



UNIVERSIDAD NACIONAL DE RIO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMIA Y VETERINARIA

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

EFFECTOS DE LA FERTILIZACIÓN FOLIAR SOBRE LA
NODULACIÓN Y COMPONENTES DEL
RENDIMIENTO EN EL CULTIVO DE SOJA

Nombre alumno: Muñoz, Sebastián Andrés

DNI: 29114160

Director: Ing. Agr. Fernández, Elena

Co-Director: Ing. Agr. Marcellino, José

Río Cuarto-Córdoba

-Marzo 2011-

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RIO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA

CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del trabajo final: “Efectos de la fertilización foliar sobre la nodulación y componentes del rendimiento en el cultivo de soja”

Autor: Sebastián Andrés MUÑOZ

DNI: 29114160

Director: Ing. Agr. Elena FERNANDEZ

Co-Director: Ing. Agr. José MARCELLINO

Aprobado y Corregido de acuerdo con las sugerencias de
Comisión Evaluadora:

Ing. Agr. TERESA CAMINOS _____

Ing. Agr. GABRIEL ESPOSITO _____

Fecha de presentación: ____/_____/____.

Aprobado por Secretaría Académica:

____/_____/_____

Secretario Académico

Dedicatoria

Sencillamente, quiero dedicar este trabajo a todos los integrantes de mi familia; en especial a mis padres Luis e Isabel por haberme brindado la posibilidad de estudiar y concretar una carrera universitaria.

A mis hermanos, cuñadas, a mis sobrinos Nahuel y Tomas, que me brindaron todo su apoyo y confianza para terminar con mi formación profesional.

Agradecimientos

-A la profesora Elena Fernández por haberme guiado desde el primer día de facultad hasta la actualidad dedicando parte de su valioso tiempo en mi formación académica concluyendo con la elaboración de este trabajo final.

-A todos los integrantes del Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA) Río Cuarto, en especial al Ingeniero Agrónomo José Marcellino, quien a través de su conocimiento y experiencia, contribuyó día a día en mi formación profesional.

-A la Universidad Nacional de Río Cuarto por darme la oportunidad de lograr el título de grado y en particular a la Facultad de Agronomía y Veterinaria, que a través de todo su cuerpo de docentes fueron responsables de mi formación académica, obtenida durante estos años de estudio.

-A todos mis amigos que fueron pilares fundamentales en todos estos años; los que me han acompañado cada uno de los días de estudio, junto con los amigos de toda la vida, que sin el apoyo y confianza de todos ellos hubiera sido imposible la concreción del título de ingeniero agrónomo.

-Por último, un profundo agradecimiento a todas aquellas personas que contribuyeron directa e indirectamente a concretar este logro y en especial a los que actualmente siguen apostando a un proyecto de vida, tanto profesional como personalmente.

A todos los antes mencionados, simplemente gracias.....

ÍNDICE GENERAL	Página
Índice general.....	IV
Resumen.....	IX
Summary	X
I. INTRODUCCION.....	1
II. ANTECEDENTES	2
II.1 Requerimientos nutricionales.....	3
II.1.1 Micronutrientes.....	4
II.1.1.1 Rol de los micronutrientes.....	4
II.1.1.2 Disponibilidad de Boro.....	5
II.1.1.3 Disponibilidad de Molibdeno.....	5
II.2 Fijación biológica del nitrógeno (FBN).....	6
II.2.1 Incidencia del Cobalto y Molibdeno en la FBN.....	8
II.3 Fertilización de soja en Argentina.....	9
II.4 Fertilización foliar con meso y micronutrientes.....	10
II.5 Rendimiento.....	11
III. HIPOTESIS	13
IV. OBJETIVOS.....	13
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
V.1 Ubicación y caracterización del área de estudio.....	14
V.2 Condiciones climáticas.....	14
V.3 Implantación del cultivo de soja.....	14
V.4 Determinación de las diferentes etapas fenológicas del cultivo.....	16
V.5 Determinación de los parámetros de la fijación biológica del nitrógeno (FBN)....	17
V.6 Evaluación de los componentes del rendimiento.....	17
V.7 Análisis de datos.....	18
VI. RESULTADOS Y DISCUSION.....	19
VII. CONCLUSION.....	36
VIII.BIBLIOGRAFIA.....	37
IX.ANEXOS I.....	43
X.ANEXOS II.....	45

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro V.1: Caracterización física del horizonte superficial del Hapludol Típico de Río Cuarto.....	14
Cuadro V.2: Caracterización físico-química y química del horizonte superficial del Hapludol típico de Río Cuarto.....	14
Cuadro V.3: Tratamientos del ensayo.....	15
Cuadro VI.1: Precipitaciones durante el ciclo del cultivo de soja (mm).....	19
Cuadro VI. 2: Incremento en porcentaje (%) y la respuesta en kilogramos (kg) comparando todos los tratamientos fertilizados frente al inoculado y al testigo.....	34
Cuadro IX.1: Superficie implantada y cosechada, rendimiento y producción anual en la Argentina.....	43
Cuadro IX.2: Superficie implantada y cosechada, rendimiento y producción anual en la provincia de Córdoba.....	43
Cuadro IX.3: Consumo y exportación de nutrientes por el cultivo de soja.....	43
Cuadro X.1: Parámetros de la fijación biológica del nitrógeno (FBN) del tratamiento testigo e inoculado.....	45
Cuadro X.2: Comparación de los parámetros de la fijación biológica del nitrógeno (FBN) en tratamientos con diferentes fertilizantes en etapa vegetativa (V4-V5).....	45
Cuadro X.3: Comparación de los parámetros de la fijación biológica del nitrógeno (FBN) en tratamientos con un mismo fertilizante en diferentes etapas vegetativas	45
Cuadro X.4: Comparación de los parámetros de la fijación biológica del nitrógeno (FBN) en tratamientos con diferentes fertilizantes en etapa reproductiva (R3-R4).....	46
Cuadro X.5: Componentes del rendimiento en el cultivo de soja evaluado a cosecha en la parcela testigo e inoculada	46
Cuadro X.6: Componentes del rendimiento en el cultivo de soja evaluado a cosecha ante la aplicación de diferentes fertilizantes en etapa vegetativa (V4-V5).....	46
Cuadro X.7: Componentes del rendimiento en el cultivo de soja evaluado a cosecha ante la aplicación foliar del mismo fertilizante en diferentes etapas fenológicas.....	47
Cuadro X.8: Componentes del rendimiento en el cultivo de soja evaluado a cosecha ante la aplicación de diferentes fertilizantes en etapa reproductiva (R3-R4).....	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura VI.1: Registros de precipitaciones mensuales durante los meses de octubre a Mayo del ciclo 2006/07 y la precipitación media mensual del período 1977/2006.....	19
Figura VI.2: Promedios mensuales de la temperatura media del aire de octubre a Mayo del ciclo 2006/07 y temperaturas medias mensuales del período 1977/2006.....	20
Figura VI.3: Promedios mensuales de la temperatura máxima de octubre a Mayo del ciclo 2006/07 y las temperaturas máximas medias del período 1977/2006.....	20
Figura VI.4: Promedios mensuales de la temperatura mínima del aire de octubre a Mayo del ciclo 2006/07 y la temperatura mínima media del período 1977/2006.....	21
Figura VI.5: Número de nódulos por planta en raíz principal, secundaria y totales evaluados en la etapa fenológica R5.....	21
Figura VI.6: Número de nódulos en raíz principal, laterales y totales en V4-V5 con diferentes fertilizantes evaluados en la etapa fenológica R5.....	22
Figura VI.7: Número de nódulos en raíz principal, laterales y totales en dos etapas fenológicas con el mismo fertilizante evaluado en la etapa fenológica R5.....	23
Figura VI.8: Número de nódulos en raíz principal, secundaria y totales en igual etapa reproductiva con distintos fertilizantes evaluados en la etapa fenológica R5.....	23
Figura VI.9 a: Porcentaje de actividad nodular en el testigo y el tratamiento inoculado evaluados en la etapa fenológica R5.....	24
Figura VI.9 b: Número de nódulos activos en el testigo y el tratamiento inoculado evaluados en la etapa fenológica R5.....	24
Figura VI.10: Porcentaje de nodulación en el cultivo de soja en etapa de llenado de granos (R5) fertilizado en V4-V5.....	24
Figura VI.11: Porcentaje de nódulos activos en el cultivo de soja evaluado en llenado de granos (R5) ante la aplicación de fertilizantes en dos etapas fenológicas diferentes.....	25
Figura VI.12: Porcentaje de nódulos activos en el cultivo de soja evaluado en llenado de granos (R5) ante la aplicación de diferentes fertilizantes en igual etapa fenológica.....	26
Figura VI.13: Número de semillas por unidad de superficie en el cultivo de soja evaluado a cosecha en la parcela testigo e inoculada.....	27
Figura VI.14: Número de semillas por unidad de superficie en el cultivo de soja evaluado a cosecha ante la aplicación de diferentes fertilizantes en etapa vegetativa (V4-V5).....	28
Figura VI.15: Número de semillas por unidad de superficie en el cultivo de soja evaluado a cosecha ante la aplicación foliar del mismo fertilizante en diferentes etapas fenológicas.....	28
Figura VI.16: Número de semillas por unidad de superficie en el cultivo de soja evaluado a cosecha ante la aplicación de diferentes fertilizantes en etapa reproductiva (R3-R4).....	29

Figura VI.17: peso de mil semillas (gr) en el cultivo de soja, evaluadas a cosecha en el testigo y el inoculado.....	30
Figura VI.18: Peso de mil semillas (gr) en el cultivo de soja evaluado a cosecha ante la aplicación de diferentes fertilizantes en etapa vegetativa (V4-V5).....	30
Figura VI.19: Peso de mil semillas (gr) en el cultivo de soja evaluado a cosecha ante la aplicación foliar del mismo fertilizante en diferentes etapas fenológicas.....	31
Figura VI.20: Peso de mil semillas (gr) en el cultivo de soja evaluado a cosecha ante la aplicación de diferentes fertilizantes en etapa reproductiva (R3-R4).....	31
Figura VI.21: Rendimiento en grano (kg ha^{-1}) en el cultivo de soja evaluado a cosecha en la parcela testigo e inoculada.....	32
Figura VI.22: Rendimiento en grano (kg ha^{-1}) en el cultivo de soja evaluado a cosecha ante la aplicación de diferentes fertilizantes en etapa vegetativa (V4-V5).....	33
Figura VI.23: Rendimiento en grano (kg ha^{-1}) en el cultivo de soja evaluado a cosecha ante la aplicación foliar del mismo fertilizante en diferentes etapas fenológicas.....	33
Figura VI.24: Rendimiento en grano (kg ha^{-1}) en el cultivo de soja evaluado a cosecha ante la aplicación de diferentes fertilizantes en etapa reproductiva (R3-R4).....	34
Figura IX.1: Relación entre el número de nódulos/planta en V6 y el rendimiento en grano.....	44
Figura IX.2: Relación entre el rendimiento y el nº de nódulos en raíces primarias y secundarias.....	44

INDICE DE FOTOS

Foto X.1: Estado del cultivo al momento de evaluar la nodulación.....	48
Foto X.2: Escala visual de tamaño de nódulos.....	48
Foto X.3: Raíces de soja fertilizadas con Stimulate Mo + CaB en etapa vegetativa V4-V5.....	48
Foto X.4: Raíces de plantas de soja fertilizadas con Co-Mo en etapa vegetativa V4-V5.....	48
Foto X.5: Comparación de nodulación entre los tratamientos 1 (stimulate Mo + CaB), el 2 (Co-Mo) ambos fertilizados en V4-V5 y el testigo.....	49
Foto X.6: Nodulación entre el testigo y el tratamiento fertilizado con Stimulate Mo + CaB en V4-V5.....	49
Foto X.7: Nodulación entre el testigo y el tratamiento fertilizado con Co-Mo en V4-V5.....	49
Foto X.8: Localización y tamaño de nódulos en tratamiento fertilizado con Cobalto y Molibdeno en V4-V5.....	50

Resumen

El cultivo de soja posee una elevada demanda de nutrientes, principalmente nitrógeno debido a sus semillas con alto valor proteico, además de este nutriente requiere de otros para funcionalidades específicas que intervienen directamente en el proceso de fijación, como lo son algunos meso y micronutrientes. Este trabajo tiene por objetivo determinar la respuesta ante la aplicación de fertilizantes foliares sobre la fijación biológica del nitrógeno (FBN) y los componentes del rendimiento. El ensayo, conducido bajo condiciones de campo, se implantó durante la campaña 2006/2007 sobre un suelo del Sub grupo de Hapludoles típicos franco arenoso muy fino, de la localidad de Río Cuarto, provincia de Córdoba. Se utilizó un diseño estadístico en bloques completamente aleatorizados, con tres repeticiones cada uno, la fertilización se realizó durante todo el ciclo del cultivo, donde 4 ensayos son tratados con fertilizantes foliares, uno inoculado solamente y el testigo sin fertilizar ni inocular; en el análisis se comparó un mismo fertilizante en diferentes etapas, diferentes fertilizantes en la misma etapa fenológica y una comparación entre el inoculado y el testigo. Se evaluó el número de nódulos en raíz principal, secundaria y total, porcentaje y número de nódulos activos, número de vainas por planta, número de granos por unidad de superficie, peso de 1000 semillas, rendimiento en grano y rendimiento relativo. Los resultados demuestran que la aplicación de fertilizantes foliares en forma complementaria a la inoculación generan un significativo aumento de nódulos en raíz principal, secundaria y en el número total de los mismos, la actividad nodular no se favorece con la incorporación de fertilizantes foliares en ninguno de los tratamientos. La aplicación de fertilizantes no generó aumento en el peso de 1000 semillas e incluso en algunos casos fue menor al testigo. El rendimiento sólo obtuvo respuesta significativa cuando se fertilizó con cobalto y molibdeno en etapa vegetativa. Se concluye que hubo efecto positivo en la inoculación al compararlo con el testigo, la fertilización foliar genera un aumento en el número pero no en la actividad de los nódulos; por último, la aplicación de estas dos prácticas de manejo conjuntamente generan mayores rendimientos que si se realizan en forma individual.

Palabras clave: Soja, Fijación biológica, fertilizantes foliares, nódulos, rendimiento.

