agr. Lucas Senigagliesi, quien en forma desinteresada puso a mi disposición el espacio, las herramientas correspondientes, los materiales necesarios, su experiencia, conocimiento y su tiempo, para la ejecución del ensayo correspondiente.

A los dos, solo quiero decirles muchas gracias, por todo el apoyo recibido, durante la proyección y ejecución de mi Trabajo Final de Grado, que significa la culminación de una etapa muy importante en mi vida personal, y el comienzo del recorrido de mi carrera como profesional.

## **RESUMEN**

En los últimos años, el cultivo que más expandió su superficie sembrada por la conjugación de diversos factores, es la soja (*Glycine max.*). Sus altos valores de requerimientos nutricionales, por tonelada de grano producido y los altos índices de cosecha de esos nutrientes, convierten a la soja en el cultivo más extractivo de los cultivos extensivos.

La manera en que la soja cubre su alta demanda de nitrógeno, se da a través de la absorción desde el suelo y la fijación biológica del nitrógeno atmosférico, a partir de la asociación con bacterias del suelo. Esta asociación es muy importante no sólo por la cantidad de nutriente que aporta, que a su vez, es muy variable, sino también por el momento en que se genera este aporte.

El objetivo de este trabajo es la evaluación de diferentes alternativas de nutrición nitrogenada. La inoculación con bacterias como el *Bradyrhizobium japonicum*, su combinación con otros tipos de microorganismos, como los promotores de crecimiento (PGPR), la aplicación de nitrógeno al suelo, o la aplicación foliar de un fertilizante nitrogenado, ayudarán a encontrar la mejor combinación de estas fuentes de nitrógeno para repercutir en la actividad fotosintética, y lograr un aumento en la productividad del cultivo.

El ensayo correspondiente se realizó durante la campaña 2010-2011, en un establecimiento ubicado en el partido de Junín y los tratamientos que se evaluaron, fueron planteados con las herramientas que el productor agropecuario tiene disponible en el mercado.

Se realizaron diversas evaluaciones sobre el cultivo, tanto en pos emergencia temprana, como así también durante el período vegetativo y en el período reproductivo, registrándose en estos dos últimos estadios el número de plantas logradas, de nódulos

planta<sup>-1</sup> formados sobre la raíz principal y su peso, de nódulos planta<sup>-1</sup> existentes sobre raíces laterales y se recolectaron muestras de biomasa aérea. También se evaluó la viabilidad de los nódulos.

En el final del ciclo del cultivo se determinó el rendimiento y sus componentes, de los distintos tratamientos.

Las condiciones ambientales particulares, durante la campaña, provocaron que no exista una diferencia significativa en el rendimiento entre los tratamientos. Pero lo que efectivamente observamos fue: el efecto negativo de la fertilización nitrogenada al suelo sobre la nodulación, el efecto sinérgico provocado por la co inoculación, y la existencia de una respuesta en la productividad aunque no significativa del cultivo cuando éste tiene cubierta su demanda de nitrógeno.

## **INTRODUCCIÓN**

En Argentina, el cultivo de soja (*Glycine max.*) tuvo una gran expansión en los últimos años, no sólo en el área pampeana central, sino también en las áreas consideradas marginales para la agricultura. Esta expansión de la superficie sembrada, se debió: al desarrollo tecnológico, a la incorporación de cultivares transgénicos y de la siembra directa; y a factores económicos en donde la creciente y sostenida demanda mundial de soja y sus derivados se reflejan en los altos precios internacionales de esta oleaginosa, transformándola en uno de los cultivos más elegidos por el productor.

### **El nitrógeno, principal componente del grano de soja.**

El grano de soja se encuentra formado por un 38% de carbohidratos, 20% de lípidos y 40% de proteínas (Dreccer, M. F. y col, 2008), de este 40% de proteínas el 6,5% es nitrógeno. Debido a esto, el grano de soja tiene un contenido de nitrógeno mayor que los demás cultivos (Maddoni, G. A. y col, 2008).

El cultivo de soja no sólo posee altos valores de requerimientos nutricionales por tonelada de grano producido: 80Kg. de Nitrógeno (N); 8Kg. de Fósforo (P) y 33Kg. de Potasio (K), sino también conserva los más altos valores de índice de cosecha de esos nutrientes (0.75; 0.84 y 0.59, respectivamente); por lo cual la soja es el cultivo más extractivo de nutrientes entre los cultivos extensivos (Dreccer, M. F. y col, 2008).

Para cubrir la alta demanda de nitrógeno (80Kg N/tn. de grano producido), además de la absorción del nutriente desde el suelo, ésta y otras especies de la familia de las leguminosas han desarrollado el mecanismo de la fijación biológica de nitrógeno (FBN), a partir de la asociación con bacterias del suelo pertenecientes a la familia de las *Rhizobiáceas* (Racca, R. 2002); en el caso de la soja, *Bradyrhizobium japonicum*. Como resultado de esta asociación, la planta puede cubrir entre el 30 y 80% del N total requerido (Ferraris, G. y Gonzáles Anta, G. 2007). Algunos investigadores indican valores

dentro de ese rango, cercano al 50% (Ventimiglia, L. 2007) el resto debe tomarlo del suelo.

### **La importancia de la fijación biológica de nitrógeno.**

Es muy amplio el rango de la cantidad de N aportado por la FBN. Esto se debe a una multiplicidad de factores que la condicionan, como la presencia de nitratos en el suelo; el genotipo de soja, la cepa de *Bradyrhizobium* y otros factores como disponibilidad de agua, temperaturas moderadas y cantidad de inoculo disponible. (Maddoni, G. A. y 2008). La importancia de la FBN, está dada no sólo por la cantidad de nitrógeno que aporta, sino también porque la mayor parte de dicho aporte se produce durante el período de máximo requerimiento, alrededor de R5 (inicio de llenado de granos), disminuyendo así la retranslocación de nitrógeno desde otras estructuras de la planta y por lo tanto la senescencia foliar.

Hasta pre-floración los nódulos retienen entre el 30 a 50% del nitrógeno fijado y la nutrición del cultivo está ligada mayormente a la absorción de nitratos desde el suelo. Esto es evidente debido a la predominante actividad de la nitrato reductasa en la planta.

Por otro lado, la presencia de nitratos en el suelo inhibe la infección y el proceso de fijación. En presencia de nitratos, los nódulos permanecen más o menos inactivos provocando que la proporción de N acumulado por la planta vía FBN, tenga una relación inversa con la cantidad de N disponible en el suelo, siendo ésta la mayor limitación a la fijación (Maddoni, G. A. y 2008). Asimismo, la magnitud del aporte de N, a través de la FBN, se verá seriamente afectada por la aplicación de fertilizantes nitrogenados, por el aporte de N a través de la mineralización de la materia orgánica y también por los contenidos residuales de nitratos que quedan en el suelo, luego de una fuerte intensidad de fertilización nitrogenada en el cultivo antecesor. La FBN, disminuye exponencialmente cuando se incrementa la dosis de fertilizante nitrogenado en el área de mayor desarrollo

de los nódulos (Salvagiotti, F. y 2009), lo que imposibilita la utilización de fertilizantes nitrogenados aplicados al suelo como fuente importante de N para el cultivo de soja.

La práctica más recomendable para lograr que la FBN sea una fuente importante de N para el cultivo, es la inoculación con cepas de *Bradyrhizobium japonicum* incorporadas por medio de inoculantes de alta calidad. Debido a que este proceso es altamente demandante de hidratos de carbono y de energía (16 ATP<sup>10</sup>), se requiere de una alta tasa fotosintética (Maddoni, G. A. y 2008). Como los asimilados para sostener la fijación son provistos por la planta, es común observar una estrecha relación entre el crecimiento y la fijación de nitrógeno, ya que ambos procesos dependen de la fotosíntesis (Gutiérrez Boem, F. H. 2005). También, existe una estrecha relación entre el nitrógeno acumulado en la biomasa aérea en el estado R6 (tamaño máximo del poroto) y el rendimiento en grano. (Venturi y Amaducci, 1985 y González N. 1997). En consecuencia, aquellas condiciones que favorezcan al crecimiento del cultivo como una adecuada disponibilidad de agua y de nutrientes van a contribuir a aumentar la tasa de fijación. (Ferraris, G. y Couretot, L. 2007).

### **Poblaciones de Rhizobios nodulantes de la soja en el suelo.**

Como en el suelo no se dispone de los rhizobios adecuados, se los agrega artificialmente sobre la semilla o el suelo, por el método denominado inoculación. El producto biológico desarrollado para este fin se denomina inoculante. En la década del 70, cuando se produjo la expansión del cultivo de la soja en la Argentina; debido a la inexistencia en nuestros suelos de cepas de *Bradyrhizobium Japonicum*, se consideró necesaria la incorporación de estas bacterias a las semillas a través de este procedimiento.

El inicio de cualquier programa de mejoramiento de la FBN, es la selección de cepas. Los criterios básicos a considerar en el proceso de selección son: la capacidad para formar nódulos, (infectividad), para fijar nitrógeno (efectividad), la sobrevivencia en las semillas y en el suelo, la adaptación o tolerancia a situaciones de estrés y la estabilidad genética y



su comportamiento en el proceso de producción de inoculantes. Luego de todas estas evaluaciones se obtiene que las cepas mas eficientes son las que producen una mayor cantidad de nódulos medianos y grandes, siendo rojos en su interior, ubicados en la raíz primaria y que tengan una rápida y prolongada fijación. En cambio, los rhizobios ineficientes producen nódulos pequeños y tienden a paralizar la fijación en etapas más tempranas. (Peticari y col. 2003).

Las cepas introducidas por los inoculantes permanecieron en el suelo después de cada cosecha, lo que permitió el establecimiento en los suelos de poblaciones de rhizobios naturalizadas provenientes de las cepas de los inoculantes. En esas poblaciones se ha desarrollado un proceso de derivación genética, de tal manera que la cepa original introducida con alta eficiencia simbiótica se ha disipado en nuevas subcepas con un variado grado de eficiencia en su capacidad de fijación de nitrógeno, pero que conservan una alta capacidad para formar nódulos. Esto generó el fenómeno de competencia en donde las cepas del inoculante compiten contra los presentes en el suelo por la formación de nódulos. (Peticari, A. y col, 2003). La nodulación en la raíz principal es una característica cualitativa que suele ser de utilidad para determinar la calidad de la nodulación. Los nódulos presentes en la raíz principal han sido formados por las cepas introducidas con el inoculante en las primeras etapas del cultivo; mientras que los de las raíces secundarias son colonizados por cepas naturalizadas y son más numerosos, de menor tamaño y con menor actividad fijadora. (Papakosta, D. K. 1992; Díaz Zorita, M. y 1999; Fernández Canigia, M. V. 2003).

Si bien, las cantidades de bacterias naturalizadas en los suelos son variables (dependiendo de una gran cantidad de factores como las características ambientales de la zona, precipitaciones, temperatura, tipo de suelo, los años de monocultivo de soja, la utilización de inoculantes de calidad y su correcta aplicación) se han determinado valores de referencia.