SUMMARY

The soybean culture has a high demand of nutrients mainly, nitrogen due to its seeds with high protein value, in addition to this nutrient it requires of others for functionalities you specify that they take part directly in the fixation process, as they are it some I pull and micronutrients. The present work must by objective determine the answer before the application of foliares fertilizers on the biological fixation of nitrogen (FBN) and the components of the yield in the soybean culture. The test, lead under conditions of field, was implanted during campaign 2006/2007 on a ground of the Sub group of very fine sandy frank Hapludoles typical, of the locality of River Fourth, province of Cordova. A statistical design in completely randomized blocks was used, with three repetitions each one, the fertilization was throughout made the cycle of the culture, in where the treatments were 4 deal with foliares fertilizers, a treatment only inoculated and the witness without fertilizing nor inoculating; in the analysis a same fertilizer in different stages was compared, different fertilizers in the same fenológica stage and a comparison between inoculated and the witness. One evaluated the number of nodules in main root, secondary and total, percentage and number of active nodules, number of cases by plant, number of grains by surface unit, weight of 1000 seeds, grain yield and relative efficiency. The results demonstrate that the application of foliares fertilizers in complementary form to the inoculation generates a significant increase of nodules in main root, secondary and in the total number of such, the activity to nodular is not favored with the foliares fertilizer incorporation in any of the treatments. The application of fertilizers did not generate increase in the weight of 1000 seeds and in some cases he was even smaller to the witness, the single yield obtained significant answer when it was fertilized with Cobalt and molybdenum in vegetative stage forehead to which single it was inoculated. One concludes that there was positive effect in the inoculation when comparing it with the witness, the fertilization to foliar generates an increase in the number but not in the activity of the nodules; finally, when complementing these two you practice of handling generates greater yields than if they are made in individual form.

Key words: Soybean, Biological Fixation, foliar fertilizers , nodules, Yield.

I. INTRODUCCIÓN

La soja (*Glycine max* (L.) Merr.) es cultivada porque sus semillas son de alto valor proteico, utilizadas para la alimentación humana y animal, como también para la producción de aceites (SAGPyA, 2009), por lo que su principal destino es la industrialización. El grano contiene entre 37 a 43% de proteína y 18% de materia grasa, si bien las proteínas tienen una composición balanceada de aminoácidos, requieren un tratamiento industrial para inactivar ciertos inhibidores perjudiciales (Mulin y Álvarez, 2004). Este cultivo es uno de los más importantes en los sistemas agrícolas de Argentina (SAGPyA, 2009).

Los cultivos tienen requerimientos específicos y absolutos, los cuales deben ser satisfechos para alcanzar altos rendimientos, tales como la radiación, agua y nutrición. En el caso de la soja, el objetivo es desarrollar un cultivo con óptimo estado de desarrollo a floración (R1-2 según Fehr y Caviness, 1977) que permita interceptar eficientemente toda la radiación incidente y maximizar la tasa de acumulación de materia seca durante el período de llenado de granos (Vasilas *et al.*, 1995). Para alcanzar este objetivo, entre otros factores, el cultivo debe cubrir sus necesidades nutricionales.

La soja es una especie vegetal con elevada demanda de nutrientes. Los requerimientos y la fracción exportada por tonelada de grano producido superan a los de los restantes cultivos extensivos (García, 2000).

La soja es un cultivo muy exigente en nitrógeno (N), además requiere nutrientes específicos que afectan su funcionalidad, tales como el fósforo (P), calcio (Ca), boro (B) y cobalto (Co), entre otros (Ciampitti, 2007). Una gran parte de este requerimiento de N son cubiertos vía fijación biológica de N (FBN), a través de la simbiosis soja - *Bradyrhizobium*. La evolución de la FBN está relacionada con la tasa de acumulación de carbono (C) (Purcell, 1999), por lo tanto, las limitaciones nutricionales que afecten el crecimiento del cultivo afectarán la tasa de acumulación de N (Yamada, 1999). Por otro lado, numerosos nutrientes intervienen directamente en el proceso de fijación, por ejemplo magnesio (Mg), molibdeno (Mo), Fe y Co (Purcell, 1999). Por esta razón, se han observado respuestas a la inoculación (Díaz Zorita, 2003; Ventimiglia *et al.*, 2004), y a la fertilización con macro y micronutrientes aplicados al suelo (Ferraris *et al.*, 2005; Melgar *et al.*, 2001) y por vía foliar (Ferraris y Couretot, 2004).

Con las necesidades de nutrientes principales ya cubiertas, es viable explorar si otros elementos limitan la productividad, o si el crecimiento del cultivo puede ser favorecido por el uso de moléculas antiestresantes o activadoras de su metabolismo. En general, este tipo de fertilizantes, de origen biológico o mineral, son recomendados para su aplicación por vía foliar (Ferraris *et al.*, 2007).

La fertilización foliar ha sido considerada una de las estrategias más eficientes para la aplicación de nutrientes esenciales para las plantas. Sin embargo, los resultados obtenidos

por la implementación de esta práctica pueden variar, ya que, no siempre provoca aumento de los rendimientos, sino que en algunas situaciones sus efectos son nulos o inclusive, en ciertas circunstancias, puede ocasionar pérdidas de producción por daños en las hojas. Por lo tanto, es fundamental considerar a la fertilización foliar como una estrategia complementaria al agregado de nutrientes esenciales (Galarza *et al.*, 2004).

Según Torres Duggan (2006) la fertilización foliar puede ser de gran utilidad en varias situaciones, las que se describen a continuación:

- Aplicaciones conjuntas de nutrientes necesarios para el cultivo y de fitoterápicos para el control de plagas y/o enfermedades, tanto en estadios vegetativos como reproductivos.
- Aplicación de elementos en pequeñas cantidades en los cultivos, como son los micronutrientes.
- Mejorar la calidad del grano con aplicaciones durante llenado de grano.

Entre los efectos positivos derivados de la fertilización foliar (Ferraris y Couretot, 2004) han mencionado el incremento del área foliar, de la tasa de crecimiento del cultivo, de la FBN, del cuajado de los frutos, de la tolerancia al estrés hídrico, térmico y/o a daños mecánicos, a su vez, la presencia de compuestos de origen biológico como fito-hormonas, aminoácidos y vitaminas en su composición pueden ayudar a una mejor utilización de los nutrientes y a aumentar la eficiencia de uso de los fertilizantes como así también en la tolerancia a plagas y enfermedades.

II. ANTECEDENTES

La intensificación agrícola, registrada en las últimas décadas en Argentina, y la notable expansión de la soja produjo una paulatina y constante disminución de los niveles de fertilidad edáfica de los suelos pampeanos. Según Fontanetto *et al.* (2006), detectaron deficiencias generalizadas de N, P y S, por lo que sería esperable que en un plazo relativamente corto, puedan surgir otros nutrientes como limitantes para alcanzar la óptima productividad de los cultivos en la región; el S, Fe, B, Mn, ó Zn son los elementos que ocasionalmente son deficientes.

Este proceso de degradación de la fertilidad física y química de los suelos, se ha originado como consecuencia de la implementación de sistemas de labranzas que agredieron las fuerzas de cohesión entre partículas del suelo, acelerando los procesos de erosión de suelo y con ello la pérdida de nutrientes. Por otro lado, la remoción del suelo, en parte, causó una aceleración de la oxidación de la materia orgánica y la consecuente pérdida de N. Sumado a esto, la aún vigente agriculturización con rendimientos e índices de extracción de nutrientes que crecieron casi linealmente, con escasa rotación de cultivos y la falta de

reposición de nutrientes por medio de fertilizantes definen la situación actual de escasez de fertilidad edáfica (García y Bach, 2003).

En todas las regiones de cultivo del país, hasta hace relativamente poco tiempo, la expectativa de alcanzar altos rendimientos era menor y se utilizaban cultivares de ciclo medio a largo. Actualmente, se agudiza el deterioro de la fertilidad de los suelos, por la continua y creciente exportación de nutrientes, no obstante el ajuste de diversas prácticas de manejo de los cultivos han permitido incrementar la productividad de los mismos. En este momento se conducen estudios tendientes a ajustar el manejo de macro, meso y micro nutriente en soja, basado en programas de manejo de la fertilidad de todos los cultivos que integran la rotación en forma balanceada (Mousegne *et al.*, 2006).

Según datos del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca de la Nación (MAGyP, 2009) el cultivo de soja ocupa un lugar fundamental en los planteos productivos de toda la superficie del país; desde la campaña 2006/2007 hasta la 2008/2009 la superficie implantada en suelo argentino paso de 16 a más de 18 millones de hectáreas respectivamente (Cuadro IX.1 en Anexo I), de la misma manera, en la provincia de Córdoba también se observó un aumento en la superficie sembrada; en la campaña 2006/2007 la implantación fue de casi 4.5 millones de hectáreas y en el periodo 2008/2009 se registraron casi 5.2 millones de hectáreas sembradas con este cultivo (Cuadro IX.2 en Anexo I).

II.1 Requerimientos nutricionales

El cultivo de soja requiere 80 kg de N, 8 kg de P y 7 kg de azufre (S) por tonelada de grano producida, entre otros. Tanto los requerimientos como los índices de cosecha de nutrientes (IC), es decir la relación entre contenido en granos y los requerimientos totales de estos nutrientes son elevados para el cultivo de soja (Cuadro IX.3 en Anexo I) (García, 2000). Sin embargo, esto no significa que los requerimientos totales de un cultivo de soja sean siempre altos, sino que están determinados por el rendimiento (Gutiérrez Boem, 2005). La gran capacidad de particionar N a los granos, hace que el retorno de este elemento al suelo, a través de los residuos, sea insignificante (González, 1997).

La exportación de nutrientes se relaciona con el IC nutricional, el cual es alto para N y P e intermedio para S (Díaz Zorita, 2003), debido a la elevada removilización de nutrientes desde estructuras vegetativas al grano que caracteriza a dicho cultivo (Baigorri, 1999).

Un nutriente requerido por el cultivo de soja es el Ca^{2+} , ya que es necesario para el normal funcionamiento de las membranas, que actúa como mensajero secundario para respuestas de la planta ante señales ambientales y hormonales. En el proceso de nodulación el Ca^{2+} tiene función relevante en la infección, supervivencia y crecimiento de los nódulos. Sobre el crecimiento bacteriano, específicamente en *Bradyrhizobium japonicum*, este nutriente tiene efectos sobre la supervivencia de los rizobios, para el proceso de infección a

través de los pelos radicales, inducción de los genes Nod y como mensajero secundario en la traducción de los factores Nod a nivel pelo radicular (O'Hara *et al.*, 1988).

El Ca^{2+} es inmóvil a nivel de floema y no se redistribuye en la planta, así la deficiencia nutricional se presenta en las hojas nuevas o más jóvenes (Malavolta, 1976). Las funciones principales del Ca^{2+} en la planta son: la participación en la formación del pectato de Ca, presente en la laminilla media de la pared celular, interviene en el sistema de asimilación de nutrientes y de señales intracelulares, regulación enzimática, en la germinación del grano del polen y el crecimiento del tubo polínico.

La influencia de la fertilización foliar con Ca^{2+} sobre la FBN se muestra en el aumento del número y el peso seco de los nódulos y del rendimiento, dado por un incremento en el peso de los granos y no del número (Ciampitti *et al.*, 2006).

II.1.1 Micronutrientes

De los dieciséis elementos conocidos como esenciales para el crecimiento de las plantas, seis son requeridos en pequeñas proporciones y son llamados micronutrientes o elementos traza, tales como Fe, Manganese (Mn), Zn, Cobre (Cu), B, Mo (Bernardo *et al.*, 2002). Si bien es cierto que su especialidad se conoce desde hace muchos años, en los últimos tiempos hay una mayor difusión y uso como fertilizantes debido principalmente al mejoramiento de variedades de cultivos. Además, el aumento en el conocimiento de la nutrición de las plantas ha ayudado en el diagnóstico formal de las deficiencias de micronutrientes. De los seis micronutrientes esenciales, cuatro se encuentran en el suelo en forma de cationes (Cu, Zn, Mn y Fe) y dos en forma de aniones moléculas sin cargas B y Mo (Bernardo *et al.*, 2002).

En una revisión realizada por Lopes y Abreu (2000), se menciona la ocurrencia de deficiencias de micronutrientes desde la década del 50' y 60' en maíz, soja, pasturas, algodón y café, principalmente en zinc (Zn).

II.1.1.1 Rol de los micronutrientes

Hay una considerable variación en el rol específico de los micronutrientes en procesos de crecimiento de plantas y microorganismos. Por ejemplo el Cu, Fe y Mo son capaces de actuar como transportadores de electrones en sistemas enzimáticos relacionados con reacciones de oxido-reducción en las plantas, sumándose el Zn y Mn que son necesarios para distintas funciones metabólicas; reacciones que son esenciales para procesos de desarrollo; tal es el caso del Zn que juega un importante rol en la síntesis de proteínas, en la formación de algunas hormonas de crecimiento y en los procesos reproductivos de ciertas plantas (Bernardo *et al.*, 2002).

Según (Bernardo *et al.*, 2002) señalan que los micronutrientes tienden a ser limitante para el crecimiento de un cultivo en las siguientes situaciones:

- Suelos arenosos ácidos altamente lavados
- Suelos orgánicos
- Suelos con pH muy altos
- Suelos intensamente cultivados y muy fertilizados con macronutrientes

II.1.12 Disponibilidad de boro

La disponibilidad de B está en relación con el pH del suelo, puede ser lavado en suelos ácidos. Aparentemente este elemento es fijado o unido por el coloide del suelo, resultando en muchos casos una deficiencia de B inducida por CO_3Ca . El B también es absorbido por el humus, encontrándose uniones más fuertes por humus que por coloides inorgánicos, por lo que los compuestos orgánicos sirven como reservorio en muchos suelos. La disponibilidad de B disminuye también por largos periodos de seca, especialmente cuando son seguidos de periodos de óptima humedad (Bernardo *et al.*, 2002).

El B es considerado esencial en la nutrición de las plantas. Participa en el metabolismo de carbohidratos y transporte de azúcares a través de las membranas, en la síntesis de ácidos nucleicos y hormonas, en la formación de paredes celulares y en la división celular. Tiene un papel fundamental en la formación de anteras y en la germinación del tubo polínico. Aumenta la adherencia de flores y disminuye la caída de frutos. En leguminosas es esencial para el desarrollo de nódulos radiculares y la FBN¹.

II.1.1.3 Disponibilidad de Molibdeno

El pH del suelo es el factor más importante que afecta la disponibilidad de Mo para las plantas. A bajos valores de pH las formas dominantes son H_2MoO_4 y HMoO_4 que son las menos disponibles para las plantas, y a pH mayores de 6 la forma más disponible es el anión MoO_4^{2-} . El anión está sujeto a la absorción por óxidos de Fe y de Al como también por fosfatos, siendo el molibdato de Ca más soluble que el unido a fosfatos (Bernardo *et al.*, 2002).

La enzima responsable de la FBN es la nitrogenasa, proteína compleja que presenta tres elementos fundamentales: S, Fe y Mo. En la medida de que estos elementos no estén disponibles, la fijación simbiótica se verá comprometida.

La disponibilidad del Mo se verá afectada con:

- pH del suelo: < 6 el Mo se encontrará inmovilizado o con baja disponibilidad.
- Suelos lixiviados, arenosos o poco profundos.

¹ Catálogo de STOLLER S.A. Argentina.2006

-Suelos con alto contenido de Fe y Mg.

II.2 Fijación Biológica de Nitrógeno (FBN)

Desde el aspecto nutricional, la FBN es un proceso trascendental para el crecimiento y el rendimiento de las plantas de la familia de las leguminosas, como la soja. A través de la asociación simbiótica entre el vegetal y una bacteria del suelo (*Bradyrhizobium leguminosarum*) se ponen a disposición del cultivo entre 80 y 120 kg de N ha⁻¹ (Díaz Zorita, 2003; Racca, 2002). Para que el proceso de fijación ocurra en forma exitosa es necesaria la presencia de cofactores como el Mo y el Co (Marschner, 1995).

La evolución de la FBN se relaciona con la tasa de acumulación de carbono, por lo que restricciones ambientales y de nutrientes que interfieran con el normal desarrollo de los cultivos, afectan la tasa de acumulación de N atmosférico. Díaz Zorita *et al.* (1999) describieron que la adecuada nutrición fosfatada del cultivo permite una mayor producción de grano junto con una mayor nodulación y FBN. Este cultivo puede cubrir sus requerimientos de N a partir del aporte del suelo (por mineralización y/o fertilización incorporada), localizada directamente en el follaje (fertilización foliar) y por el aire, por medio de la FBN.

La FBN normalmente aporta entre el 25 % y el 84 % del total de N absorbido por el cultivo de soja (Buttery *et al.*, 1991). Según González (1994), en Argentina se citan aportes entre el 30 y el 42 %. En ensayos realizados en la Región Pampeana (en regiones sojeras como Marcos Juárez, Pergamino y Oliveros) se estimaron valores de N fijado de aproximadamente 20 a 40 % del N total requerido por el cultivo, equivalentes a 50 y 100 kg N ha⁻¹ respectivamente (Álvarez *et al.*, 1995); en el SE bonaerense (Balcarce) se estimó que alrededor de 30 % del N acumulado proviene de la FBN (González, 2000). Dichos valores se encuentran por debajo de los obtenidos en otros países; en el medio oeste norteamericano se estima que el suelo provee el 50-75 % del N asimilado por el cultivo (Harper, 1999). Esto nos estaría indicando que se puede mejorar aún más la productividad, favoreciendo la FBN para disminuir la extracción de N del suelo (González, 1997). Pero a pesar de ello, ambas fuentes de N (atmosférico y del suelo) deben complementarse con alguna práctica alternativa para que el cultivo alcance rendimientos máximos (Toniutti *et al.*, 2004).

En condiciones ideales de expresión de la simbiosis, la nodulación comienza a visualizarse a los 3-5 días y la actividad de fijación desde los 10-15 días de emergencia. Los valores de N son bajos en los estados vegetativos hasta comienzos de floración, con registros promedios de 0,5-1 kg de N fijado ha⁻¹ día⁻¹, de ahí en adelante se registra la mayor actividad. La tasa máxima de fijación se sitúa entre los estados reproductivos R5-R6 con valores promedios de 3 y máximos de 5 kg de N fijado ha⁻¹ día⁻¹. Luego de esta etapa, el proceso cae en forma abrupta (Baigorri *et al.*, 2003). Imsande (1998), trabajando con distintas fuentes de N

(nitratos, urea y N de FBN), registró aportes de 60 mg de N/planta por la fijación durante el período de llenado de granos.

En cuanto al patrón de distribución de los nódulos, el cuello de la planta es el primer punto apto para la nodulación de las raíces por los rizobios (Peticari, 1997). Es importante resaltar la mayor nodulación en la raíz primaria ya que estos nódulos tienen una capacidad de fijación de aproximadamente diez veces más N que los situados en raíces secundarias (Toniutti *et al.*, 2004). La mayor eficiencia de los nódulos ubicados en la raíz principal, se debe a que éstos tienen menos gasto energético en el transporte del N fijado (Galarza *et al.*, 2004). Los nódulos se ubican en la raíz primaria cuando el suelo no está en condiciones estresantes, por consiguiente hay que generar las condiciones para el logro de un buen sistema nodular (Toniutti *et al.*, 2004).

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 N, ya que ambos procesos dependen de la fotosíntesis (es decir, plantas que crecen y rinden más, fijan más N) (Gutiérrez Boem, 2005). En consecuencia, la evolución de la FBN está relacionada con la tasa de acumulación de carbono (C), por lo tanto, factores que afecten el crecimiento del cultivo, afectarán la tasa de acumulación de N (García, 2000), o dicho de otra manera, condiciones que afecten el balance energético global del cultivo reducirán el aporte de la **FBN** (González, 1997).

Siguiendo con lo citado en párrafos anteriores, restricciones ambientales y de nutrientes que afecten el normal desarrollo de los cultivos limitan la tasa de acumulación del N, por lo que variaciones en la cantidad fijada de N se deben a la ocurrencia de factores que afectan a este proceso. Respondiendo a esto, Fontanetto *et al.* (2004) encontraron que la producción de grano tuvo una respuesta lineal al agregado de P con una eficiencia media de 30,22 kg. de grano kg. de P⁻¹, también se detectaron una relación entre la nodulación y los rendimientos (Figura IX.1 en Anexo I).

Resultados similares fueron obtenidos en experiencias realizadas por la Asociación Argentina de Productores de Siembra Directa (AAPRESID), quienes dicen que las prácticas de inoculación y fertilización producen aumentos de rendimiento en soja, pero la combinación de ambas prácticas produjo los mayores incrementos (495 kg ha⁻¹ más que el testigo), y a pesar del bajo coeficiente de correlación (figura IX.2 en Anexo I) entre el rendimiento y el número de nódulos por planta (en raíces primarias y secundarias), se observó una tendencia que indica que a medida que éstos aumentan, crece el rendimiento (Syilvestre Begnis y Bianchini, 2004).

No sólo las carencias de P disminuyen la formación de nódulos, y por consiguiente, la FBN sino también, las carencias de otros nutrientes tales como K, Ca, S y micronutrientes (Mo, Co, Ni, Fe y Mn) (Baigorri *et al.*, 2003).

Varios factores ambientales pueden disminuir la FBN, como por ejemplo la salinidad o acidez de los suelos, el exceso o déficit de agua, y la presencia de nitratos. En suelos ácidos, el bajo pH no sólo disminuye la infección y formación de nódulos, sino que también afecta la supervivencia de los rizobios en el suelo, lo que puede llevar a tener una baja población naturalizada de rizobios. Además, a menudo los suelos ácidos son también deficientes en Ca, Mg, P y Mo, lo cual puede afectar tanto la planta huésped como al rizobio (Zhang y Smith, 2002)

Los períodos de estrés hídrico inducen la formación de nódulos en raíces secundarias, los cuales se comportan como altamente ineficientes para la FBN, por lo tanto, las tecnologías que reducen este estrés tales como la fertilización, actúan como potenciadoras de la FBN (Olmedo, 2002). El P incrementa la eficiencia en el uso del agua (EUA) y tolerancia a la sequía de los cultivos por varios caminos, entre ellos el más relacionado con la FBN es el incremento en el crecimiento de las raíces con lo cual, aumenta el contenido de agua disponible para la planta por ser mayor el volumen de suelo donde extraen agua y nutrientes (Bernardo *et al.*, 2002). Además, el desarrollo más temprano y completo del follaje reduce la evaporación del agua del suelo y la erosiva energía de la gota de lluvia (Bernardo *et al.*, 2002).

II.2.1 Incidencia del Cobalto y el molibdeno en la fijación biológica del Nitrógeno (FBN)

El Co y el Mo son dos micronutrientes de particular importancia en soja, debido a su participación con la FBN a través de la simbiosis con bacterias fijadoras (*Bradyrhizobium japonicum*), y ambos se encuentran entre los elementos que podrían presentar deficiencias para el normal funcionamiento y alta producción del cultivo. El Co también es componente de la vitamina B12, la cual forma parte de la cobamida, coenzima precursora de la leghemoglobina, por lo cual una deficiencia de Co inhibe su síntesis afectando la FBN, produciéndose un flujo de oxígeno excesivo hacia el interior del bacteroide, el cual es perjudicial ya que inactiva a la enzima nitrogenasa, muy sensible al exceso de O₂, El Co suele ser deficiente en suelos arenosos, ácidos o excesivamente cultivados (Tisdalle *et al.*, 1992).

La disponibilidad del Mo puede ser reducida debido a la acidificación producida como consecuencia de la exportación de cationes (Ca y Mg) a través de muchos años de agricultura continua (Tisdalle *et al.*, 1992), reduciéndose hasta 100 veces por cada unidad que desciende el pH en los suelos (Lindsay, 1991).

El Mo forma parte de enzimas como la nitrogenasa y la nitrato reductasa, responsable de la ruptura del triple enlace N≡N y de la asimilación de este elemento en la planta durante la fijación biológica, respectivamente (Campo y Hungría, 2002).

La nitrogenasa cataliza la reducción del N_2 a NH_3 , reacción por la cual el *Bradyrhizobium* de los nódulos radicales provee de N a la planta. Por esta razón, leguminosas deficientes en Mo frecuentemente presentan síntomas de deficiencia de N. La nitrogenasa contiene iones de Mo y Fe, ambos necesarios para la activación de la enzima (Ferreira y Pessôa da Cruz, 1991).

El Mo es necesario para las plantas cuando el N es absorbido en forma de NO_3 , porque forma parte de la enzima nitrato reductasa, permitiendo la reducción biológica de NO_3 a NO_2 , siendo este el primer paso para la incorporación de N, como NH_2 en proteínas. Del total del Mo absorbido por la soja, más del 80% es exportado por los granos y su disponibilidad puede verse reducida si el pH del en el suelo se acidifica (EMBRAPA, 1999).

II.3 Fertilización de soja en Argentina

Si bien el consumo de fertilizantes en Argentina se ha incrementado notablemente en la década del 90, este aumento se encuentra aún lejos de alcanzar los niveles de reposición de nutrientes adecuados para la Región Pampeana. Esa baja reposición, ha llevado a una disminución considerable de la fertilidad nativa de los suelos, con lo cual la fertilización se convierte en una práctica indispensable para alcanzar rendimientos rentables y sustentables (García, 2001), es decir que los nutrientes devueltos por fertilización son sólo una pequeña porción de lo que se exporta (Lorenzatti y Bianchini, 2004). Esta situación ha provocado que la deficiencia de N y P se haya generalizado en la Región Pampeana como consecuencia de la expansión de la soja y que en algunas situaciones se encuentren respuesta al agregado de S (Pedrol *et al.*, 2001 y García, 2001). La tendencia hacia la fertilización en soja sigue siendo positiva, en la campaña 2005/ 2006 se aplicaron 700.000 tn contra 500.000 tn de la campaña anterior a esta (2004-2005), que expresado en porcentaje el consumo creció a un ritmo del orden del 30 % anual en los dos últimos años (Díaz Zorita *et al.*, 2007).

El productor está buscando maximizar rindes y rentabilidad, utilizando al fertilizante como elemento clave para el logro de estos resultados. Un punto para destacar es que el incremento fundamentalmente se sostiene buscando maximizar el balance de nutrientes, especialmente en P y S (Díaz Zorita *et al.*, 2007).

El mayor uso de fertilizantes, como el de otras prácticas de manejo que aportan a la eficiente nutrición del cultivo (tal es el caso de los inoculantes y/o fertilización vía foliar), tienen el propósito de reducir limitaciones en los rendimientos alcanzables, por lo que son prácticas que muestran una tendencia creciente en su uso acompañando a mayores demandas de nutrientes por aumentos en los rendimientos y la reducción en la oferta de los suelos (Díaz Zorita *et al.*, 2007).

En las dosis aplicadas con frecuencia, la práctica de la fertilización de soja (como en la mayoría de los cultivos extensivos en la Argentina) tienen como objetivo principal evitar la

falta de nutrientes específicos para su normal producción. Por lo tanto, si bien representa un aporte de importancia para atenuar el deterioro en la fertilidad de los suelos, no es una estrategia de compensación total de la extracción de nutrientes. En la Argentina, se trabaja en este sentido en la teoría de los rendimientos y no sobre la teoría de reposición de nutrientes (Díaz Zorita *et al.*, 2007).

En síntesis, la fertilización en soja se plantea a partir de la necesidad de mejorar los rendimientos y la rentabilidad del cultivo, y los balances de nutrientes en los suelos para mantener y/o mejorar su capacidad de producción (Lorenzatti y Bianchini, 2004), pero no existe una estrategia de fertilización que tienda a la reposición de los nutrientes exportados y, menos aún, a alcanzar el umbral de disponibilidad de los nutrientes deficientes (Martínez y Cordone, 2000). Sin embargo, la concientización de la necesidad de devolver nutrientes al suelo crece (Díaz Zorita *et al.*, 2007). Aunque la fertilización es indiscutible, es importante conocer su efecto sobre la formación de los nódulos, principales responsables del suministro de N para la soja, ya que ambos factores se potencian para lograr altos rendimientos en forma sustentable.

II.4 Fertilización foliar con meso y micronutrientes en soja

Las deficiencias de micronutrientes son aún poco frecuentes en los suelos en Argentina, ya sea porque no existen en forma aguda o no se las ha detectado e informado debido a la falta de investigación (Galarza *et al.*, 2004).

Los ensayos de fertilización foliar en soja están orientados a evaluar el efecto del agregado de nutrientes primarios, secundarios y micro nutrientes en estadios vegetativos tempranos y/o en reproductivas (generalmente en R3-R4) sobre diferentes parámetros tales como el rendimiento, la nodulación (peso y número de nódulos), la concentración foliar de nutrientes y la calidad de grano, entre otros (Torres Duggan, 2006).

En la Región Pampeana Argentina son reiterados los casos en los que se han documentado respuestas positivas a su aplicación, siendo el más frecuentes B en soja y últimamente, otros elementos como Co, Mo y Mn. Estos nutrientes pueden ser agregados de diversas maneras; sobre la semilla, al suelo y, más frecuentemente, por vía foliar (Ferraris y Couretot, 2009).

La fertilización foliar complementaria es una práctica que ha permitido incrementar los rendimientos en diferentes cultivos en la región pampeana. Esta práctica ha sido evaluada principalmente en el cultivo de Soja (Mousegne, 2004), ya que es el que ofrece la mejor relación insumo-producto con relación al costo de los fertilizantes.

Diversos autores han informado incrementos de rendimiento por la aplicación de micronutrientes por vía foliar. Ferraris y Couretot (2004) observaron respuesta al agregado de un complejo de nutrientes de aplicación foliar en condiciones de requerimientos cubiertos de N y P, de la misma manera, Salvador *et al.* (2004), obtuvieron aumentos de producción

entre 900 y 2100 kg ha⁻¹, en diferentes tratamientos de fertilización foliar realizados sobre suelos arcillosos de la región costera del E de Buenos Aires.

Las aplicaciones foliares, si bien no reemplazan el manejo de N, P y S -que debe realizarse al momento de la siembra-, presentan la ventaja de proveer una nutrición intensiva y con una dosificación exacta, sobre la base de un diagnóstico preciso, y con la posibilidad de aplicar los nutrientes en los momentos de mayor demanda del cultivo debido a su rápida absorción (Barber, 1984). Trabajos realizados en EEUU han mencionado estas ventajas desde hace más de 25 años (García y Hanway, 1976). Operativamente, en la región pampeana argentina podría realizarse en forma conjunta con productos defensivos como herbicidas en estadios vegetativos, o fungicidas e insecticidas en estadios reproductivos tempranos.