En suelos con niveles medios de rizobios naturalizados,  $10^2$  a  $10^3$  rizobios por gramo de suelo, la competencia entre los rizobios introducidos con el inoculante y los presentes naturalmente en el suelo, puede resultar de interés, especialmente si la población naturalizada es pobremente efectiva en la fijación de nitrógeno atmosférico. Con valores mayores de población naturalizada, el fenómeno de competencia por la ocupación de los nódulos es muy grande, lo que trae como consecuencia menores beneficios con la inoculación. (Brockweel y col, 1995.).

En aquellos suelos sometidos a un monocultivo de soja con poblaciones naturalizadas de  $10^2$  a  $10^5$  rizobios por gramo de suelo la respuesta en el rendimiento suele ser nula o muy baja. No obstante, aun con incrementos de rendimientos mínimos esperados del 5 al 10%, la práctica de la inoculación permite: el “ahorro” del nitrógeno mineral del suelo frente a un cultivo tan extractivo como la soja; mejorar la calidad del grano a través de una mayor concentración de proteínas y contribuir a una economía anual en el uso de fertilizantes nitrogenados. (Hungria, M. 2006. y Peticari, A. y col, 2003).

### **La co-inoculación, sinergia entre el *Bradyrhizobium japonicum*, y los promotores de crecimiento (PGPR).**

Se han comenzado a utilizar en la agricultura, otros tipos de microorganismos, a los cuales se los ha designado en forma genérica como promotores de crecimiento, o PGPR, por su significado en inglés (Plant growth promotion rhizobacteria).

Dentro de estos promotores hay diversos microorganismos, tales como: *Azospirillum spp*, *Pseudomonas spp*, *Bacillus spp*, *Trichoderma spp*, etc., los cuales cumplen diferentes funciones benéficas y por lo general logran, cuando se combinan en una misma aplicación, efectos sinérgicos. La utilización de los promotores de crecimiento en forma conjunta con el *Bradyrhizobium japonicum* en el cultivo de soja, es una técnica denominada co-inoculación. (Ventimiglia, L. A. y Torrens Baudrix, L. 2012). Los mecanismos por los cuales estos microorganismos ejercen efectos benéficos sobre las

plantas son numerosos. Entre ellos podemos mencionar la fijación de nitrógeno asociada a la raíz, producción de fitohormonas, incremento en la permeabilidad de la raíz, producción de sustancias movilizadoras de nutrientes, sideróforos, resistencia a estreses bióticos y abióticos, etc.

Dentro del grupo de las PGPR, se encuentran las bacterias del género *Azospirillum*, que presentan la capacidad de colonizar raíces y estimular el crecimiento radicular. La inoculación con *Azospirillum*, produce un aumento de la masa radicular, debido a la capacidad de producir fitohormonas, como auxinas, citoquininas y giberelinas que promueven la elongación radical e incrementan las ramificaciones laterales por lo que aumenta el área radical. Se ha demostrado que las plantas inoculadas con esta bacteria absorben más rápido minerales de la solución y, consecuentemente, acumulan más materia seca, N, P y K en tallos y hojas. (Arias, N. 2009).

Otra de las bacterias de interés es *Pseudomonas fluorescens*. Ésta es una bacteria, que además de ser promotora de crecimiento, tiene la particularidad de solubilizar algunas fracciones de fósforo habitualmente no disponibles para las plantas. Esta solubilización, la puede hacer tanto del fósforo presente en el suelo, como también del fósforo contenido en el fertilizante aplicado. (Ventimiglia, L. A. y Torrens Baudrix, L. 2012).

### **La aplicación foliar de nitrógeno como alternativa.**

Por lo tanto, además de contar la planta con la posibilidad de cubrir esa gran cantidad de nitrógeno demandado (80Kg N/tn. de grano producido), a través de la acotada absorción desde el suelo y la fijación biológica del nitrógeno atmosférico, la aplicación vía foliar de una fuente nitrogenada como complemento de la nutrición del cultivo, puede ser una herramienta importante de manejo a tener en cuenta para lograr incrementar los rendimientos en el cultivo de soja. La fertilización foliar realizada en momentos estratégicos, puede resultar en un aumento de la fotosíntesis, un retraso en la senescencia foliar y el rendimiento medio en granos puede incrementarse.

La elección del momento de aplicación del fertilizante foliar es muy importante, el mejor momento ha sido ubicado en la etapa reproductiva. En soja de primera como de segunda siembra desde el estado R1 inicio de floración de la escala de Fehr y Caviness, hasta R5 inicio de llenado de granos, la soja es receptiva a los fertilizantes foliares permitiendo alcanzar incrementos de rendimiento. Cuando las aplicaciones se efectúan en las etapas vegetativas, normalmente ocurre un incremento de la biomasa vegetativa pero raramente ocurre lo mismo en la biomasa reproductiva. (Ventimiglia, L. A. y Carta, H. G. 2006).

La aplicación de un fertilizante foliar, es en realidad, un complemento de la fertilización de base que recibe un cultivo, o de la fertilidad natural que puede poseer determinado suelo.

La absorción foliar de los nutrientes, se da a través de los estomas y por los ectodesmos, siendo estas últimas cavidades submicroscópicas semejantes a cavernas, ubicadas en las paredes celulares y en la cutícula en ambas caras de las hojas (Ventimiglia, L. A. y Carta, H. G. 2006). Los ectodesmos son canales de muy reducido diámetro que atraviesan la cutícula desde la membrana hasta la superficie en una gran cantidad de sitios, no es una prolongación o extrusión de la membrana, sino un tubo capilar lleno de una solución acuosa. (Beltrano, J. y col 2006).

La fertilización foliar es considerada una de las estrategias más eficientes de aplicación de nutrientes, presentando la ventaja de poder aplicarlos en los momentos de mayor demanda del cultivo gracias a su rápida absorción. Además, cuenta con la ventaja operativa de hacerlo de manera conjunta con agroquímicos defensivos para la protección del cultivo siempre que las formulaciones sean compatibles. (Arias, N. y Marassi, P. 2011).

Luego de abordar las diferentes alternativas de nutrición nitrogenada que tenemos en el cultivo de soja, daremos paso a la evaluación de sus posibles combinaciones y su impacto en la productividad del cultivo.

## **HIPÓTESIS**

Cambios en las condiciones del cultivo de soja que repercutan en la actividad fotosintética, mejorarán el suministro de carbono a las bacterias específicas, favoreciendo así, la fijación biológica de nitrógeno en estados reproductivos avanzados, logrando un incremento de la productividad del cultivo de soja.

## **OBJETIVO**

Evaluar el efecto que tiene en el cultivo de soja distintas fuentes de provisión de N: inoculación con bacterias fijadoras de N; bacterias PGPR; y la fertilización nitrogenada con una fuente sólida y otra líquida, contando esta última con un posible efecto anti estrés.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Evaluar el efecto de los distintos tratamientos sobre las características principales del proceso de nodulación, como lo son, el número de nódulos logrados, su peso y viabilidad.
- Evaluar el efecto de los distintos tratamientos sobre la densidad de plantas, la producción de biomasa aérea, el rendimiento y sus componentes.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El ensayo se realizó en un establecimiento ubicado sobre la ruta provincial N° 65 a 5 Km. de Fortín Tiburcio, partido de Junín. El lote tiene más de 20 años de agricultura continua y el cultivo antecesor era maíz.

La variedad de soja elegida para la realización del ensayo fue DM 4250 (GM. IV corto), que se sembró el 2 de noviembre con una sembradora APACHE 6100 de 13 surcos, con distribución a placa en plano inclinado. La distancia entre hileras fue de 52, 5 cm. y la densidad sembrada 25 granos/metro lineal.

Se aplicó al momento de la siembra 72Kg. / ha. de Superfosfato triple (SPT) en la línea de siembra.

Aquellos tratamientos inoculados y/o curados, se trataron con 176 cm<sup>3</sup> de protector, 240cm<sup>3</sup> de inoculante y 240 cm<sup>3</sup> de curasemilla, cada 100kg. de semilla.

En los tratamientos fertilizados con nitrógeno en forma sólida, la dosis que se manipuló se correspondió con una dosis equivalente al requerimiento de un rendimiento de 5tn. de soja por hectárea, y teniendo en cuenta el aporte del suelo, pero sin considerar el aporte de las bacterias naturalizadas. El fertilizante aplicado fue urea a chorrillo en el entre surco, a razón de 700Kg. /ha, lo que representa 322Kg de Nitrógeno por hectárea. Este tratamiento, no se planteó como una alternativa de manejo más que se desea contrastar debido a su insostenibilidad tanto ambiental como económica. El objetivo de éste, es tratar de mantener cubierta la demanda de nitrógeno de la planta y así poder observar o no, cual es la magnitud del incremento del rendimiento cuando esta demanda se encuentra satisfecha.

La cantidad de fertilizante foliar aplicado por hectárea fue de 1 litro. Este poseía Nitrógeno (N) 2.0 % y Potasio (K) 3.0 %, además de contar con un efecto anti estrés. Por lo tanto, se aplicaron 20cc de Nitrógeno y 30cc de Potasio por hectárea. La aplicación del fertilizante foliar se realizó con una pulverizadora autopropulsada, en el estado de R4.

El diseño experimental que se utilizó fue el de parcelas divididas en bloques completos al azar, en donde el factor A (con y sin fertilización foliar) se asignó a parcelas grandes, y en las subparcelas se aplicó un factor B de 4 niveles de tratamientos de semillas. Los bloques utilizados fueron 3.

**Tratamientos:**

- 1) Testigo.
- 2) Nitrógeno sólido al suelo.
- 3) Inoculante tradicional (*Bradyrhizobium japonicum*).
- 4) Inoculante TURBO (*Bradyrhizobium japonicum* + PGPR, *Azospirillum Brasilense* y *Pseudomona Fluorescens*).
- 5) Testigo + Fertilizante foliar.
- 6) Nitrógeno sólido al suelo. + Fertilizante foliar.
- 7) Inoculante tradicional (*Bradyrhizobium japonicum*). + Fertilizante foliar.
- 8) Inoculante TURBO (*Bradyrhizobium japonicum* + PGPR, *Azospirillum Brasilense* y *Pseudomona Fluorescens*). + Fertilizante foliar.

Las semillas de todos los tratamientos fueron tratadas con fungicidas, formulados con 12,5% de TIRAM + 12,5% de CARBENDAZIM.

**Distribución de los tratamientos en los bloques:**

BLOQUE I

7	6	5	8
4	1	3	2

BLOQUE II

8	5	6	7
3	1	2	4

BLOQUE III

2	3	4	1
5	7	6	8

Los números indican la distribución al azar de las repeticiones de los tratamientos en los bloques.

La dimensión de cada tratamiento fue de 20 metros de largo por 7 surcos de ancho. Cada parcela ocupó una superficie aproximada de 73.5 m<sup>2</sup> (3,68 m de ancho por 20m de largo).

Los resultados se analizaron mediante el análisis de la varianza y para la comparación de medias se usó la prueba de Tukey al 0,05 de probabilidad. Se efectuó un análisis de regresión lineal simple y se calculó el coeficiente de determinación, para evaluar la relación existente entre: rendimiento y el número de plantas a cosecha, rendimiento y materia seca aérea producida, rendimiento y cantidad de nódulos de la raíz principal, materia seca aérea producida y cantidad de nódulos de la raíz principal.