Las experiencias con fertilización foliar en soja, realizadas en diferentes regiones del país, no tuvieron los mismos resultados. En el área de Marcos Juárez no se registró efecto del agregado foliar de B en los estadios R3-R4, lo que se atribuyó a la alta fertilidad natural del suelo (Galarza *et al.*, 2004). En el partido de General Arenales (Buenos Aires) se registraron aumentos de la producción del orden de 8,3% a 28,5% (305 a 1035 kg.ha⁻¹ de incrementos) con aplicaciones con la semilla y foliares entre los estadios fenológicos V6 y R1 de diferentes micronutrientes, como el Mo, B y Zn (Ferraris *et al.*, 2005).

Entre las consecuencias derivadas de esta práctica se han mencionado efectos generales comunes a la mayoría de los nutrientes como el incremento en el área foliar y en la tasa de crecimiento del cultivo, mayor cuajado de vainas, mejor tolerancia a estrés hídrico, térmico o a daños mecánicos, así como en la tolerancia a enfermedades. También se favorecen diversos procesos por efectos específicos (Marschner, 1995).

II.5 Rendimiento

El estado fenológico R4 marca el inicio del periodo más crítico en el desarrollo de la planta, en término de rendimiento en granos. La ocurrencia de estrés (deficiencias nutricionales, luz, humedad) entre R4 y poco después de R6 reducirá el rendimiento más que en cualquier otro periodo de desarrollo. Las deficiencias hídricas pueden reducir la disponibilidad de nutrientes, debido a que las raíces no pueden crecer ni absorber nutrientes en las capas superficiales del suelo (Baigorri y Croatto, 2000).

Los factores determinantes (definitorios) del crecimiento y del rendimiento son: el genotipo (características de cada cultivar), la radiación solar y la temperatura del ambiente, dichos factores determinan el rendimiento potencial. Los factores limitantes son el agua y los nutrientes porque determinan el rendimiento alcanzable. Los factores reductores son las malezas, enfermedades, plagas, entre otros, porque deciden el rendimiento logrado o real. En un orden ascendente, son los reductores los primeros a cubrir a través de medidas de

protección del cultivo, en segundo lugar deberá regularse la entrega de los limitantes a través de medidas que promuevan el aumento del rendimiento (Soldini, 2008)

La diferencia de rendimiento que se manifiesta de una campaña a otra está en función de la cantidad de recursos (agua, luz, nutrientes) que las plantas tienen disponibles, las limitaciones que pueden restringir la captura de estos y la capacidad de las plantas de acceder a los lugares donde se encuentran y tomarlos. Es decir del total de recursos que se incorporan al sistema, una parte se destina a órganos vegetativos (raíces, tallos y hojas) y sólo una proporción de la biomasa, representada por el índice de cosecha (IC), es lo que finalmente compone el rendimiento. (Soldini, 2008)

Los dos aspectos principales del rendimiento son el potencial y la estabilidad. El primero es un atributo genético condicionado fuertemente por el ambiente, donde los grupos de madurez (GM) más cortos tendrían mayor potencial que los GM más largos pero a su vez exigen mejores condiciones ambientales durante el período crítico. El segundo, en cambio está asociado en forma directa con la longitud del ciclo, por lo tanto los GM más largos, presentan mayor estabilidad (Baigorri, 1997).

En el área de Río Cuarto, al sur de la provincia de Córdoba, la agricultura ocupa un papel importante dentro de las explotaciones agropecuarias. La creciente incorporación de la siembra directa, sumado a la disponibilidad de modernas sembradoras y empresas de servicios hacen que crezca día a día el interés por incorporar técnicas de avanzada. Esto genera una demanda de información creciente respecto de la fertilización, recomendaciones, niveles y respuesta esperada. Ante tal situación, se realizó un ensayo de fertilización en el cultivo de soja, e introduciendo nutrientes y tratamientos, a fin de aportar datos validados localmente.

III. HIPÓTESIS

Los cultivos de soja tratados con fertilizantes compuestos por meso y micro nutrientes aplicados al follaje producen un impacto favorable en la nodulación y el rendimiento del cultivo de soja.

IV. OBJETIVOS GENERALES

- Evaluar la respuesta del cultivo de soja a la aplicación de fertilizantes foliares compuestos por meso y micro nutrientes.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Evaluar la respuesta del cultivo de soja a la aplicación foliar de fertilizantes tanto en etapas vegetativas como reproductivas en relación al proceso de nodulación.
- Cuantificar los componentes del rendimiento luego de la aplicación de fertilizantes vía foliar en etapa vegetativa y reproductiva del cultivo de soja.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

V.1. Ubicación y caracterización del área de estudio

El trabajo se llevó a cabo en la ciudad de Río Cuarto, provincia de Córdoba (Argentina), en un predio ubicado en el enlace ruta 8 y 36 a 4 km al norte del ejido urbano de dicha ciudad. El suelo del lote es un Hapludol típico, familia textural franca-arenosa muy fina (Cantero *et al.*, 1986). Las características de dicho suelo se enumeran en los cuadros V.1 y V.2.; además, puede existir algún problema de fertilidad por la historia agrícola del lote, ya que tuvo 10 años de agricultura continua, sumado a las condiciones del ambiente regional.

Cuadro V.1: Caracterización física del horizonte superficial del Hapludol típico de Río Cuarto.

<i>Horizonte</i> (0-18 cm)	<i>Arena</i> (%)	<i>Arcilla</i> (%)	<i>Limo</i> (%)	<i>Densidad</i> <i>Aparente</i> ($kg\ cm^{-3}$)	<i>Agua Gravimétrica (%)</i>	
					30 KPa	1500 KPa
Ap	44,15	9,52	46,33	1,12	17,8	10,5

Cuadro V.2: Caracterización físico-química y química del horizonte superficial del Hapludol típico de Río Cuarto.

<i>Horizonte</i> (0-18 cm)	<i>Materia</i> <i>Orgánica</i> (%)	<i>pH</i> <i>actual</i>	<i>C.I.C.</i> $cmol.kg^{-1}$	Ca^{+2} $cmol. kg^{-1}$	Mg^{+2} $cmol. kg^{-1}$	K^{+} $cmol. kg^{-1}$	Na^{+} $cmol. kg^{-1}$
Ap	1,98	6,5	16,95	9,4	2,78	1,68	0,89

V.2 Condiciones climáticas

El régimen térmico es mesotermal. La temperatura media del mes más cálido (enero) es de 23 °C con una máxima absoluta de 39.5 °C. La temperatura media del mes más frío (julio) es 9.1 °C, con una mínima absoluta de -9.6 °C. La amplitud térmica media anual es de 13.9 °C. La fecha media de la primera helada es el 25 de mayo y la fecha media de la última helada es el 12 de septiembre, siendo el período libre de heladas en promedio de 255.7 días (Seiler *et al.*, 1995).

V.3 Implantación del cultivo de soja

La siembra se realizó el 22/11/06 con máquina Agrometal[®] bajo un sistema de labranza de siembra directa. La parcela de cada tratamiento son de 2.08 m de ancho (4 surcos) por 8.57 m de largo, haciendo una superficie de 17.5 m². Cada tratamiento con sus 3 repeticiones tiene una superficie de 52.5 m² y el total del experimento 260 m².

Se trabajó con el cultivar de soja RA 518, grupo de madurez V semi determinado, del criadero Santa Rosa, a la siembra las semillas fueron tratadas con inoculante

Bradyrhizobium Japonicum de NITRAP® y se hizo por medio de mezcla manual de la semilla previo a la siembra.

El cultivo se sembró de norte a sur en siembra directa sobre un rastrojo de soja de la campaña anterior a 52 cm entre líneas con 25 plantas por m lineal, con lo cual se logro una densidad de 490.000 semillas ha⁻¹. Siendo la densidad promedio realmente establecida en el lote de 320000 pl ha⁻¹.

Se realizaron aplicaciones presiembra de herbicidas por presentar malezas en intensidad leve, además del barbecho químico de invierno. Durante el ciclo del cultivo se realizaron controles sanitarios para minimizar el efecto de competencia por malezas, plagas y enfermedades.

Los controles de malezas se hicieron con 2 l ha⁻¹ de glifosato 48 % + 0,155 l/ha de dicamba en barbecho de agosto, en presiembra 2 l ha⁻¹ de glifosato 48 % y previo al cierre de surcos se realizó la aplicación de 1,3 kg ha⁻¹ de glifosato 74.7%.

Para el control de barrenador del brote, orugas defoliadoras, chinches y trips, periódicamente se aplicó clorpirifós, endosulfán y cipermetrina. Para el control de enfermedades de fin de ciclo se aplicó en R3 400 cc ha⁻¹ de fungicida marca Opera® (Pyraclostrobin 13,3% + epoxiconazole 5%).

El diseño estadístico utilizado fue un diseño en bloques completamente aleatorizados, con tres repeticiones. La fertilización se realizó durante todo el ciclo del cultivo; los tratamientos fueron 4 fertilizantes foliares, un tratamiento inoculado solamente y el testigo sin fertilizar ni inocular, comparando un mismo fertilizante en diferentes etapas, diferentes fertilizantes en el mismo estado fenológico y una comparación entre el inoculado y el testigo (Cuadro V.3).

Cuadro V.3: Tratamientos del ensayo.

Tratamientos	Fertilizantes	Dosis (l ha ⁻¹)	Etapas Fenológica
Tratamiento 1	Stimulate Mo + CaB	250 cc + 3 l	V4-V5
Tratamiento 2	Co-Mo	250 cc	V4-V5
Tratamiento 3	Stimulate Mo + CaB	250 cc + 3 l	R3-R4
Tratamiento 4	Phytogard Zinc	500 cc	R3-R4
Tratamiento 5	Inoculado sin fertilizar	0	
Tratamiento 6	Testigo absoluto		

El *Stimulate Mo* se utilizó como fuente de molibdeno, con una concentración de 4 % de Mo¹.

¹ Catálogo de STOLLER S.A. Argentina. 2006.

El producto denominado *CaB* se utilizó como fuente de Ca y B, con una concentración de 8 % y 0.5 %, respectivamente¹.

El producto *Co-Mo* se utilizó como fuente de Co y Mo con 1 % y 6 %, respectivamente¹.

El producto *Phytogard Zinc*, es un fertilizante foliar líquido derivado del ácido fosforoso conteniendo P y zinc¹.

Según cada tratamiento, se realizaron las aplicaciones en el periodo vegetativo (25 días después de emergencia: V4-V5) y en el periodo reproductivo (R3-R4), Se utilizaron dos estrategias de fertilización foliar y en distintos momentos fenológicos del cultivo:

a- Aplicaciones en estado vegetativo (V4-V5) con un producto a base de *Stimulate Mo + CaB* y *Co-Mo* en otro.

b- Aplicaciones durante el periodo reproductivo (R3-R4), utilizando *Stimulate Mo + CaB* en un tratamiento y *Phytogard Zinc* en otro.

La aplicación se realizó con una mochila de fumigación (de presión constante), en forma manual a paso de hombre, que eroga un caudal de 200 l ha⁻¹ a 40 libras de presión aproximadamente, con picos de abanico plano. El fertilizante se aplicó en forma localizada al costado y por encima de las plantas y siempre teniendo en cuenta que las condiciones climáticas ideales en el momento de fumigación deben ser lo más favorables posibles (sin viento y alta humedad relativa).

V.4 Determinación de las etapas fenológicas del cultivo

Para la determinación de las etapas fenológicas del cultivo de soja, la escala más difundida a nivel internacional es la propuesta por Fehr y Caviness (1977). Esta escala se basa en determinaciones macroscópicas fácilmente observables a campo.

La definición de cada estadio vegetativo está indicada por la letra (V) y una descripción abreviada. La numeración del estado vegetativo se determina mediante el recuento de los nudos sobre el tallo principal que tiene o han tenido hojas completamente desarrolladas. Se considera que una hoja está completamente desarrollada cuando los bordes de los folíolos de la hoja inmediatamente superior no se tocan. Las etapas reproductivas se basan en la floración, en el crecimiento de vainas, llenado de granos y en la madurez de las plantas. La designación de cada fase se indica con la letra R seguida de un número y por una explicación abreviada de cada fase.

V.5 Determinación de los parámetros de la fijación biológica del nitrógeno

Al inicio del llenado de granos (R5) se realizó una evaluación de la nodulación en 10 plantas por tratamiento, que involucra el recuento de nódulos en raíz primaria y secundaria,

su clasificación por tamaño, color y porcentaje de viabilidad; para determinar el porcentaje de inhibición y/o activación del proceso de nodulación.

Procedimiento:

A campo: Elección del sitio de muestreo donde se utilizaron los dos centrales de cada tratamiento, elección al azar de plantas, toma y recolección de la muestra.

En laboratorio: lavado inicial y final de la muestra con una malla tipo mosquitera y agua a presión para separar raíces y nódulos de la tierra. Una vez separados se colocaron en bolsas y se identificaron las muestras pertenecientes a cada tratamiento y el testigo. La clasificación y el conteo de los nódulos se realizó con la ayuda de zarandas con ranuras de 2 mm y 4 mm para separarlos en tres tamaños: chicos (menor a 2 mm), medianos (entre 2 y 4 mm) y grandes (mayor a 4 mm).

En esta etapa se determinó:

Número de nódulos ubicados en la raíz principal y en las secundarias mediante conteo bajo lupa manual y número de nódulos totales por planta.

Nódulos activos principales y secundarios (número y porcentaje por planta), a través de cortarlos por el medio y apreciación visual de la coloración rosada, con lo cual se evidencia la actividad de los nódulos.

V.6 Evaluación de los componentes del rendimiento

La cosecha se hizo (10/04/07) en forma manual de los dos surcos centrales de cada tratamiento en 5 m lineales, tomándose 3 submuestras, en cada parcela, Los frutos fueron desgranados con máquina estática marca Forti[®], luego se obtuvo el peso del grano y los datos colectados fueron transformados a kg ha⁻¹.

A cosecha

* Número de plantas por superficie (plantas por m², con 3 repeticiones).

* Componentes del rendimiento: vainas/plantas, granos/vaina y peso de 1000 granos, se evaluaron en 10 plantas con 3 repeticiones de la siguiente forma:

Número de vainas por m²: Se determinó mediante la recolección de las vainas presentes en las plantas, posteriormente se convirtió a número de vainas m⁻².

Número de granos por m⁻²: se contó la totalidad de los granos que contienen las plantas en 1.92 m lineales de surco, lo equivale a 1 m²; esta medida se debe a que el cultivo se sembró a 0.52 m de distancia entre surco.

Número de granos por vaina: Se obtuvo del cociente entre el número de granos por m² y el número de vainas por m².

Peso de los 1000 granos: Se determinó pesando de cada ensayo 500 granos y multiplicarlos por 2, luego se pesaron y promediaron, expresando el valor obtenido en gramos (gr).