La técnica de Regresión lineal simple, se utiliza para analizar la relación estadística entre dos variables. El objetivo es establecer una relación funcional entre las dos variables que describa lo mas exactamente posible la variación conjunta que existe entre ellas, encontrando la línea recta que mejor describa la relación entre la variable predoctora (X) y la variable respuesta (Y).

El coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>), es una medida descriptiva del grado de asociación lineal entre las variables, e indica cuánto de la variación total de (Y) puede ser explicada por la dependencia lineal de (X). En la práctica no es probable que R<sup>2</sup> sea igual a 0 o 1, sino que se encuentra entre ambos valores. Cuanto más cerca de 1 sea el valor, más grande es el grado de asociación lineal entre las variables. (Perelman, S. B.; Bartolini, N. J. y Gonzáles, M. 2004.).

### **Descripción de las tareas realizadas.**

En primer lugar, y antes de la siembra de los tratamientos, se efectuó un análisis de suelo mediante la toma de muestras distribuidas al azar dentro del espacio delimitado para la realización del ensayo. Las muestras se tomaron a una profundidad de 0-20cm; 20-40cm



y 40-60cm respectivamente, con el objetivo de evaluar la fertilidad natural del suelo, solicitándole al laboratorio determinaciones de PH, materia orgánica, nitratos y fósforo disponible. También se tomaron muestras de suelo con el objetivo de cuantificar la cantidad de rizobios nodulantes presentes en el suelo. Las mismas se tomaron con barreno a una profundidad de 0-20 centímetros y fueron analizadas por el Instituto de Microbiología y Zoología Agrícola (IMIZA) del INTA Castelar.

El día 4 de noviembre (dos días después de la siembra) se aplicó el fertilizante nitrogenado sólido urea. La aplicación del mismo fue a chorrillo sobre el entresurco en el tratamiento correspondiente. Las condiciones ambientales durante la aplicación fueron las siguientes: temperatura: 26° C., humedad: 60% y viento: 10 Km. / hora.

Diez días después de la siembra se evaluó el número de plantas emergidas en tres metros lineales de surco, a través de cinco conteos sobre cada repetición de los tratamientos.

También, se calculó el Coeficiente de logro, el cual, representa el número de plantas logradas en relación al número de semillas sembradas. El cálculo se realizó teniendo en cuenta el número de plantas/m<sup>2</sup> en los distintos tratamientos a los diez días después de la siembra y la densidad de siembra, que fue de 25 semillas por metro lineal de surco.

En el estado de V4 de la escala de Fehr y Caviness, se realizó un recuento del número de plantas logradas, de nódulos planta<sup>-1</sup> formados sobre la raíz principal y su peso, de nódulos planta<sup>-1</sup> existentes sobre raíces laterales y se recolectaron muestras de biomasa aérea. Las determinaciones se efectuaron sobre dos metros lineales, que fueron tomadas en forma aleatoria de cada una de las repeticiones de los tratamientos. Las muestras de biomasa se secaron en un horno microondas hasta alcanzar peso constante y luego se pesaron con una balanza de precisión.

En el estado de R4 de la escala de Fehr y Caviness, se aplicó el fertilizante foliar sobre los tratamientos designados a razón de 1 litro de producto por hectárea. Se utilizó para la

aplicación una pulverizadora autopropulsada con un caudal de 90 litros / Ha. Las condiciones ambientales durante la aplicación fueron las siguientes: temperatura: 22° C., humedad: 63% y viento: 5 Km. / hora.

En el estado de R5 de la escala de Fehr y Caviness, se evaluó el número de nódulos planta<sup>-1</sup> formados sobre la raíz principal y su peso, y el número de nódulos planta<sup>-1</sup> presentes sobre raíces secundarias. Asimismo, se calculó la viabilidad de los nódulos observando su coloración interna tomando plantas al azar en los distintos tratamientos y se recolectaron muestras de biomasa aérea. Las determinaciones se realizaron sobre dos metros lineales que fueron tomadas en forma aleatoria de cada una de las repeticiones de los tratamientos. Las muestras de biomasa se secaron en horno microondas hasta alcanzar peso constante y luego se pesaron con una balanza de precisión.

Además de evaluar el número y peso de los nódulos en los distintos tratamientos, se observó la viabilidad de los nódulos a través de la visualización de la coloración interna de los mismos. Esta evaluación no fue sometida al análisis estadístico, ya que no se realizaron repeticiones, si no que se realizó con el objetivo de mostrar la situación. Se evaluaron plantas al azar en los distintos tratamientos, y se estableció el porcentaje de los nódulos de la raíz principal, que se encontraban inactivos, es decir aquellos nódulos que presentaban en su interior una coloración verde.

En la etapa de madurez fisiológica se establecieron tres estaciones de muestreo por cada repetición de los tratamientos. El área de cada unidad debió ser de 1m<sup>2</sup>. En las mismas se registró la densidad final de plantas, y a su vez se extrajeron las vainas para determinar el rendimiento. El material se trilló a mano, y luego se pesó con balanza de precisión.

### **Condiciones ambientales.**

Al momento de describir el ambiente en el cual se ubicó y desarrolló el ensayo, se analizaron las precipitaciones, la temperatura y la radiación expresadas durante el período de duración del mismo. Además, de una descripción del suelo previo análisis.

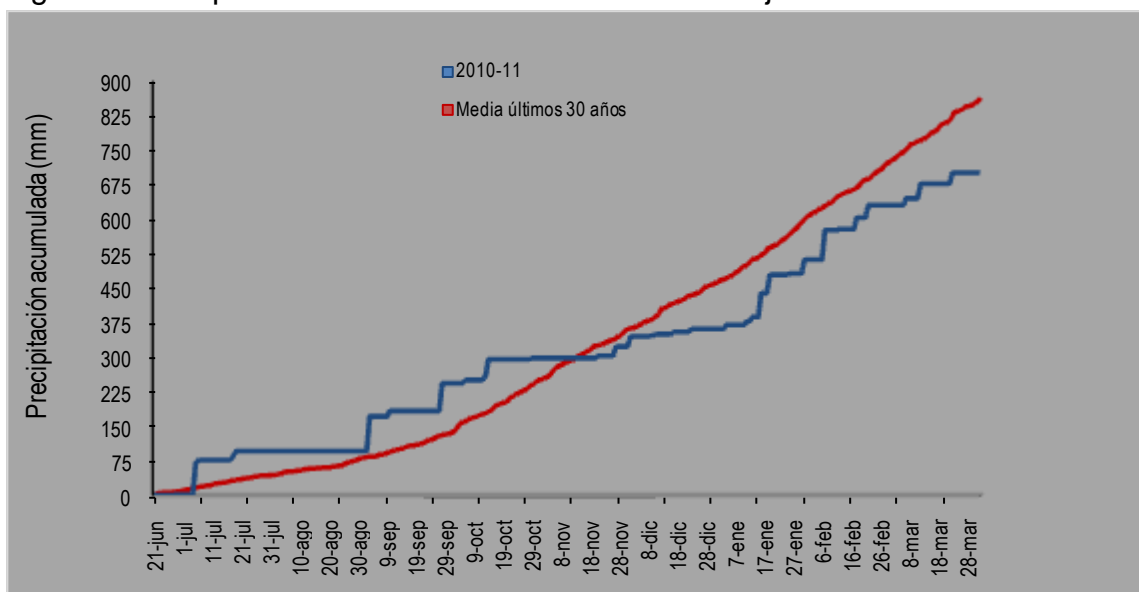
### **Precipitaciones.**

Para llevar a cabo un análisis de las precipitaciones, el mismo se acotó al período de tiempo transcurrido entre el inicio del barbecho, 21 de junio de 2010 y la cosecha, 1 de abril de 2011. El total de las precipitaciones fue de alrededor de 700 mm en este período. A continuación, se las comparó con el promedio de precipitaciones registradas en el mismo período en los últimos 30 años, y se analizó la distribución de las mismas durante la campaña.

Las precipitaciones registradas, se ubican 150 mm por debajo de las precipitaciones medias acumuladas durante el mismo período en los últimos 30 años. Pese a esto, si observamos su evolución mes a mes, veremos que hasta fines del mes de octubre las precipitaciones acumuladas fueron mayores en la campaña 2010-2011. Durante el mes de noviembre las lluvias fueron escasas, transformándose en el noviembre más seco desde que se reúne información climática en la zona. Este período de escasas lluvias, provocado por el efecto de “La niña”, se extendió hasta mediados del mes de enero como se puede ver en las curvas de la figura (Figura 1).

Desde mediados del mes de enero, si bien las lluvias aumentaron su frecuencia acercándose a los registros históricos, la campaña se presentó más seca de lo normal.

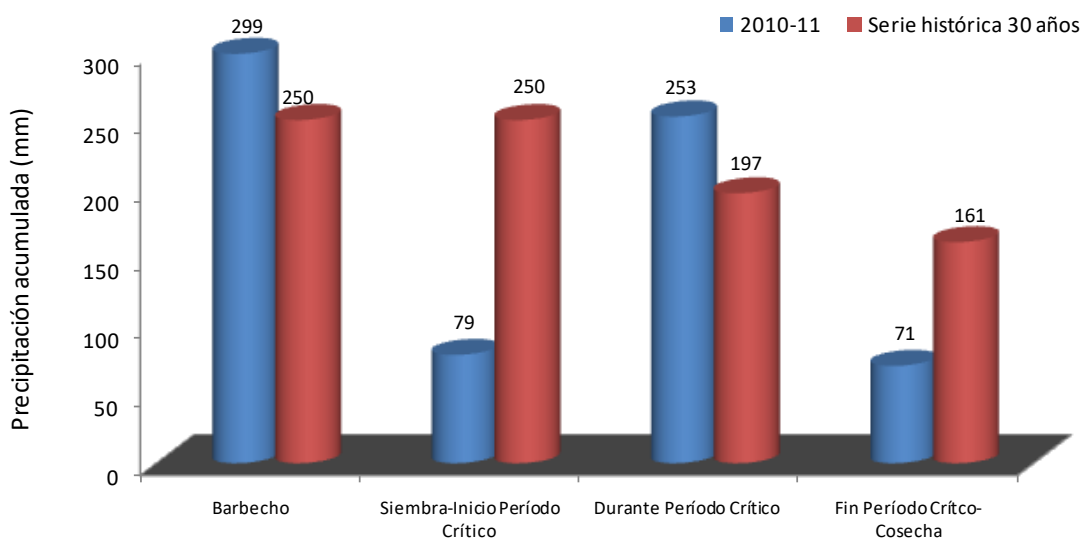
Figura 1: Precipitaciones acumuladas desde el 21 de junio al 1 de abril.



Además de analizar las precipitaciones acumuladas durante la campaña, es muy importante evaluar la distribución de las precipitaciones registradas en las distintas etapas fenológicas del cultivo.

Para analizar la distribución de las precipitaciones, se dividió el ciclo del cultivo en cuatro períodos y se compararon la cantidad de precipitaciones ocurridas en los mismos durante la campaña 2010-2011 con la media histórica. Las etapas consideradas fueron: Barbecho, Siembra-Inicio del Periodo crítico, Periodo crítico, Fin del Periodo crítico-Cosecha. (Figura 2).

Figura 2: Precipitaciones acumuladas en las distintas etapas fenológicas del cultivo.



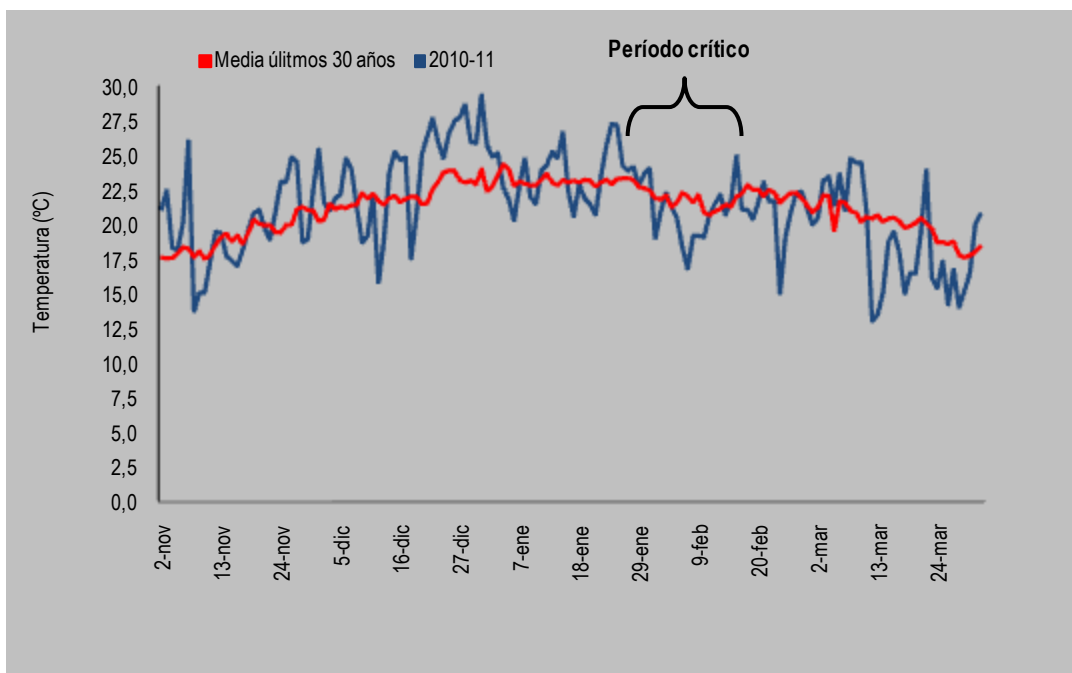
Como resultado del gráfico, se desprende que en el período de barbecho y durante el período crítico de cultivo las precipitaciones acumuladas fueron mayores en la campaña 2010-11, y que en el período comprendido entre la siembra y el inicio de período crítico las lluvias acumuladas fueron alrededor del 30% del promedio de precipitaciones acumuladas en ese período en los últimos 30 años.

### **Temperatura.**

Para realizar un análisis de las temperaturas medias que se expresaron durante el ciclo de crecimiento del cultivo, se las confrontó con las temperaturas medias registradas durante el mismo período en los últimos 30 años.

Al observar el gráfico (Figura 3), éste nos revela, que las temperaturas desarrolladas durante la campaña en discusión se ubican levemente por encima de las temperaturas medias de los últimos 30 años hasta el inicio del período crítico. Momento a partir del cual, esta tendencia se revierte registrándose temperaturas más frescas hasta el final del período de crecimiento del cultivo.

Figura 3: Temperatura media diaria desde el 2 de noviembre hasta el 1 de abril.



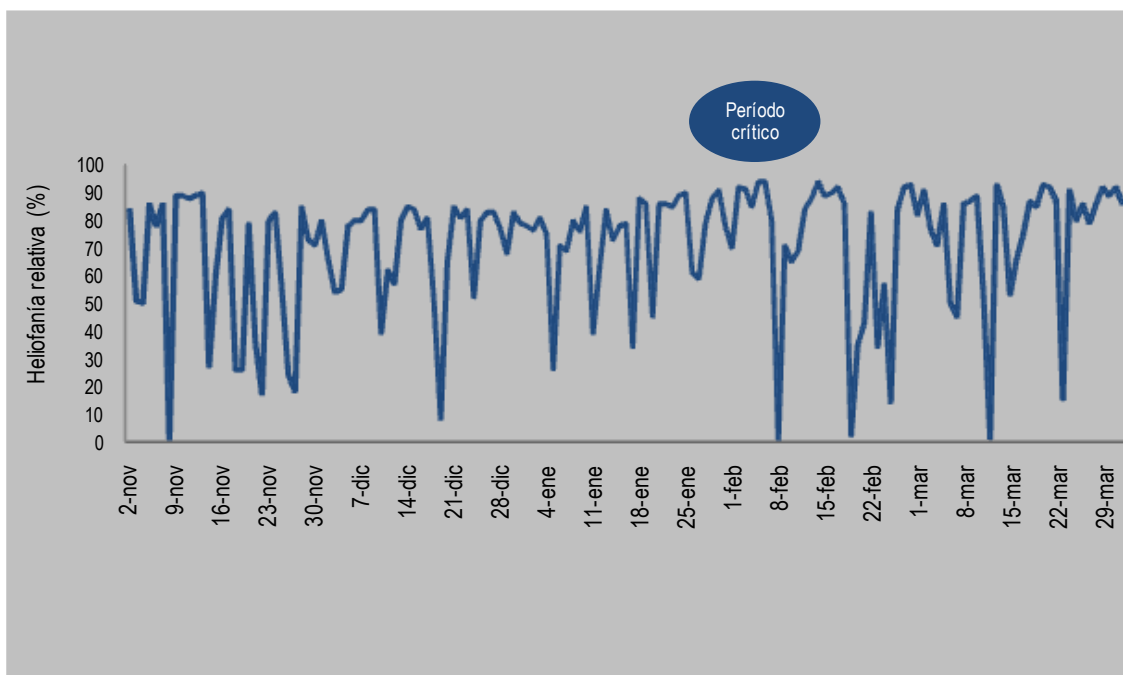
## Radiación.

Otro concepto climático de importancia que aporta a la descripción del ambiente en donde se desarrolló la experiencia es la radiación.

Aunque no se pudieron obtener los valores de radiación solar incidente, es decir, la intensidad de la radiación, se utilizó el concepto de heliofanía relativa, que es el cociente entre la heliofanía efectiva y la heliofanía teórica astronómica, quienes se definen a continuación.

La heliofanía efectiva es el período de tiempo (expresado en horas), durante el cual el lugar de observación ha recibido radiación solar directa. La heliofanía teórica astronómica se define como el máximo período de tiempo (expresado en horas) durante el cual se podría recibir radiación solar directa, independientemente de las obstrucciones causadas por fenómenos meteorológicos o relieves topográficos, para un lugar y fecha determinados. Durante el período crítico del cultivo, la heliofanía teórica astronómica era de 14.5 h, y la heliofanía relativa promedio durante ese lapso fue del 73%. En esta etapa la frecuencia de días con heliofanía relativa menor al 50%, fue de 1.6 de cada 10 días.

Figura 4: Heliofanía durante el ciclo del cultivo.



### Características del suelo.

A continuación, se presentan los resultados del análisis de suelo:

Tabla 1: Resultados del análisis de suelo en las distintas profundidades evaluadas.

	PROFUNDIDAD		
	0-20 cm.	20-40 cm.	40-60 cm
<b>PH (1: 2,5)</b>	5,98		
<b>Materia Orgánica (%)</b>	2,06		
<b>Carbono W. y B. (%)</b>	1,2		
<b>NITRATOS (ppm)</b>	28,67	20,49	17,24
<b>Nitrógeno de Nitratos (ppm)</b>	6,49	4,64	3,9
<b>Fósforo asimilable (ppm)</b>	11,14		
<b>Humedad</b>	15,04	17,48	16,96

De acuerdo a lo observado en la tabla 1, podemos decir que el suelo presenta un nivel de PH óptimo para el crecimiento y desarrollo del cultivo de soja. La cantidad de materia orgánica se corresponde con el de los suelos de la zona, sometidos a varias décadas de agricultura convencional. La cantidad de fósforo asimilable se encuentra muy cerca del umbral crítico de 12 ppm. recomendado para el cultivo de soja (Ferrari, M. 2008).

#### Cantidad de rizobios existentes en el suelo donde se realizó el ensayo.

Se encontraron en promedio una población de rizobios nodulantes naturalizados de  $2,56 \times 10^4$  (25600) bacterias por gramos de suelo húmedo.

Teniendo en cuenta los resultados del análisis, podemos decir que el suelo tenía una alta población de bacterias nodulantes naturalizadas, generándose como consecuencia una competencia en la nodulación con las bacterias incorporadas con el inoculante.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Conteo de plantas diez días después de la siembra.

A los diez días después de la siembra, se evaluó el número de plantas emergidas con el objetivo de encontrar diferencias entre los tratamientos que se expresarían en un mayor vigor en las plántulas, y por lo tanto en una mayor o menor velocidad de nacimiento entre los tratamientos.

Tabla 2: Número de Plantas/m<sup>2</sup> en los distintos tratamientos a los diez días después de la siembra y Coeficiente de logro.

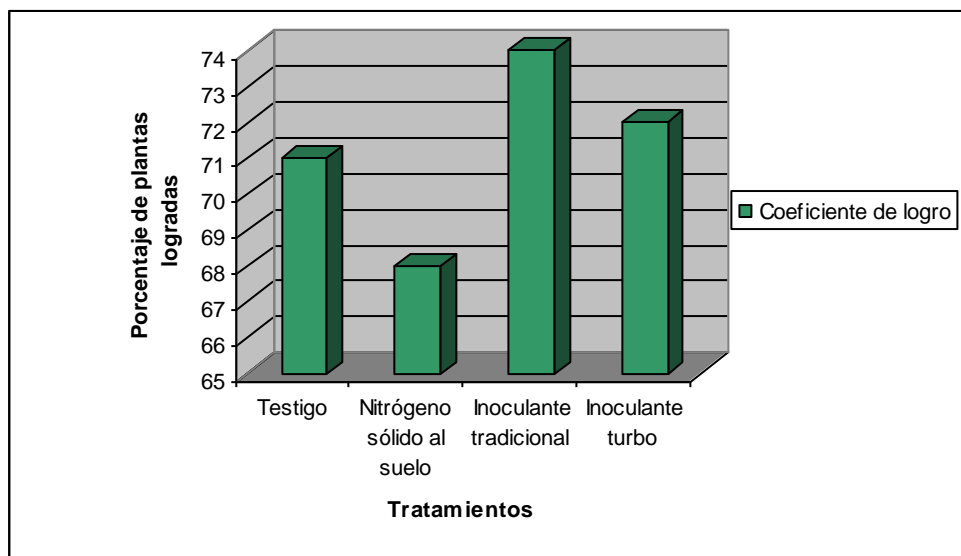
Tratamientos	Plantas / m <sup>2</sup>	Coeficiente de logro (%)
Testigo	33,9	71
Nitrógeno sólido al suelo	32,8	68
Inoculante tradicional	35,6	74
Inoculante turbo	34,4	72
<b>Valor P</b>	<b>0,20</b>	

Luego de realizar el análisis estadístico correspondiente de los datos relevados, no se encontraron diferencias significativas ( $p= 0.20$ ) entre los tratamientos en cuanto al número de plantas emergidas a los diez días después de la siembra, no observándose un efecto sobre la velocidad de nacimiento de las plántulas.