Rendimiento en grano (kg m^{-2}): Se cosechó manualmente las vainas presentes en las plantas recolectadas, se sacaron y pesaron los granos, y los datos se corrigieron con una humedad al 13.5%. Este dato es llevado a kg.ha^{-1}

En cuanto al rendimiento, los valores obtenidos fueron expresados como rendimiento relativo (RR = rendimiento del cultivo inoculado, testigo, expresado en forma relativa al tratamiento fertilizado) y respuesta a la fertilización (diferencia de rendimiento entre el cultivo fertilizado, el inoculado sin fertilizar y el testigo ni fertilizado ni inoculado) (Gutiérrez Boem *et al.*, 2002).

$$\text{RR (\%)} = \frac{\text{rendimiento del fertilizado}}{\text{Rendimiento del testigo}} \times 100$$

$$\text{Respuesta (kg ha}^{-1}\text{)} = \text{rendimiento fertilizado} - \text{rendimiento testigo}$$

V.7 Análisis de datos

Los resultados fueron analizados mediante el ANOVA y separación de medias empleando el test Duncan ($P = 0.05$), utilizando el programa Infostat (2004), de la siguiente forma:

Aplicación foliar de una mezcla de 2 fertilizantes: *Stimulate* Mo (250 cc ha^{-1}) + CaB (3 l ha^{-1}) en 2 etapas fenológicas (vegetativo: V4-V5 y reproductivo: R3-R4) utilizando como testigo la parcela inoculada sin fertilizar.

Aplicación vía foliar de diferentes fertilizantes en igual etapa fenológica del cultivo vs. el testigo sin fertilizar.

En estado vegetativo: V4-V5

- Stimulate Mo + CaB

- CO-Mo

En estado reproductivo: R3-R4

- Stimulate Mo + CaB

- Phytogard Zinc

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

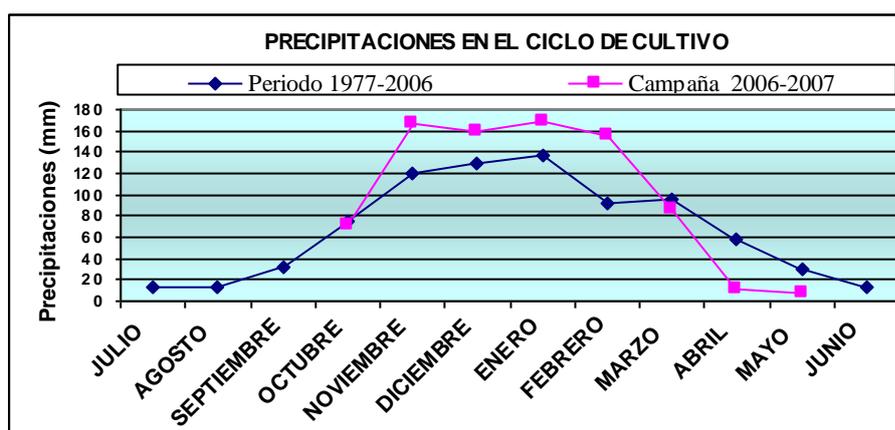
VI.1 Condiciones meteorológicas de la campaña

El clima del sitio experimental, está caracterizado por un régimen de precipitaciones monzónico, que concentra el 80% de las lluvias en el período de octubre a abril. A continuación se presenta una caracterización meteorológica de la estación de crecimiento del cultivo de soja (noviembre a abril) correspondiente al ciclo agrícola 2006/07 (Cuadro VI.1) y se lo compara con valores promedio de una serie climática histórica de registros de 30 años en donde la precipitación media anual es de 801 mm para la serie 1977-2006 (Servicio de Agrometeorología, 2008).

Cuadro VI.1: Precipitaciones durante el ciclo del cultivo de soja (mm).

mes	precipitación (mm)
noviembre	166
diciembre	160
enero	169
febrero	155
marzo	86
abril	11
Total Ciclo	747

Fuente: Cátedra de Agrometeorología Agrícola, Facultad de Agronomía y Veterinaria (FAV), Universidad Nacional de Río Cuarto (UNRC).

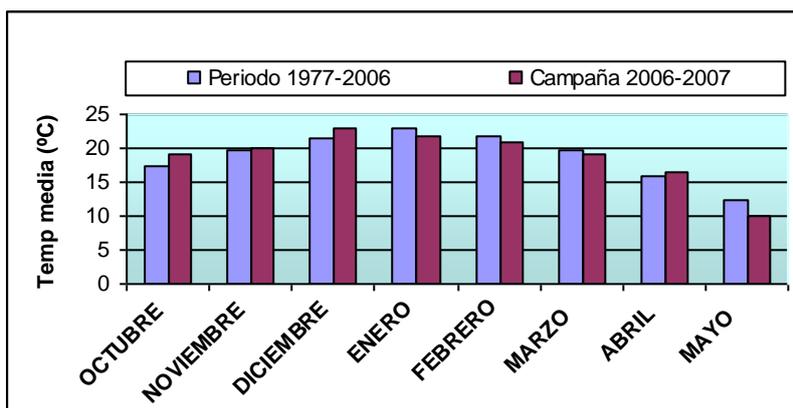


Fuente: Servicio de Agrometeorología, 2008

Figura VI.1. Registros de precipitaciones mensuales durante los meses de noviembre a mayo del ciclo 2006/07 y la precipitación media mensual del período 1977/2006.

Puede observarse que las precipitaciones fueron abundantes durante la campaña 2006-2007, en donde los milímetros precipitados mensualmente superan en todo el ciclo a la media mensual histórica de los últimos 30 años, alcanzando en estos 6 meses un milimetraje similar al promedio anual (750-801 mm).

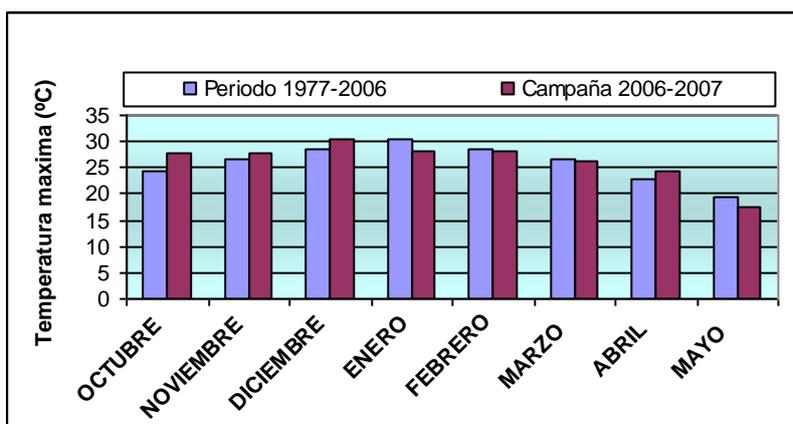
Como puede notarse en la figura VI.2, las temperaturas medias del ciclo 2006/2007 superaron a las medias históricas los dos primeros meses de crecimiento del cultivo, prácticamente todo el desarrollo vegetativo del mismo; durante el resto del ciclo las temperaturas medias fueron inferiores.



Fuente: Servicio de Agrometeorología, 2008

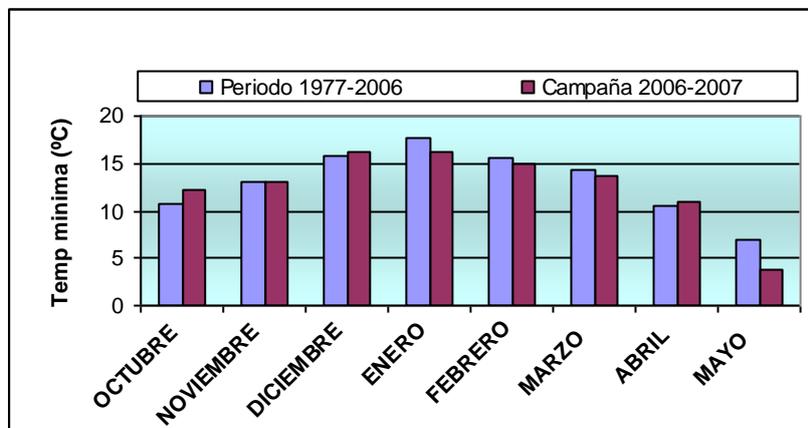
Figura VI.2. Promedios mensuales de la temperatura media del aire durante los meses de octubre a mayo del ciclo 2006/07 y temperaturas medias mensuales del período 1977/2006.

En el caso de las temperaturas máximas y mínimas (figuras VI.3 y VI.4 respectivamente) siguen la tendencia de las temperaturas medias de la campaña 2006/2007, en donde se observan valores superiores a la media histórica hasta fines del mes de diciembre de 2006, fecha coincidente con el inicio de la etapa de floración del cultivo.



Fuente: Servicio de Agrometeorología, 2008

Figura VI.3. Promedios mensuales de la temperatura máxima del aire durante los meses de octubre a mayo del ciclo 2006/07 y las temperaturas máximas medias del período 1977/2006.



Fuente: Servicio de Agrometeorología, 2008

Figura VI.4. Promedios mensuales de la temperatura mínima del aire durante los meses de octubre a Mayo del ciclo 2006/07 y la temperatura mínima media del período 1977/2006.

VI.2 NODULACIÓN

VI.2.1 Número de nódulos

Si no existen limitaciones ambientales, en numerosas experiencias se observó que en estados vegetativos V4-V5, las plantas cuentan con 10-12 nódulos por planta, ubicados en su mayoría en la parte superior de la raíz primaria. En estados reproductivos R5-R6, la adecuada nodulación presenta 40-50 nódulos por planta, de los cuales 12 se encuentran por lo menos en la parte superior de la raíz primaria, de tamaño medio a grande de 4-6 mm de diámetro (Baigorri *et al.*, 2003); considerándose como número de nódulos críticos para lograr máximos rendimientos, de 15 por planta, detectándose una estrecha relación entre la nodulación y los rendimientos (Fontanetto *et al.*, 2004).

En la figura VI.5 puede observarse que el número de nódulos por planta localizados en la raíz principal y el total, presentaron diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$) entre el inoculado y el testigo. Mientras que no hubo diferencias en la nodulación de las raíces secundarias.

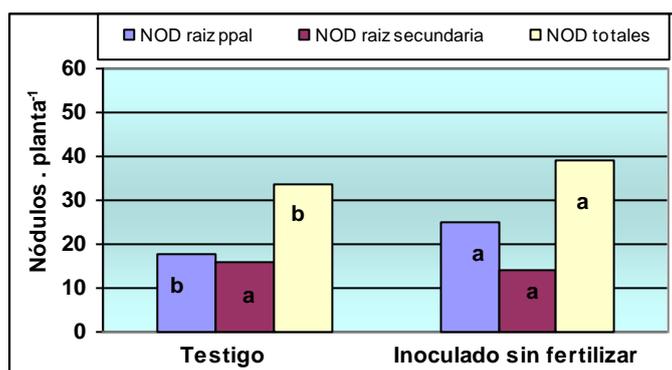


Figura VI.5: Número de nódulos por planta en raíz principal, secundaria y totales evaluados en la etapa fenológica R5. Letras distintas indican diferencias significativas con el test de Duncan ($p \leq 0,05$).

Los resultados obtenidos en este ensayo certifican lo planteado por Ferraris *et al.* (2005), quienes aseguran que la práctica más recomendable para lograr que la fijación sea una fuente importante de N para el cultivo de soja, es la inoculación de la semilla con cepas de *Bradyrhizobium japonicum*, lo cual indica la importancia de esta práctica. En el mismo sentido, Sylvestre Begnis y Bianchini (2004) afirman que el objetivo de la inoculación es asegurar la mayor cantidad posible de bacterias sobre la semilla, para lograr una rápida infección y la generación de nódulos sobre la raíz principal que sean efectivos para la FBN.

Teniendo en cuenta las diferencias estadísticas significativas que existen entre el testigo y el tratamiento inoculado (cuadro X.1 en anexo II); se analizó si la fertilización foliar es positiva como estrategia para estimular aún más el proceso de nodulación.

Cuando se realiza el análisis de la nodulación ante el agregado de diferentes fertilizantes en estados vegetativos (figura VI.6), queda de manifiesto que existen diferencias estadísticas significativas tanto en el número de nódulos en la raíz principal como así también en los localizados en las raíces secundarias y en el total, entre los tratamientos fertilizados y el inoculado solamente.

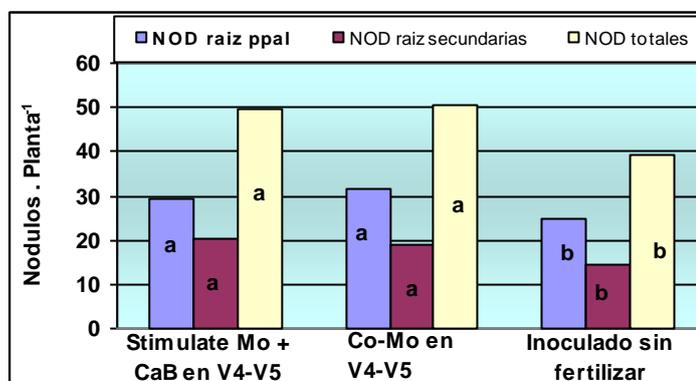


Figura VI.6: Número de nódulos en raíz principal, laterales y totales en V4-V5 con diferentes fertilizantes evaluados en la etapa fenológica R5. Letras distintas indican diferencias significativas con el test de Duncan ($p \leq 0,05$).

Puede observarse que la inoculación con el agregado de fertilizantes mejoró la nodulación en ambos casos, sin embargo existe una tendencia al aumento en el número de nódulos en la raíz principal cuando el fertilizante es en base a Co y Mo, elementos esenciales para el proceso de FBN.

Al analizar un mismo fertilizante en dos etapas fenológicas (figura VI.7), puede notarse que existen diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$) de los tratamientos fertilizados frente al tratamiento que solo fue inoculado, lo que demuestra la importancia de la fertilización como estrategia complementaria para estimular el proceso de nodulación en soja. En cambio, si analizamos la respuesta del cultivo de soja al agregado de un mismo fertilizante en dos etapas fenológicas diferentes, puede observarse que no existen diferencias estadísticas significativas tanto si la fertilización es realizada en etapa vegetativa como en la reproductiva, lo que indica que la diferencia se debe al fertilizante y no al momento de aplicación del mismo.

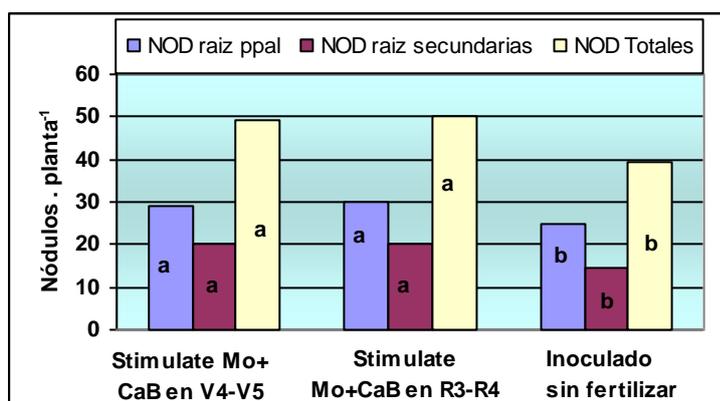


Figura VI.7: Número de nódulos en raíz principal, laterales y totales en dos etapas fenológicas con el mismo fertilizante evaluados en la etapa fenológica R5. Letras distintas indican diferencias significativas con el test de Duncan ($p \leq 0,05$).

En la figura VI.8 donde se analiza el número de nódulos en la raíz principal, las secundarias y las totales ante la fertilización en la misma etapa reproductiva (R3-R4) puede observarse que existen diferencias estadísticas significativas entre aquellas que fueron fertilizadas con la que sólo fue inoculada. Sin embargo, no existen diferencias significativas cuando el análisis es entre ambos fertilizantes, lo que nos está indicando que las respuestas en el cultivo de soja se deben a la fertilización foliar en esta etapa y no al fertilizante en particular.

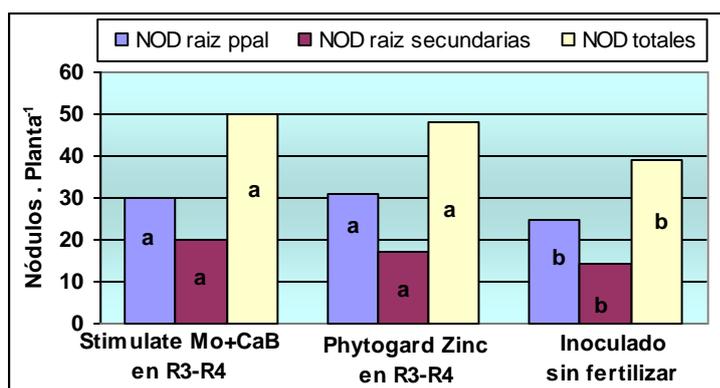


Figura VI.8: Número de nódulos en raíz principal, secundaria y totales en igual etapa reproductiva con distintos fertilizantes evaluados en la etapa fenológica R5. Letras distintas indican diferencias significativas con el test de Duncan ($p \leq 0,05$).

VI.2.2 Actividad Nodular

Según Baigorri *et al.* (2003), las cepas más eficientes son aquellas que tienen mayor cantidad de nódulos medianos y grandes siendo rojos en su interior, ubicados en la raíz primaria, y tienen rápida y prolongada fijación (desde V2-V3 hasta R6); en cambio, los rizobios menos eficientes, originan nódulos más pequeños y están ubicados en raíces secundarias que tienden a paralizar la FBN en etapas tempranas (floración), y en algunos casos presentan nódulos de coloración verde.

En las figuras VI.9 (A y B), puede verse que aquellas semillas que fueron inoculadas con cepas de *Bradyrhizobium japonicum* obtuvieron diferencias estadísticas significativas en el porcentaje de actividad y en el número de nódulos con respecto al testigo que no recibió dicho tratamiento. En este último caso, la nodulación se atribuye solamente a las cepas naturalizadas presente en el suelo.

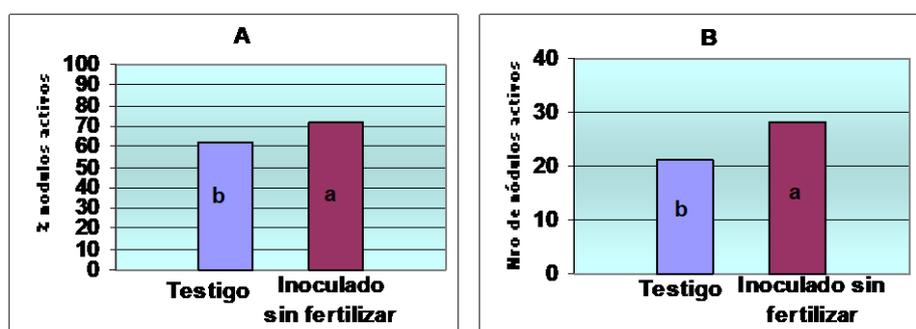


Figura VI.9: Porcentaje de actividad nodular(A) y número de nódulos (B) en el testigo y el tratamiento inoculado evaluados en la etapa fenológica R5. Letras distintas indican diferencias significativas con el test de Duncan ($p \leq 0,05$).

En la figura VI.10 en donde el tratamiento fertilizado con Co y Mo junto a aquel que recibió Ca, B y Mo en etapa vegetativa (V4-V5) favorecieron el porcentaje de nódulos activos en comparación con el inoculado solamente pero no llegando a obtener diferencias estadísticas significativas en ninguno de los casos; resultados diferentes a estos encontraron Ferraris y Couretot (2006), quienes señalan diferencias significativas en el porcentaje de nodulación entre el testigo y el inoculado; también destacan una diferencia considerable entre estos y la fertilización con Co y Mo en la misma etapa fenológica en que se realizó este tratamiento (V4-V5).

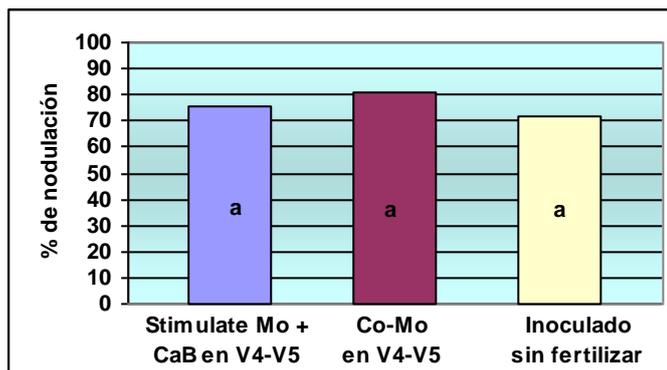


Figura VI.10: Porcentaje de nodulación en el cultivo de soja evaluado en etapa de llenado de granos (R5) en tratamientos con diferentes fertilizantes aplicados en V4-V5. Letras distintas indican diferencias significativas con el test de Duncan ($p \leq 0,05$).

Al analizar la fertilización del cultivo de soja con un mismo fertilizante tanto en la etapa vegetativa como en la reproductiva (figura VI.11) puede observarse que no existen diferencias estadísticas significativas entre ambos tratamientos fertilizados, tampoco con el inoculado, lo que estaría indicando que el aumento en el porcentaje de nódulos efectivos se debe a la inoculación (figura VI.9 A) y no al aporte de fertilizantes vía foliar. Sin embargo, al observar el número de nódulos con actividad (ver cuadro X.3 en Anexo II) puede observarse que existen diferencias significativas entre los dos tratamientos fertilizados y el inoculado solamente, esto es debido a que existe una tendencia en ambos casos a aumentar el porcentaje con fertilización por mayor número de nódulos por planta.

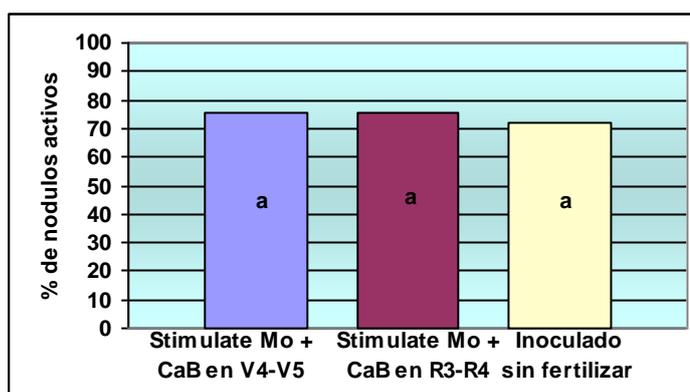


Figura VI.11: Porcentaje de nódulos activos en el cultivo de soja evaluado en llenado de granos (R5) ante la aplicación de fertilizantes en dos etapas fenológicas diferentes. Letras distintas indican diferencias significativas con el test de Duncan ($p \leq 0,05$).

Estadísticamente no existen diferencias significativas ($p \leq 0,05$) en el porcentaje de nódulos activos entre los tratamientos que recibieron fertilización foliar en etapa reproductiva y el que sólo fue inoculado a la siembra (Figura VI.12), lo que nos estaría demostrando que la aplicación de algún tipo de fertilizante en esta etapa del cultivo de soja no modifica considerablemente el porcentaje de actividad nodular; sin embargo, existe una tendencia al aumento en el porcentaje de nodulación, diferencia que se traduce claramente al analizar el número de nódulos activos (cuadro X.4 en anexo II) en donde, aquí sí existen diferencias estadísticas significativas debido principalmente al mayor número de nódulos por planta.

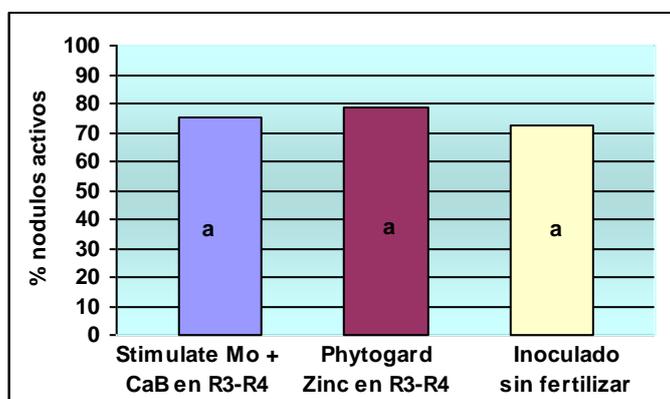


Figura VI.12: Porcentaje de nódulos activos en el cultivo de soja evaluado en llenado de granos (R5) ante la aplicación de diferentes fertilizantes en igual etapa fenológica. Letras distintas indican diferencias significativas con el test de Duncan ($p \leq 0,05$).

En síntesis, si bien existe un tratamiento que tiene alto porcentaje de nódulos activos con respecto a los otros, como se mencionó anteriormente, en la mayoría de los tratamientos el porcentaje estuvo por encima del 70%, salvo el testigo que fue colonizado por bacterias naturalizadas en donde el porcentaje apenas alcanzó 60%, lo que indica que la inoculación de la semilla con bacterias específicas colonizadoras del cultivo de soja juega un papel fundamental en la estimulación de la nodulación en las raíz principal, la actividad de la nitrogenasa y de los nódulos. Puede observarse, que todos los tratamientos fertilizados tuvieron mayores porcentajes de actividad nodular, lo que puede indicar que la fertilización puede favorecer de manera indirecta la nodulación proporcionando mejores condiciones, tanto para la planta ante un stress al favorecer el desarrollo radical, como también en la relación planta-bacteria, favoreciendo la nutrición microbiana y un mayor número de nódulos.

VI.3 RENDIMIENTO

VI.3.1 Componentes del rendimiento

En principio, el rendimiento es el producto de sus dos componentes principales: el número de granos (NG) por unidad de superficie y el peso de éstos (PG) (Kantolic *et al.*, 2004). Si bien existen compensaciones entre estos componentes, guardan cierta independencia entre sí, que permite suponer que un aumento en cualquiera de los dos componentes puede producir un aumento en el rendimiento. Sin embargo, en un rango amplio de condiciones agronómicas el NG es el componente que mejor explica las variaciones en el rendimiento (Kantolic *et al.*, 2004).

VI.3.1.1 Número de granos

El número de semillas por unidad de superficie puede subdividirse en varios sub-componentes. Éstos representan la cantidad de sitios potenciales para el establecimiento de los granos (número de nudos por unidad de área del cultivo), la fertilidad de estos sitios (número de vainas por nudo) y la fertilidad de los frutos (número de granos por vaina) (Ramseur *et al.*, 1984).

Al realizar el análisis del número de granos por metro cuadrado que tiene el testigo frente al inoculado (figura VI.13), puede observarse que no existieron diferencias estadísticas suficientes para afirmar que la inoculación favoreció al aumento en el número de granos.

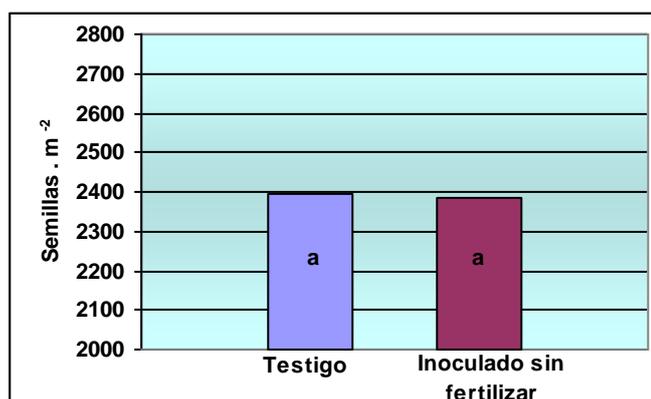


Figura VI.13: Número de semillas por unidad de superficie en el cultivo de soja evaluado a cosecha en la parcela testigo e inoculada. Letras distintas indican diferencias significativas con el test de Duncan ($p \leq 0,05$).

Al analizar el número de semillas por unidad de superficie entre dos tratamientos fertilizados en etapa vegetativa frente al inoculado (figura VI.14), puede verse que existen diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0,05$) entre los que recibieron fertilización y el que

sólo fue inoculado. A su vez puede observarse que la aplicación de un fertilizante con Co y Mo aumentó el número de semillas por metro cuadrado en forma significativa, con 2663 semillas.m⁻² en comparación con el otro tratamiento compuesto por Mo, Ca y B que obtuvo 2541 semillas.m⁻² y por último, el inoculado con 2385 semillas.m⁻². En base a estos resultados, llevaría a plantear que el tratamiento con estos fertilizantes y en esta etapa de desarrollo del cultivo, favorecen el aumento en el número de granos por superficie, al considerarse que influye indirectamente a través de la mejora en el porcentaje de actividad nodular (cuadro X.2 en anexo II) y el mayor número de nódulos en raíz principal (Figura VI.6) lo que generó plantas más vigorosas con mayor tolerancia al estrés; esto se vio reflejado en las plantas con mayor número de nudos, y por consiguiente de frutos. Estas diferencias entre estos tratamientos se deben principalmente al número de frutos por planta (ver cuadro X.6 en anexo II).

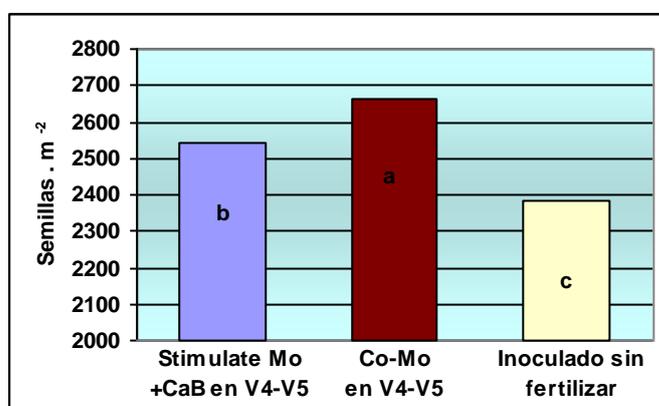


Figura VI.14: Número de semillas por unidad de superficie en el cultivo de soja evaluado a cosecha ante la aplicación de diferentes fertilizantes en etapa vegetativa (V4-V5). Letras distintas indican diferencias significativas con el test de Duncan ($p \leq 0,05$).