El Coeficiente de logro promedio obtenido fue 71,25%, valor que se encuentra muy cercano al 72% establecido por Becco 2011, quien plantea a este valor como el coeficiente de logro promedio al que arriba el productor con el tratamiento de semillas realizado a campo. Este valor se encuentra alejado de coeficientes de logro cercanos al 90% obtenido a partir de semillas sometidas al tratamiento profesional de semillas en origen. El tratamiento Inoculante tradicional, fue el que obtuvo el mayor coeficiente de logro. (Tabla 2).



Figura 5: Coeficiente de logro de los distintos tratamientos.



### Densidad final de plantas.

Como no existió interacción significativa entre la aplicación del fertilizante foliar y los tratamientos de semilla, en el número de plantas/m<sup>2</sup> que llegaron a cosecha, se analizaron cada uno de los factores por separado (Tabla 3 y 4).

Tabla 3: Densidad final de plantas en función del uso de fertilizante foliar

Aplicación de Foliar	Plantas / m <sup>2</sup>
No	36,6 a
Sí	39,8 a
<b>Valor P</b>	<b>0,11</b>

Tabla 4: Densidad final de plantas en los distintos tratamientos

Tratamientos	Plantas / m <sup>2</sup>
Testigo	36,8 a
Nitrógeno sólido al suelo	37,8 a
Tradicional	36,8 a
Turbo	40,8 a
<b>Valor P</b>	<b>0,18</b>

Luego de realizar el análisis estadístico correspondiente de los datos relevados, no se encontraron diferencias significativas ( $p= 0.18$ ) entre los tratamientos en cuanto a la densidad final de plantas (Tabla 4).

### Determinaciones en el estado de V4 de la escala de Fehr y Caviness.

#### Número de nódulos y peso fresco de los nódulos de la raíz principal.

En el estado de V4 se realizó un conteo del número de nódulos tanto en la raíz principal como en las raíces secundarias, no encontrándose diferencias significativas ( $p=0.17$ ) en el número de nódulos en la raíz principal entre los tratamientos. Si se encontraron diferencias significativas ( $p=0.001$ ) en el número de nódulos en las raíces secundarias entre los tratamientos. Los tratamientos Testigo e Inoculante Tradicional, tuvieron una mayor cantidad de nódulos en las raíces secundarias que los tratamientos Nitrógeno sólido al suelo e Inoculante Turbo. (Tabla 5).

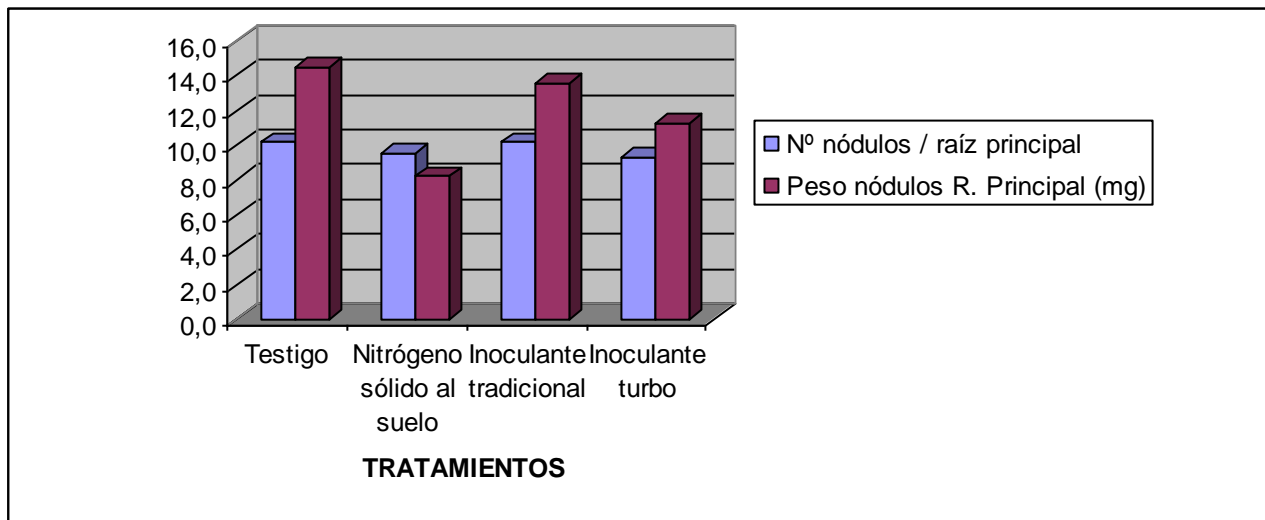
Tabla 5: Cantidad de nódulos en la raíz principal y secundaria y peso fresco de los nódulos de la raíz principal relevados en los distintos tratamientos en el estado de V4.

Tratamientos	Nº nódulos / raíz principal	Nº nódulos / raíces secundarias	Peso nódulos R. Principal (mg)
Testigo	10,2	14,6 a	14,5 a
Nitrógeno sólido al suelo	9,5	9,1 b	8,2 b
Inoculante tradicional	10,2	15,3 a	13,6 a
Inoculane turbo	9,3	9,7 b	11,3 ab
<b>Valor P</b>	<b>0,17</b>	<b>0,001</b>	<b>0,02</b>

La cantidad de nódulos encontrada en la raíz principal, 9,8 nódulos en promedio en los distintos tratamientos, se acerca a lo establecido por Peticari y col. 2003, quien plantea que en los estados vegetativos V4-V5 las plantas deben tener de 10-12 nódulos en la raíz principal.

Debido a la importancia de la relación existente entre el tamaño de los nódulos y su actividad, se evaluó el peso fresco de los nódulos de la raíz principal, en donde se encontraron diferencias significativas ( $p=0.02$ ) entre los tratamientos. El tratamiento Nitrógeno sólido al suelo tiene el menor peso de nódulos en comparación con el resto de los tratamientos.

Figura 6: Número y peso fresco de los nódulos de la raíz principal en V4, de los distintos tratamientos.



Al comparar el número de nódulos de la raíz principal con su peso, vemos que aunque no se encontraron diferencias significativas en el número de nódulos de la raíz principal ( $p=0.17$ ), sí se encontraron diferencias en el peso fresco de los nódulos ( $p=0.02$ ) (Tabla 5), por lo que, los tratamientos Testigo, Inoculante tradicional e Inoculante turbo, ante una misma cantidad de nódulos, tuvieron un mayor peso fresco de nódulos que el tratamiento Nitrógeno sólido al suelo.

De esta manera, vemos como la presencia de nitratos en el suelo es un factor que condiciona la FBN, en este caso disminuyendo el peso fresco de los nódulos.

### Biomasa aérea.

También se cuantificó la producción de biomasa aérea a través de la cantidad de materia seca aérea por hectárea, encontrándose diferencias significativas entre los tratamientos Nitrógeno sólido al suelo e Inoculante turbo (Tabla 6).

Tabla 6: Biomasa aérea expresada en kilogramos de materia seca producida por hectárea en el estado de V4 por los distintos tratamientos.

Tratamientos	MS Aérea (kg./ha)
Testigo	1100 ab
Nitrógeno sólido al suelo	1280 a
Inoculante tradicional	1140 ab
Inoculante turbo	1040 a
<b>Valor P</b>	<b>0,04</b>

En el estado de R4 de la escala de Fehr y Caviness, se aplicó el fertilizante foliar sobre los tratamientos designados a razón de 1 litro de producto por hectárea.

### Determinaciones en el estado de R5 de la escala de Fehr y Caviness.

#### Número de nódulos.

Como no existió interacción significativa entre la aplicación del fertilizante foliar y los tratamientos de semilla en el número de nódulos planta<sup>-1</sup>, se analizaron cada uno de los factores por separado (Tabla 7 y 8).

Tabla 7: Número de nódulos en la raíz principal y raíces secundarias relevados en función del uso de fertilizante foliar.

Aplicación de Foliar	Nº nódulos / raíz principal	Nº nódulos / raíces secundarias
No	16,67 a	51,92 a
Sí	17,3 a	44,9 a
<b>Valor P</b>	<b>0,38</b>	<b>0,48</b>

Tabla 8: Número de nódulos en la raíz principal y raíces secundarias en los distintos tratamientos en el estado de R5.

Tratamientos	Nº nódulos / raíz principal	Nº nódulos / raíces secundarias
Testigo	12,5 b	26,5 b
Nitrógeno sólido al suelo	18,5 a	60,5 a
Inoculante tradicional	17,8 a	52 a
Inoculante turbo	19,17 a	55,8 a
<b>Valor P</b>	<b>0,001</b>	<b>0,002</b>

Se encontraron diferencias significativas entre tratamientos tanto en las raíces principales como secundarias.

Estas diferencias se observan más marcadamente en las raíces secundarias, en donde la cantidad de nódulos de los tratamientos Nitrógeno sólido al suelo, Inoculante turbo e Inoculante tradicional es notablemente superior a la cantidad de nódulos del Testigo. Debemos tener en cuenta que, al evaluar la viabilidad de los nódulos de la raíz principal a través de su coloración interna, el tratamiento Nitrógeno sólido al suelo presentó un 80% de nódulos muertos.

Si bien, existen diferencias entre los tratamientos, todos llegaron a alcanzar el umbral propuesto por Peticari y col. 2003, quien considera que una adecuada nodulación presenta en el estado reproductivo R5-R6 al menos doce nódulos en la raíz principal y entre cuarenta y cincuenta nódulos por planta.

Todos los tratamientos llegaron a los valores de umbral establecidos por la bibliografía en cuanto al número de nódulos tanto en raíz primaria como secundaria, pero en el tratamiento Testigo la cantidad de nódulos totales fue un 46 por ciento inferior al promedio de los tratamientos inoculados. Esta diferencia en la nodulación se tradujo al final del ciclo del cultivo, ya que éste, fue el tratamiento que obtuvo el menor rendimiento; lo que revela la importancia de no abandonar la inoculación pese a estar frente a lotes sometidos al monocultivo de soja.

### Peso fresco de los nódulos de la raíz principal.

En el estado de R5 se relevó nuevamente el peso de los nódulos de la raíz principal, encontrándose interacción significativa entre la aplicación del fertilizante foliar y los tratamientos de semilla para el peso fresco de los nódulos de la raíz principal.

Al realizar el análisis estadístico, vemos que existieron diferencias significativas entre los tratamientos ( $p < 0.0129$ ).