En el análisis de un mismo fertilizante foliar en dos etapas fenológicas diferentes del cultivo de soja comparativamente con el inoculado (figura VI.15), puede notarse que existen diferencias estadísticas significativas en el número de semillas por superficie entre los tratamientos fertilizados y el inoculado solamente ($p \leq 0,05$). Sin embargo, cuando comparamos los tratamientos fertilizados no existen diferencias significativas entre ellos, lo que demuestra que la aplicación foliar con este fertilizante genera una respuesta en el cultivo de soja en términos de números de granos por unidad de superficie, pero este aumento es independiente del momento de aplicación del mismo.

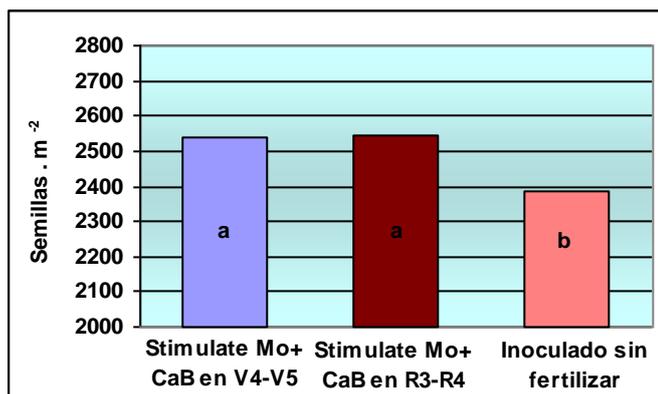


Figura VI.15: Número de semillas por unidad de superficie en el cultivo de soja evaluado a cosecha ante la aplicación foliar del mismo fertilizante en diferentes etapas fenológicas. Letras distintas indican diferencias significativas con el test de Duncan ($p \leq 0,05$).

La aplicación de fertilizantes foliares en etapas reproductivas no generan la magnitud de respuesta que se obtienen en etapas tempranas del cultivo con esta misma práctica, esto se observa en los tratamientos en los que se fertilizó en la etapa reproductiva R3-R4 con diferentes fertilizantes foliares(figura VI.16); sin embargo, existe un aumento considerable con diferencia estadística significativa en el número de granos por unidad de superficie del tratamiento con Mo, B y Ca con respecto al inoculado, en cambio, al que se aplicó P con Zn las diferencias no son significativas.

Al comparar los dos tratamientos fertilizados, hay un leve aumento de uno de ellos, pero no llegando a tener una diferencia estadísticamente suficiente entre ellos para afirmar que la fertilización en esa etapa y con dicho fertilizante en particular genera aumento en el número de semillas por unidad de superficie.

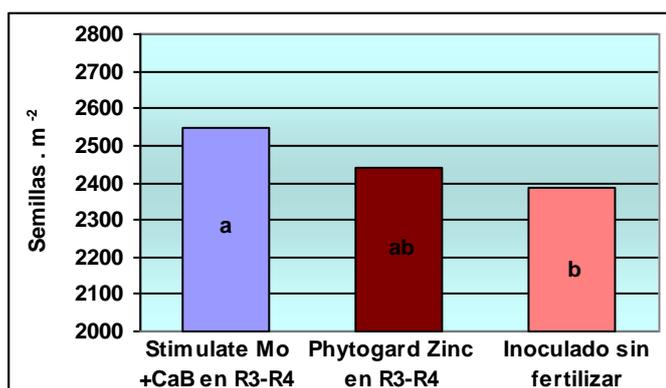


Figura VI.16: Número de semillas por unidad de superficie en el cultivo de soja evaluado a cosecha ante la aplicación de diferentes fertilizantes en etapa reproductiva (R3-R4). Letras distintas indican diferencias significativas con el test de Duncan ($p \leq 0,05$).

VI.3.1.2 Peso de los granos

El peso de los granos de soja puede variar en un rango amplio, entre 80 y más de 400 mg. Dentro de las variedades de soja que se cultivan en Argentina y en la mayor parte de las condiciones ambientales, el peso individual de los granos suele variar entre 140 y 220 mg (Kantolic *et al.*, 2004).

El tratamiento que sólo fue inoculado obtuvo una diferencia estadísticamente significativa con respecto al testigo en el peso de 1000 semillas (figura VI.17). Esto nos demuestra que el aumento que existe en el peso de los granos se debe a la inoculación del cultivo con cepas específicas de *Bradyrhizobium japonicum*, lo cual resalta la importancia de la inoculación en cualquier planteo productivo, cuando el análisis se centra en el aumento en el peso de los granos.

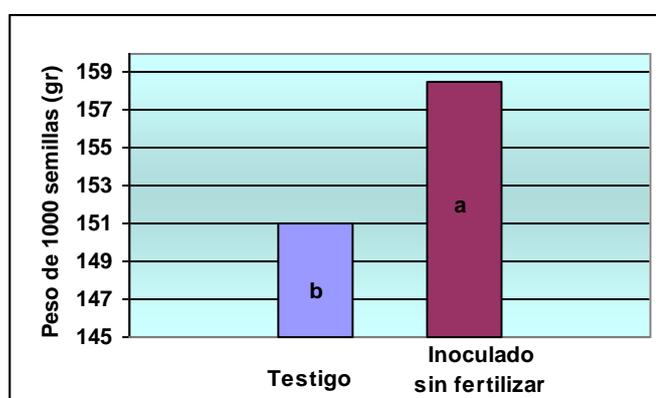


Figura VI.17: peso de mil semillas (gr) en el cultivo de soja, evaluadas a cosecha en el testigo y el inoculado. Letras distintas indican diferencias significativas con el test de Duncan ($p \leq 0,05$)

Al observar los resultados obtenidos en la figura VI.18, si se compara con el número de granos-en donde la tendencia es clara y el aumento se sitúa hacia aquellos tratamientos en donde la fertilización se realizó en etapas tempranas y con determinados fertilizantes- en el caso del peso de los granos ocurre lo contrario, ya que se observa que en los tratamientos fertilizados en etapas tempranas del cultivo, el peso de los granos se deprime en forma considerable con una diferencia estadísticamente significativa cuando se compara frente al inoculado.

Al analizar los dos fertilizantes en forma particular, se observa que el tratamiento con menor peso en las 1000 semillas es aquel fertilizado con Co y Mo, esto, con una diferencia estadística significativa frente al fertilizado con Mo, Ca y B. Como puede verse más adelante en el rendimiento por hectárea, aquellos tratamientos con menor número de granos, como es el caso del inoculado, es compensado por un mayor peso de 1000 granos como sucede en este caso, lo que genera que no exista una diferencia tan grande entre ellos al momento de evaluar el rendimiento.

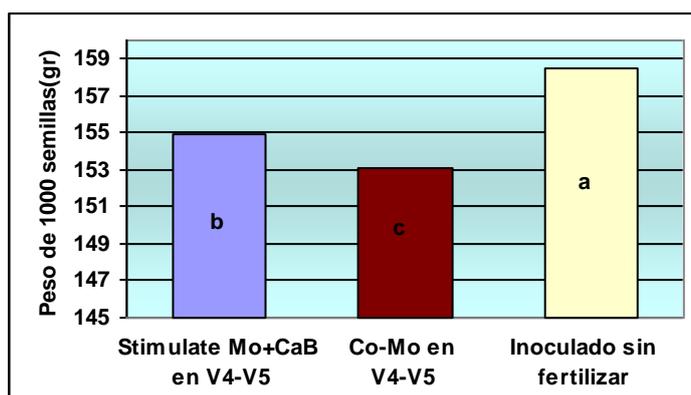


Figura VI.18: Peso de mil semillas (gr) en el cultivo de soja evaluado a cosecha ante la aplicación de diferentes fertilizantes en etapa vegetativa (V4-V5). Letras distintas indican diferencias significativas con el test de Duncan ($p \leq 0,05$).

En el caso de los tratamientos fertilizados con Ca,B y Mo evaluados en esta experiencia, no se obtuvieron respuestas significativas al agregado de estos fertilizantes cuando se compara frente al inoculado(figura VI.19), tanto en etapas vegetativas como reproductivas en lo que respecta al aumento en el peso de granos. A diferencia de lo registrado por varios autores (Ciampitti *et al.*, 2006), en donde evaluaron y encontraron respuestas significativas con la fertilización foliar con Ca y su influencia en la FBN, tasa de crecimiento y rendimiento en soja tanto en etapas vegetativas como reproductivas.

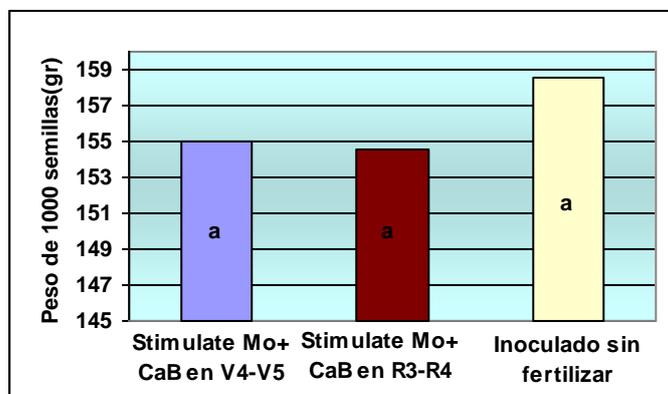


Figura VI.19: Peso de mil semillas (gr) en el cultivo de soja evaluado a cosecha ante la aplicación foliar del mismo fertilizante en diferentes etapas fenológicas. Letras distintas indican diferencias significativas con el test de Duncan ($p \leq 0,05$).

Siguiendo con la misma tendencia del análisis anterior, en la figura VI.20 puede notarse que no existen diferencias estadísticas significativas entre los diferentes tratamientos analizados, inclusive los tratamientos fertilizados en etapas reproductivas tienen una tendencia a tener menor peso de granos al compararlo frente al que no recibió fertilización y solo fue inoculado.

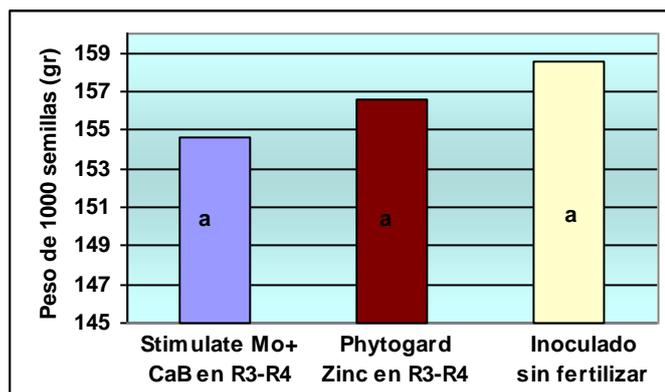


Figura VI.20: Peso de mil semillas (gr) en el cultivo de soja evaluado a cosecha ante la aplicación de diferentes fertilizantes en etapa reproductiva (R3-R4). Letras distintas indican diferencias significativas con el test de Duncan ($p \leq 0,05$)

Esto puede deberse a un aumento en el número de vainas favorecido por la fertilización en esta etapa (ver cuadro X.8 en anexo II), donde una mejora en el estado general del cultivo favorece el incremento en el número de vainas por planta, pero deprimiendo el peso de los mismos.

VI.3.2 Rendimiento

Comparando el tratamiento inoculado con cepas específicas de *Bradyrhizobium japonicum* frente a un testigo (figura VI.21), puede notarse que existen diferencias estadísticas significativas en términos de rendimiento, resaltando la importancia de realizar esta práctica en cualquier planteo productivo en donde el objetivo es encontrar respuestas en kilogramos al realizar el cultivo de soja.

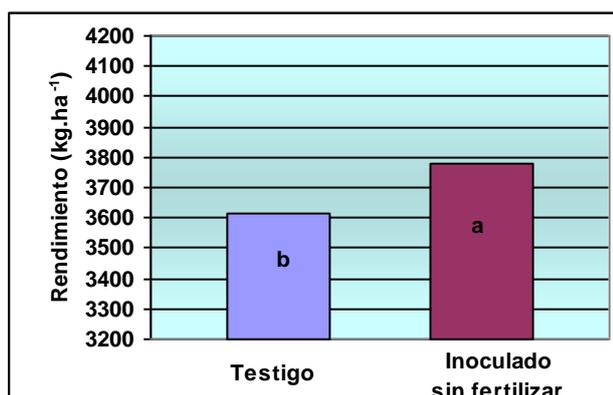


Figura VI.21: Rendimiento (kg ha⁻¹) en el cultivo de soja evaluado a cosecha en la parcela testigo e inoculada. Letras distintas indican diferencias significativas con el test de Duncan ($p \leq 0,05$).

Los resultados de rendimiento obtenidos en los distintos tratamientos analizados (figura VI.22) indican que la fertilización con Co y Mo en etapas vegetativas del cultivo de soja provocan las mayores diferencias estadísticas significativas comparativamente con otro

fertilizante a base Mo, Ca y B ,ambos aplicados en la misma etapa y frente al inoculado. Estos resultados coinciden con varios autores que encontraron respuestas positivas al agregado de Co y Mo 25 y 45 días después de emergencia alcanzando aumentos de 606 kg. ha⁻¹ (Mousegne *et al.*, 2006) y 560 kg. ha⁻¹ (Ferraris y Couretot, 2004), respectivamente. De la misma manera, Melgar y Lavandera (1999), evaluaron durante dos años consecutivos el tratamiento con Co-Mo® (Co 1%, Mo 6%) evidenciando un efecto positivo sobre el rendimiento con diferencias superiores a los 300 Kg. ha⁻¹. Por su parte, Fontanetto *et al.* (2006) en su trabajo de inoculación y fertilización con Co-Mo® aplicado a semilla encontraron aumento de la nodulación y el rendimiento en el cultivo de soja.

En el presente trabajo el aumento de rendimiento por la aplicación de Co y Mo en etapa vegetativa es de 292 kg. ha⁻¹ y 155 kg. ha⁻¹ comparativamente con el inoculado y el fertilizado con stimulate Mo + CaB, respectivamente (Cuadro VI.2 en pagina 34).

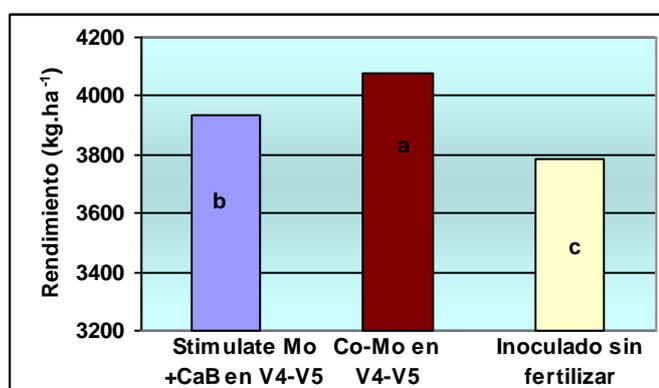


Figura VI.22: Rendimiento en grano (kg ha⁻¹) en el cultivo de soja evaluado a cosecha ante la aplicación de diferentes fertilizantes en etapa vegetativa (V4-V5). Letras distintas indican diferencias significativas con el test de Duncan ($p \leq 0,05$).