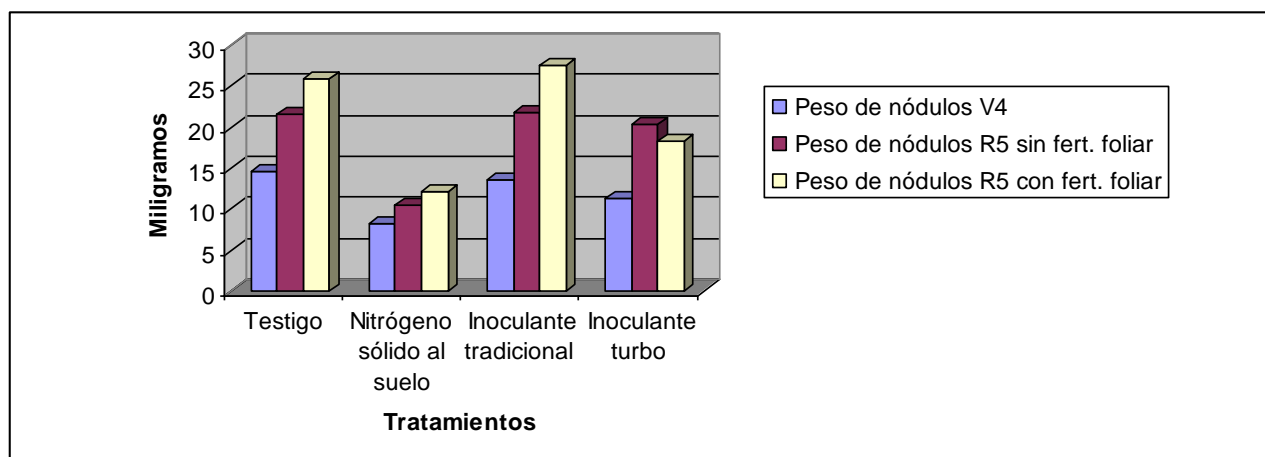
Tabla 9: Peso fresco individual de los nódulos de la raíz principal en el estado de R5.

Tratamientos	Peso nódulos (mg)
Testigo	21,6 bc
Nitrógeno sólido al suelo	10,4 d
Inoculante tradicional	21,8 bc
Inoculante turbo	20,3 c
Testigo + Fertilizante foliar	25,8 ab
Nitrógeno sólido al suelo + Fertilizante foliar	12,2 d
Inoculante tradicional + Fertilizante foliar	27,5 a
Inoculante turbo + Fertilizante foliar	18,2 c
<b>Valor P</b>	<b>&lt;0,0129</b>

Los tratamientos Inoculante tradicional + Fertilizante foliar y Testigo + Fertilizante foliar tuvieron el mayor peso fresco de nódulos diferenciándose significativamente de los tratamientos Inoculante turbo + Fertilizante foliar y Nitrógeno sólido al suelo + Fertilizante foliar, y del resto de los tratamientos sin fertilizante foliar.

En los tratamientos en los que no se aplicó el fertilizante foliar, el tratamiento Nitrógeno sólido al suelo, presentó un peso fresco de nódulos significativamente inferior que los tratamientos Inoculante tradicional, Testigo e Inoculante turbo, entre los cuales no existieron diferencias significativas.

Figura 7: Evolución del peso fresco individual de los nódulos



Al agrupar las evaluaciones de peso fresco de los nódulos, vemos que el tratamiento Nitrógeno sólido al suelo se mantuvo con valores inferiores que el resto de los tratamientos no viéndose afectado este parámetro por la fertilización foliar.

Si multiplicamos el número de nódulos de la raíz principal por su peso fresco individual obtendremos el peso fresco total de los nódulos de raíz principal de los distintos tratamientos. De esta manera promediando todos los tratamientos, el peso fresco de los nódulos de la raíz principal ha sido de 330 miligramos. Encontrándose este valor muy por debajo de lo planteado por Peticari y Piccinetti (2007), quienes establecen un peso fresco superior a 1 gramo por planta.

Pero estos 330 miligramos de nódulos promedio en la raíz principal que se encontraron en nuestro ensayo, se acercan a los 250 miligramos registrados por otros autores como Pietrarelli y col (2008), quienes asociaron este menor valor al efecto del estrés hídrico registrado durante la campaña en donde se desarrolló el ensayo.

Esta situación coincide con lo sucedido en la campaña 2010-2011, donde en el período comprendido entre la siembra y el inicio de periodo crítico las lluvias acumuladas fueron alrededor del 30% del promedio de precipitaciones acumuladas en ese período en los últimos 30 años.

Los efectos del estrés hídrico son directos sobre la nodulación y la fijación biológica de nitrógeno. Las siembras en condiciones secas provocan la mortandad de bacterias y

disminuyen la posibilidad de lograr una nodulación apropiada; la falta de agua en etapas tempranas retrasa la aparición de los nódulos. Cada vez que el agua útil disminuye por debajo del 60%, se compromete la fijación de nitrógeno. Normalmente la capacidad de fijación de los mismos se restablece si las condiciones de sequía no son tan severas o duran muchos días. No obstante, llega un punto (menos del 10% del agua útil) que, aunque los nódulos, y el cultivo, recuperen su humedad al llover o regarse, la capacidad de fijación de los nódulos no se recupera más. (Peticari y col. 2003.).

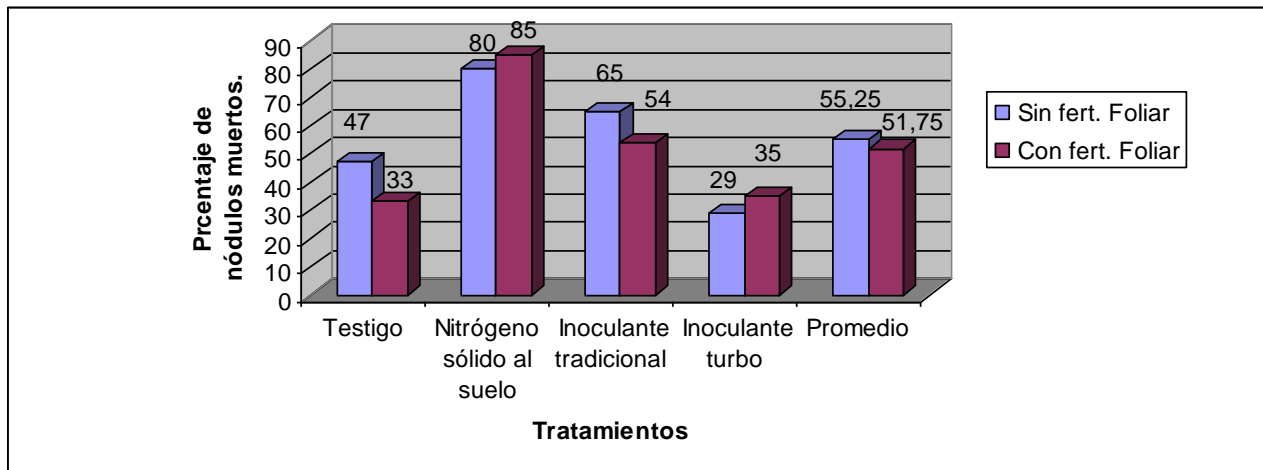
Ningún tratamiento llegó a los valores establecidos por la bibliografía en cuanto al peso fresco total de nódulos por planta, siendo en promedio un 70 por ciento inferior al umbral establecido para situaciones normales. Pese a esto, se encontró interacción significativa, es decir, complementariedad entre la aplicación del fertilizante foliar y los tratamientos de semilla, para el peso fresco de los nódulos de la raíz principal, observándose un efecto positivo sobre la actividad fotosintética y el suministro de carbono a las bacterias específicas logrado por el fertilizante foliar.

#### Viabilidad de los nódulos a través de la observación de su coloración interna.

Durante el proceso de simbiosis, la planta también expresa proteínas específicas del nódulo a las que se llaman nodulinas. Entre ellas, la leghemoglobina, quien tiene la función de aportar oxígeno a los bacteroides y de controlar sus niveles. La leghemoglobina se localiza en el citosol de las células de las plantas infectadas por los bacteroides y es la que le confiere el típico color rojo o rosado de los nódulos funcionales. Cuando el nódulo se deteriora por senescencia natural o motivada por algún estrés y se finaliza la fijación biológica de nitrógeno, cambia la coloración interna y toma coloración verde por la presencia de legcoleglobina y en estado final previo a la degradación es amarronado por la presencia de legmethemoglina (Peticari y col. 2003.)



Figura 8: Porcentaje de nódulos muertos en los distintos tratamientos.



Si bien no se realizó un análisis estadístico de esta determinación como se planteó anteriormente, esta evaluación nos revela que el tratamiento Nitrógeno sólido al suelo, es el que presenta el mayor porcentaje de nódulos muertos y que el tratamiento Inoculante turbo con y sin Fertilización foliar es el que posee el menor porcentaje de muerte.

Este mayor porcentaje de nódulos muertos se debe a que la presencia de nitratos en el suelo, no solo inhibe la infección y el proceso de fijación por varios mecanismos, como la competencia por hidratos de carbono entre la nitrogenasa y la nitrato reductasa, sino que en presencia de nitratos, los nódulos permanecen inactivos pero listos a funcionar cuando la fuente de nitrógeno del suelo se agote. Cuando el suelo contiene una gran reserva de nitrógeno disponible los nódulos pueden permanecer pequeños e inactivos durante la estación de crecimiento. La proporción de nitrógeno acumulado por la planta que proviene de la FBN presenta una relación inversa con la cantidad de nitrógeno disponible en el suelo, siendo ésta la mayor limitación a la fijación. (Maddoni, G. A. y col, 2008).

En el tratamiento Nitrógeno sólido al suelo, se aplicaron 322 Kg. de N/ha. lo que significó que el suelo tenía una elevada reserva de nitrógeno disponible. Esto provocó la inactividad de los nódulos, la cual se vio reflejada en la evaluación, encontrándose el 80% de los mismos inactivos, siendo indiferente la aplicación del fertilizante foliar.

#### Biomasa aérea.

También se cuantificó la producción de biomasa aérea a través de la cantidad de materia seca aérea producida por hectárea por los distintos tratamientos.

Existió interacción significativa entre la aplicación del fertilizante foliar y los tratamientos de semilla en cuanto a la producción de materia seca.

Luego del análisis estadístico vemos que existieron diferencias significativas entre los tratamientos ( $p < 0.0001$ ). En aquellos tratamientos a los que no se les aplicó el fertilizante foliar los tratamientos Inoculante tradicional y Nitrógeno sólido al suelo, fueron los que alcanzaron los valores más altos de materia seca, diferenciándose de los tratamientos Testigo e Inoculante turbo en unos 300 kilogramos en promedio de materia seca producida por hectárea.

En cuanto a los tratamientos en los que se les aplicó el fertilizante foliar, los tratamientos Testigo + Fertilizante foliar, Nitrógeno sólido al suelo + Fertilizante foliar e Inoculante turbo + Fertilizante foliar, la producción de materia seca por hectárea fue significativamente superior al tratamiento Inoculante tradicional + Fertilizante foliar. Pero en los cuatro tratamientos aplicados, la producción de materia seca por hectárea fue significativamente inferior que en los tratamientos en los que no se empleó el fertilizante foliar (Tabla 10).

Tabla 10: Cantidad de Materia Seca Aérea producida, con y sin la aplicación del fertilizante foliar.

Tratamientos	MS Aérea (kg/ha)
Testigo	4586 b
Nitrógeno sólido al suelo	4790 a
Inoculante tradicional	4883 a
Inoculante turbo	4461 b
Testigo + Fertilizante foliar	4262 c
Nitrógeno sólido al suelo + Fertilizante foliar	4178 c
Inoculante tradicional + Fertilizante foliar	3739 d
Inoculante turbo + Fertilizante foliar	4111 c
<b>Valor P</b>	<b>&lt;0,0001</b>

Los cuatro tratamientos a los que no se les aplicaron el fertilizante foliar produjeron en promedio 600 kilogramos más de materia seca por hectárea que los tratamientos aplicados. Por lo que podemos observar un efecto antagónico producido por el fertilizante

foliar en cuanto a la producción de materia seca. Este efecto antagónico se debió al costo energético que les significó a los tratamientos aplicados, la metabolización del fertilizante foliar, en el marco de condiciones ambientales de estrés por déficit hídrico que se desarrollaron entre la siembra y el inicio del período crítico (momento en que se realizó la aplicación). Situación que no se pudo revertir cuando se reestablecieron las precipitaciones durante el período crítico del cultivo, y que si fueron mejor aprovechadas por los tratamientos no aplicados.

Aunque no se encontró interacción significativa entre la aplicación del fertilizante foliar y los tratamientos para rendimiento, éstos 600 kilogramos de materia seca por hectárea se tradujeron en un incremento de casi 70 kilogramos de grano por hectárea a favor de los tratamientos en los que no se les aplicó el fertilizante foliar.

### **Análisis del rendimiento y sus componentes**

El rendimiento de un cultivo de grano queda definitivamente establecido, y puede ser medido, recién al finalizar el ciclo del cultivo. Sin embargo, el mismo se genera a lo largo de toda la ontogenia debido al aporte que van realizando las distintas estructuras que lo componen. Entonces, dentro de ese marco, es posible concebir al rendimiento como un conjunto de distintos componentes que se van generando durante el desarrollo del cultivo, quedando cada uno de ellos fijado en determinado momento. (Cárcova, J. y 2008).

No se encontraron efectos significativos en rendimiento y sus componentes por los tratamientos. (Tabla 11 y 12)

Tabla 11: Rendimiento y sus componentes en función del uso de fertilizante foliar.

Aplicación de Foliar	Rendimiento (kg/ha)	Peso 1000 (g)	Nº granos / m <sup>2</sup>
No	3901 a	161 a	2431 a
Sí	3837 a	165 a	2323 a
<b>Valor P</b>	<b>0,67</b>	<b>0,09</b>	<b>0,42</b>

Si bien existen antecedentes que muestran incrementos en los rendimientos provocados por la fertilización foliar complementaria, como es el caso de Ferraris, G. y Couretot, L. (2006), quienes obtuvieron entre un 11 y 26 % de incremento, o Ventimiglia, L. A. y Carta, H. G. (2006), que lograron aumentos de entre 250 y 500 kilogramos de soja por hectárea. Otros autores no encontraron diferencias en el rendimiento por la aplicación de fertilizante foliar como lo son Bezus y col. 2011 y Arias y col. 2005.

Tabla 12: Rendimiento y sus componentes en función del uso del tratamiento de semillas.

Tratamientos	Rendimiento (kg/ha)	Peso 1000 (g)	Nº granos / m <sup>2</sup>
Testigo	3730 a	161 a	2312 a
Nitrógeno sólido al suelo	4003 a	166 a	2415 a
Inoculante tradicional	3796 a	159 a	2389 a
Inoculante turbo	3941 a	164 a	2404 a
<b>Valor P</b>	<b>0,37</b>	<b>0,10</b>	<b>0,68</b>

Al analizar cada uno de los factores por separado tampoco se encuentran diferencias significativas entre los tratamientos tanto para rendimiento ( $p=0.37$ ), como para peso de mil semillas ( $p=0.10$ ) y número de granos por metro 2 ( $p=0.68$ ).

La escasa diferencia de rendimiento entre los tratamientos Inoculante tradicional y Testigo (66 Kg./ha) se debió a que el suelo tenía una alta población de bacterias nodulantes naturalizadas, ( $2,56 \times 10^4$  (25600) bacterias por gramos de suelo húmedo) generándose como consecuencia una competencia en la nodulación con las bacterias incorporadas con el inoculante.

Podemos comprobar los efectos sinérgicos provocados por la co inoculación, es decir la utilización de los promotores de crecimiento (PGPR) en forma conjunta con el *Bradhyrizobium*, ya que el tratamiento Inoculante Turbo presentó una diferencia positiva de 145 Kg./Ha. sobre el tratamiento Inoculante Tradicional.

Que el tratamiento Nitrógeno sólido al suelo haya sido el que mas rindió, nos revela una respuesta en productividad del cultivo de soja al tener cubierta su demanda de nitrógeno. Demanda que debe ser cubierta por las fuentes más sustentables desde el punto de vista

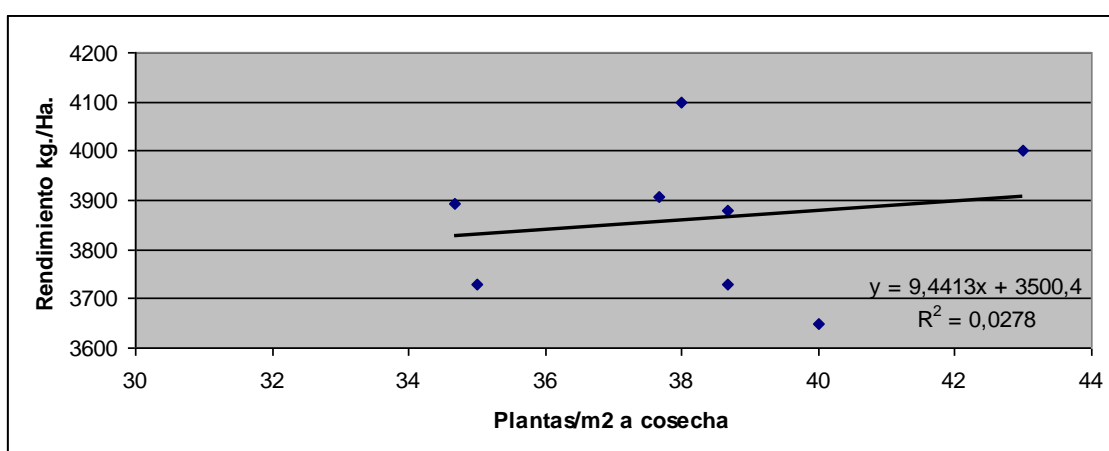
ambiental y económico de provisión de nitrógeno como lo son la inoculación con bacterias específicas y el uso complementario de fertilizantes foliares.

### **Relación entre variables.**

#### Relación entre el rendimiento y el número final de plantas.

El rendimiento del cultivo, no se encontró afectado por la densidad final de plantas ( $r^2=0.0278$ ), (Figura 9), debido a la capacidad compensatoria que tiene el cultivo de soja.

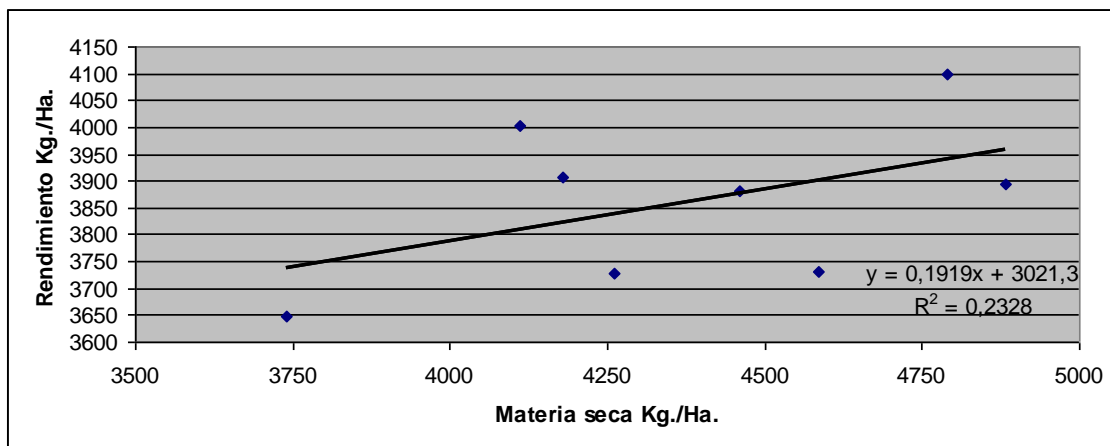
Figura 9: Rendimiento en función de la densidad final de plantas.



Esa capacidad compensatoria que tiene el cultivo de soja, se explica de la siguiente manera, el número de plantas establecidas por unidad de superficie tiene un efecto neutro sobre el número de granos y sobre el rendimiento, ya que una densidad menor de plantas es compensada por un número mayor de nudos en las ramificaciones o por un aumento en la fertilidad de cada nudo. (Kantolic, A. G. y 2008).

Relación entre el rendimiento y la materia seca aérea producida.

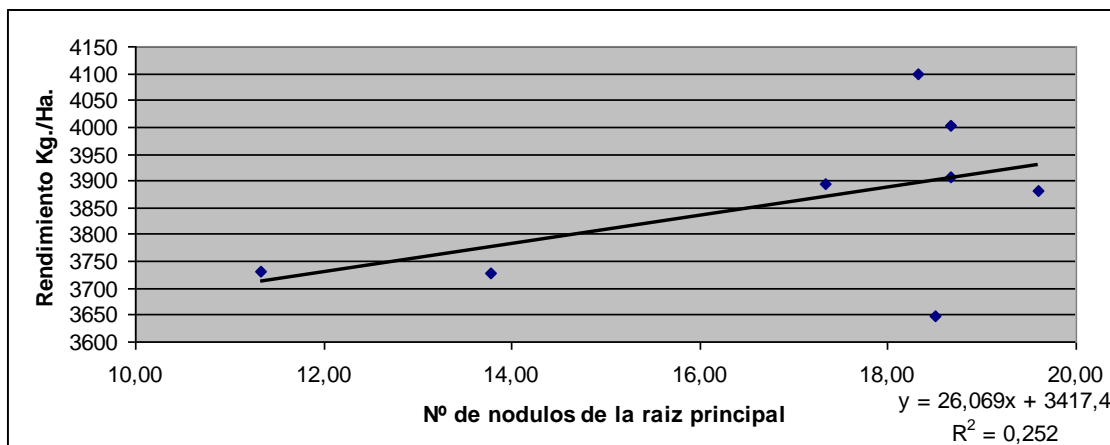
Figura 10: Rendimiento en función de la cantidad de materia seca aérea producida



Sólo el 23 % de las variaciones en el rendimiento son explicadas por las variaciones en la cantidad de materia seca producida ( $r^2=0.2328$ )

Relación entre el rendimiento y la cantidad de nódulos de la raíz principal.

Figura 11: Rendimiento en función del número de nódulos de la raíz principal

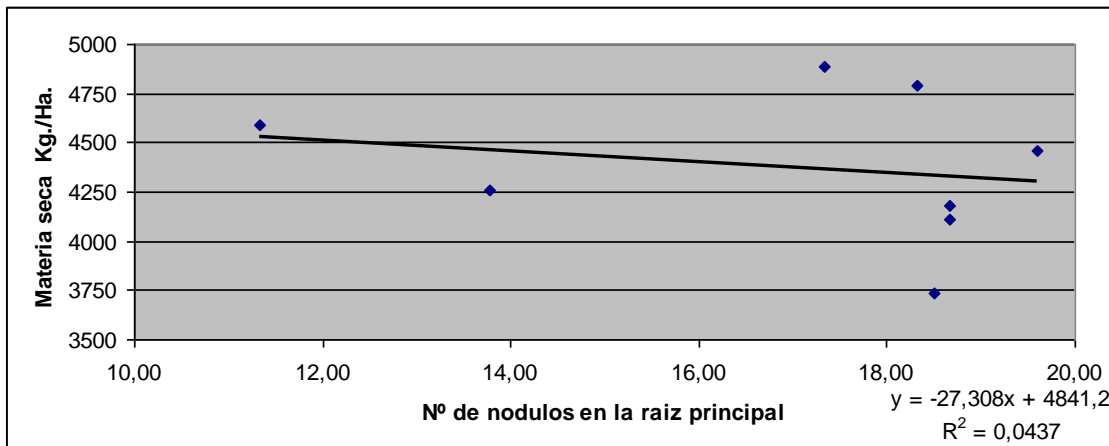


Sólo el 25 % de las variaciones en el rendimiento son explicadas por las variaciones en el número de nódulos de la raíz principal ( $r^2= 0.252$ ). No existiendo una correlación entre el rendimiento y el número de nódulos de la raíz principal, siendo estos resultados coincidentes con lo observado por otros autores (Díaz Zorita y Fernández Caniggia.,

1999), quienes no hallaron asociación entre rendimientos en grano y patrones de nodulación.

Relación entre la materia seca aérea producida y el número de nódulos de la raíz principal.

Figura 12: Materia seca aérea producida en función de la cantidad de nódulos de la raíz principal.



Las variaciones en la cantidad de materia seca producida, no se encuentran explicadas por las variaciones en el número de nódulos de la raíz principal ( $r^2=0.0437$ ).

## **CONCLUSIONES**

A través de los distintos tratamientos planteados, integrados por las herramientas que el mercado le ofrece al productor, se trató de encontrar la combinación de tecnologías, que repercutan en la actividad fotosintética global de la planta y así lograr un incremento del rendimiento.

Aunque no se encontraron efectos significativos en el rendimiento en granos y sus componentes por los tratamientos planteados, durante todo el recorrido del análisis de los sucesos se afirmaron conceptos ya establecidos por distintos autores.

Existió una tendencia, aunque no significativa, en la productividad del cultivo de soja, al tener cubierta su demanda de nitrógeno. Esta debe ser cubierta por las fuentes más sustentables desde el punto de vista ambiental y económico de provisión de nitrógeno como lo son la inoculación con bacterias específicas en combinación con el uso complementario de la fertilización foliar.

Las condiciones ambientales particulares durante el crecimiento y desarrollo del cultivo, como las escasas precipitaciones, combinadas con altas temperaturas entre la siembra y el inicio del periodo crítico, no permitieron que las distintas propuestas planteadas, cubran la demanda de nitrógeno del cultivo, expresándose en diferencias significativas en el rendimiento en grano para así encontrar una alternativa sostenible.

Este trabajo nos invita a seguir generando propuestas en el marco de estos conceptos y preguntarnos que sucederá en años en donde las condiciones ambientales principalmente las precipitaciones, sean más benévolas.



## **BIBLIOGRAFÍA**

Arias, N. Novedades sobre la Inoculación de soja en el este de Entre Ríos INTA, Estación Experimental Agropecuaria Concepción del Uruguay. Campaña 2008-2009.

Arias, N.; De Batista, J. J. y Arévalo, E. 2008. Estrategias de fertilización foliar y control de enfermedades en soja. INTA, Estación Experimental Agropecuaria Concepción del Uruguay.

Arias, N. y Marassi, P. Evaluación de Fulltec y Cubo en soja. INTA, Estación Experimental Agropecuaria, Concepción del Uruguay, campaña 2010/2011.

Becco, C. A. 2011. Plenus: Integrando calidad de semilla de soja superior y tratamiento profesional. Syngenta Agro S.A

<http://www.mercosoja2011.com.ar/site/wp-content/imagenes/becco1.pdf>

Beltrano, J.; Gimenez, D. O. y Ruscitti, M. 2006. Los elementos esenciales y la nutrición mineral en las plantas. Cátedra de Fisiología Vegetal. Escuela de Ciencias Agrarias Naturales y Ambientales. Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires.

Bezus, R.; Chamorro, A. M.; De Biasi, L.; Gómez, J.; Lettieri, M. R. Fertilización foliar en soja de primera en Bartolomé Bavio (Provincia de Buenos Aires). Campaña 2010-2011. Curso Oleaginosas y Cultivos Industriales Regionales. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales-UNLP.

Brockwell, J.; Bottomley, P. y Thies, J. E. 1995. Manipulation of rhizobia microflora for improving legume productivity and soil fertility. Plant and Soil 174: 143-180.

Cárcova, J.; Abeledo, L. G. y López Pereira, M. Producción de Granos, Bases funcionales para su manejo. Capítulo 6, Análisis de la generación de rendimiento: Crecimiento, partición y componentes. Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires, 2008.

Díaz Zorita, M. y Fernández Canigia, M. V. 1999. Patrones de nodulación de soja en relación con propiedades de suelo bajo tres sistemas de labranza. Revista de la facultad de Agronomía, La Plata 104 (1) p 53- 60.

Dreccer, M. F.; Ruiz, R. A.; Maddoni, G. A. y Satorre, E. H. Producción de Granos, Bases funcionales para su manejo. Capítulo 18, Bases ecofisiológicas de la nutrición de los cultivos de granos. Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires, 2008.

Fehr, W. R. and Caviness, C. E. 1977. Stages of soybean development Special Report 80. Iowa State University, Ames, Iowa. 11pp.

Fernández Canigia, M. V. 2003. Factores determinantes de la nodulación. 1º Ed. Bs. As. Nitragin Arg. ISBN 987-21058-0-4.

Ferrari, M. 2008. Fertilidad, Diagnostico de la Fertilidad Edáfica. Dotación y Abastecimiento de Nutrientes. Cátedra de Conservación y Planificación del uso de la Tierra. Escuela de Ciencias Agrarias Naturales y Ambientales. Universidad Nacional del Noroeste de la Provincia de Buenos Aires.

Ferraris, G. N. y Couretot, L.A. Evaluación de la fertilización foliar complementaria en soja. INTA, Estación Experimental Agropecuaria Pergamino. Desarrollo Rural. Campaña 2005-2006.

Ferraris, G.; Couretot, L. Nuevas estrategias de producción para alcanzar los rendimientos potenciales en soja. Revista técnica de la Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa. Soja en SD, septiembre 2007.

Ferraris, G.; Gonzáles Anta, G. Contribución del Nitrógeno Inorgánico y de la FBN a la Nutrición nitrogenada de soja en Argentina. Desarrollo rural INTA, Estación Experimental Agropecuaria, Pergamino 2007.

González, N., 1997. Nutrición Nitrogenada del cultivo de soja. En: El cultivo de soja en Argentina. L. M. Giorda y H. E. Baigorri. INTA. ISSN 0329-0077 Cáp. 9, Pág. 187-198.

Gutiérrez Boem, F. H. Fertilización de cultivos de granos y pasturas. Diagnostico y recomendación en la región pampeana. Capitulo 8, Fertilización de soja. Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires, 2005. Pág. 112.

Haq M and A Mallarino, 1998. Foliar Fertilization of Soybean at Early Vegetatives Stages. Agron. J. 90: 763-769.

HUNGRÍA, M. 2006. A importância da fixação biológica do nitrogênio na cultura da soja: uma historia de sucesso na América do sul. 3º Congreso de Soja del Mercosur, Workshop de Fijación Biológica de nitrógeno. Rosario. p.336 - 338.

Kantolic, A. G.; Gimenez, P. I. y De la Fuente, E. B. Producción de Granos, Bases funcionales para su manejo. Capitulo 9, Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad en soja. Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires, 2008.

Maddoni, G. A.; Villariño, P. y García de Salamone, Producción de Granos, Bases funcionales para su manejo. Capítulo 17, Dinámica de los nutrientes en el sistema suelo-planta. Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires, 2008.

Papakosta, D.K.1992. Effect of inoculant rate on nodulation and varios agronomic traits of soybean. Journal Agronomy & Crop Science, 168. 238-242.

Perelman, S. B.; Bartolini, N. J. y Gonzáles, M. 2004. Capítulo N ° 6, Análisis de Regresión. Guía de clases teóricas y practicas. Cátedra de Métodos Cuantitativos Aplicados. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires.

Perticari, A.; Arias, N.; Baigorri, H.; De Batista, J. J.; Montecchia, M.; Pacheco Basurco, J. C.; Simonella, A.; Toresani, S.; Ventimiglia, L. Y Vicente, R. 2003. Inoculación y fijación biológica de nitrógeno en el cultivo de soja. En: El libro de la soja. Buenos Aires. Servicios de Marketing Agropecuario, p. 69-76.

Perticari, A. y Piccinetti, C. ¿Qué rol tiene la soja en nuestra condición productiva, solo proveedora de proteína y aceite o también fijadora de N<sub>2</sub>? Revista técnica de la Asociación Argentina de Productores en Siembra Directa. Soja en SD, septiembre 2007.

Pietrarelli, L.; Zamar, J. L.; Leguía, H. L.; Alessandria, E. E.; Sánchez, J.; Alborn, M. y Luque, S. M. Efectos de diferentes practicas de manejo de la nodulación y en el rendimiento del cultivo de soja. Observación y análisis de Sistemas Agropecuarios. Departamento de desarrollo Rural. Ecología Agrícola. Departamento de Recursos Naturales. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Año: 2008.

Racca, R. 2002. Fijación biológica del nitrógeno. En: Actas 1er Simposio de Fertilidad de Suelos y Fertilización en Siembra Directa. X Congreso Nacional de AAPRESID. Pp 197-208.

Salvagiotti, F.; Capurro, J.; Enrico, J. El manejo de la nutrición nitrogenada en soja. Para mejorar la producción. Nº 42. INTA, Estación Experimental Agropecuaria, Oliveros 2009.

Ventimiglia, L. A. Nueva metodología para capturar nitrógeno atmosférico. Más fácil, más económico, más eficiente. INTA, Estación Experimental Agropecuaria, 9 de Julio 2007.

Ventimiglia, L. A. y Carta, H. G. Fertilización Foliar en Soja de Primera. INTA, Estación Experimental Agropecuaria Pergamino. Desarrollo Rural, AER 9 de Julio. Campaña 2005-2006.

Ventimiglia, L. A. y Torrens Baudrixis, L. Dosis de inoculante y complementación de *Bradyrhizobium* con promotores de crecimiento (PGPR) en soja. INTA, Estación Experimental Agropecuaria Pergamino. Desarrollo Rural, AER 9 de Julio. Campaña 2011-2012.

Venturi, G. y Amaducci, M. T. 1985. La soja Edagricole. Bologna. Italia. 225pp.