La fertilización con Ca, B y Mo, tanto en etapa reproductiva como en vegetativa (figura VI.23), incrementó el rendimiento pero no significativamente, en cambio, algunos autores encontraron resultados significativos en ensayos realizados en Pergamino durante 2005/06 (Ferraris *et al.*, 2007). Si bien estas experiencias muestran una respuesta superior a la observada en el presente ensayo, es importante destacar la tendencia general de los datos, ya que en ambos casos existen diferencias de rendimientos positivos al aplicar Ca, Mo y B, tanto en etapa vegetativa como reproductiva.

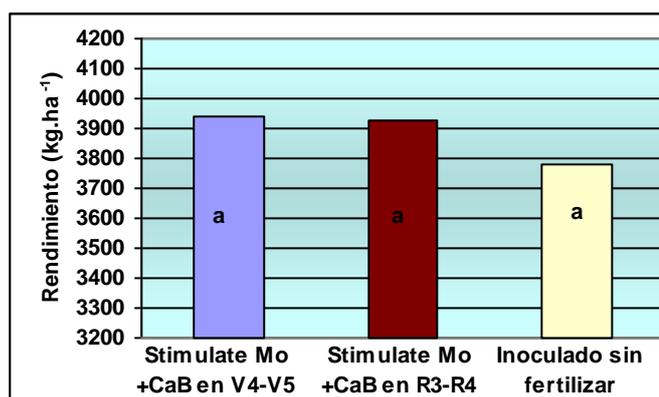


Figura VI.23: Rendimiento en grano (kg ha⁻¹) en el cultivo de soja evaluado a cosecha ante la aplicación foliar del mismo fertilizante en diferentes etapas fenológicas. **Letras distintas indican diferencias significativas con el test de Duncan (p ≤ 0,05).*

Al analizar tratamientos en R3-R4 con diferentes fertilizantes con respecto a uno inoculado (figura VI.24), se observa que no existe una diferencia estadística significativa en términos de rendimiento entre ellos, existiendo solo una leve tendencia al aumento en los kg.ha⁻¹ cuando se realiza la práctica de fertilización foliar en esta etapa; razón por la cual es una estrategia a considerar al momento de realizar el cultivo de soja.

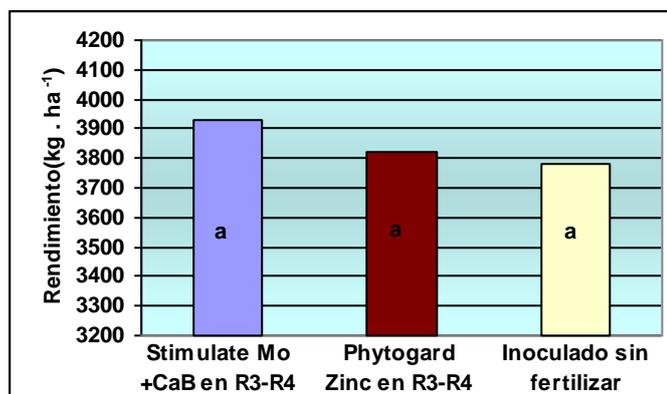


Figura VI.24: Rendimiento en grano (kg ha⁻¹) en el cultivo de soja evaluado a cosecha ante la aplicación de diferentes fertilizantes en etapa reproductiva (R3-R4). *Letras distintas indican diferencias significativas con el test de Duncan (p ≤ 0,05).*

En el cuadro VI.10 se muestra el rendimiento relativo y la respuesta en kilogramos de cada uno de los tratamientos. La fertilización con Co y Mo en etapa vegetativa fue el que obtuvo mayor diferencia estadística significativa frente al resto, con un 12.8 % de aumento, en comparación con el testigo y un 7.7 % frente al inoculado solamente, lo que traducido en kilogramos es de 461.7 y 292.1 Kg. respectivamente, en el caso del tratamiento compuesto por Ca, B y Mo obtuvo resultados similares tanto en etapa vegetativa como reproductiva, demostrando que ese aumento es debido al fertilizante y no al momento de su aplicación, ya

que existe un incremento promedio de 320 kg cuando la comparación es frente al testigo y un aumento de 150 kg frente al inoculado, tanto en etapas vegetativas como en reproductivas.

Cuadro VI.2: Incremento en porcentaje (%) y respuesta en kilogramos (kg ha⁻¹) de la comparación de todos los tratamientos fertilizados frente al testigo y al inoculado.

Tratamientos	Incremento (%)		Rta al tratamiento(kg)	
	Testigo vs Inoculado		Testigo vs Inoculado	
T.1.Stimulate Mo + CaB(V4-V5)	109,00	104,11	325	155,4
T.2.Co-Mo(V4-V5)	112,80	107,72	461,7	292,1
T.3.Stimulate Mo + CaB(R3-R4)	108,70	103,80	314,5	145
T.4.Phytogard Zinc (R3-R4)	105,70	101,00	207,4	37,8
T.5.Inoculado sin fertilizar	105,00	100,00	169,6	0
T.6.Testigo	100	95,50	0	-169,6

El tratamiento compuesto por P y Zn no obtuvo una respuesta significativa (cuadro X.8 en anexo II); si bien existe un aumento de rendimientos, éste es debido principalmente a la inoculación, ya que puede verse en el cuadro, que de los 207 kg de aumento, solamente 37 kg son atribuidos a la fertilización. Por último, si comparamos la respuesta del cultivo de soja cuando se realiza el inoculado de la semilla solamente, puede notarse, que genera un 5% de aumentos en el rendimiento frente al testigo, que traducidos en kilogramos, representan 170 kg.; Cabe destacar, que solamente el tratamiento 2 superó en kilogramos al aumento que se obtiene con la inoculación (T.5), 292 vs. 170 kg. respectivamente; esto confirma nuevamente que en cualquier planteo de alta productividad en el cultivo de soja, es indispensable tratar a la semilla con cepas específicas para la inoculación de las mismas.

VII. CONCLUSIÓN

Inocular las semillas de soja con cepas específicas de *Bradyrhizobium japonicum*, produce diferencias estadísticamente significativas en el número de nódulos en la raíz principal y en el total. Sumado a esto, la aplicación de fertilizantes foliares, tanto en la etapa vegetativa como en la reproductiva, genera una respuesta extra cuando se compara cada uno de los tratamientos inoculados y fertilizados con el inoculado.

La fertilización foliar en ninguno de los casos, genera un aumento significativo en la actividad nodular cuando se compara con el inoculado.

El número de granos por unidad de superficie no aumenta significativamente con la inoculación, sí lo hace cuando existe algún un complemento de fertilización foliar, siendo mayor la respuesta con el agregado de Co y Mo en etapas vegetativas. En cambio, el peso de los granos disminuye con la fertilización foliar.

Se observaron diferencias estadísticamente significativas en el rendimiento en las parcelas fertilizadas e inoculadas, siendo la aplicación de Co y Mo en etapa vegetativa el tratamiento que presentó el mayor rendimiento en términos relativos. Estos incrementos son explicados mejor por el número de granos por unidad de superficie que por el peso de los mismos.

Se evidencia la necesidad de continuar con estos trabajos para confirmar los datos obtenidos en esta campaña y poder determinar si la fecha de siembra, el grupo de madurez y los tratamientos realizados son comparables en distintas situaciones ambientales.

VIII. BIBLIOGRAFÍA CITADA

- ALVAREZ, R.; J. LEMCOFF, y A. MERZARI. 1995. Balance de nitrógeno en un suelo cultivado con soja. *XIII Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo*. p: 38-40.
- BAIGORRI, H., 1997. Elección de cultivares. *El cultivo de la soja en Argentina*. Ed: L. Giorda y H. Baigorri. Córdoba p: 107-122.
- BAIGORRI, H. 1999. Requerimientos nutricionales del cultivo de soja. *Jornadas de Actualización Técnica para Profesionales, "Fertilización de Soja"*. Bolsa de Comercio de Rosario, Argentina. p: 4-7.
- BAIGORRI, H. y D. CROATTO. 2000. Periodo crítico del cultivo de soja. *Manejo del cultivo de soja en Argentina*. INTA centro regional Córdoba. Estación Experimental Agropecuaria Marcos Juárez. Agro de Córdoba, 96 p.
- BAIGORRI, H.; A. PERTICARI; N. ARIAS; J. J. DE BATISTA; L. LETT; M. MONTECCHIA; J. C. PACHECO BASURCO; A. SIMONELLA; S. TORESANI; L. VENTIMIGLIA y R. VICENTINI. 2003. Inoculación y fijación biológica de nitrógeno en el cultivo de soja. En: Satorre, E. (Ed.). *El Libro de la Soja*. Buenos Aires: Servicios y Marketing Agropecuario. Cap. 7. p: 69-78.
- BARBER, S. 1984. *Soil nutrient bioavailability: A mechanistic approach*. John Willey & Sons, New York. 417 p.
- BERNARDO, I.; E. BONADEO; I. MORENO; M. BONNGIOVANI y R. MARZARI. 2002. *Apoyo didáctico de la Cátedra Sistema Suelo Planta. Universidad Nacional de Río Cuarto*. p: 164-172
- BUTTERY, B. R., S. J. PARK y D. J. HUME. 1991. Potencial for increasing nitrogen fixation in grain legumes. *Canadian Journal of Plant Science*, 72: 323-349.
- CAMPO, R. Y M. HUNGRÍA. 2002. Importancia dos micronutrientes na fixação biológica do N₂. *Informações Agronômicas*, 98: 6-9
- CANTERO, G. A.; BRICCHI, E. M.; BECERRA, V. H.; CISNEROS, J. M.; GÍL, H. A. 1986. Zonificación y descripción de las tierras del Departamento Río Cuarto. Publicación realizada por el Dpto. de Imprenta y Publicaciones U.N.R.C., Argentina. 80p.
- CIAMPITTI, I. A.; CIARL, E. A.; GIARDINA, E. B.; LAGRASSA, F. L. 2006. Fertilización foliar con Calcio: influencia en la fijación Biológica de nitrógeno, tasa de crecimiento y rendimiento del Cultivo de soja (*Glycine max* (L.) Merrill]. *Cátedra de Edafología de la FAUBA*.
- CIAMPITTI, I.A. 2007. Fertilización foliar en soja. En: www.agromail.net/agro/Fertilizacion/fertilizantesfoliaresensoja.html. Consultado: 10/01/08.

- DÍAZ- ZORITA M; GROSSO G; FERNANDEZ CANIGIA MV; DUARTE G. 1999. Efectos de la ubicación de un fertilizante nitrógeno-fosfatado sobre la nodulación y la producción de soja en siembra directa en la región de la pampa arenosa, Argentina. *Ciencia del suelo*, 17(2): 62-65.
- DÍAZ ZORITA, M. 2003. Nuevas estrategias en el manejo de la soja. Fertilización en soja en Argentina. *Simposio internacional sobre soja. XI Congreso Nacional de AAPRESID*. Tomo 2. p: 113-127.
- DIAZ ZORITA, M., E. CASTINO y E. FAY 2007. El fertilizante impulsa al cultivo de soja. *La Nación*, sección campo. p: 6-7.
- EMBRAPA. 1999. *Molibdênio e Cobalto na cultura da soja*. 19 p.
- FEHR, W.R. y C.E. CAVINESS. 1977. Stages of soybean development. *Special Report* n° 80, Iowa State University, Ames, Iowa, U.S.A. 12 p
- FERRARIS, G. y L. COURETOT. 2004. Evaluación de dos fertilizantes foliares con agregados orgánicos en Soja de Primera. *Soja. Resultados de Unidades Demostrativas*. Proyecto Regional Agrícola, CERBAN. p: 46-52.
- FERRARIS, G., L. COURETOT y J. PONSÁ. 2005. Evaluación de la utilización de molibdeno, cobalto, boro y otros nutrientes en soja de primera. *Soja. Resultados de Unidades demostrativas*. Proyecto Regional Agrícola, año 2005. CERBAN. Áreas de Desarrollo Rural EEA INTA Pergamino y General Villegas. p: 62-65.
- FERRARIS, G. y L. COURETOT. 2006. Evaluación de nuevos desarrollos en inoculación de Soja. *Proyecto Regional Agrícola, campaña 2005/06*. Área de Desarrollo Rural INTA EEA Pergamino.
- FERRARIS, G., L. COURETOT y J. PONSÁ. 2007. fertilización foliar complementaria en soja. *Un análisis de dos años de experiencias, campañas 2005/06 y 2006/07*. Área de Desarrollo Rural INTA EEA Pergamino.
- FERRARIS, G. y L. COURETOT. 2009. *Proyecto Regional Agrícola-CERBAN*. Área de Desarrollo Rural INTA EEA Pergamino. Campaña 2008/09
- FERREIRA, M.E. y M.C.P. da. CRUZ, 1991. (Ed.). *Micronutrientes na Agricultura*. Piracicaba: POTAFOS/CNPq, 734 p.
- FONTANETTO, H.; M. DIAZ ZORITA y H. VIVAS. 2004. Inoculación y fertilización con fósforo y azufre sobre la nodulación y los rendimientos de soja. Soja en siembra directa. *Revista Técnica AAPRESID*, octubre 2004. p: 87-92.
- FONTANETTO, H., O. KELTER, C. NEGRO, L. BEIOTTI y D. GIAILEVRA. 2006. Efecto de la fertilización con cobalto y molibdeno y de la inoculación sobre la nodulación y los rendimientos de la soja. Información Técnica de Cultivos de Verano. Campaña 2006. INTA, Estación Experimental Agropecuaria Rafaela. *Publicación Miscelánea*. 106: 80-84.

- GALARZA, C., V. GUDELJ, P. VALLONE y D.L. LERDA. 2004. Evaluación de fertilizantes foliares en soja- Área Suelos y Producción Vegetal. Universidad Católica de Córdoba, Ago. 2004. *Agromercado*. SOJA. 92: 27-29.
- GARCIA, F. 2000 Requerimientos nutricionales de los cultivos. *Informaciones agronómicas* N° 4, Archivo Agronómico 3. INPOFOS Cono Sur.
- GARCIA, F. 2001 Presentación. *Jornadas de Actualización Técnica para Profesionales, "Fertilidad 2001"*. INPOFOS Cono Sur.
- GARCIA, R. y T. BACH 2003. Efecto de la inoculación con *Pseudomonas* sobre el rendimiento de trigo. *Informe Técnico* N° 324. INTA, EEA Pergamino. 14 p.
- GARCIA R. y J. HANWAY. 1976 Foliar fertilization of soybeans during the see filling period. *Agronomy Journal*. 68: 653-57.
- GONZALEZ, N. 1994. *Dinámica de la fijación de nitrógeno en soja, en suelos con alta fertilidad nitrogenada*. Tesis de M. Sc. Programa de Post-grado en Producción Vegetal. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Mar del Plata.
- GONZALEZ, N. 1997 Nutrición nitrogenada. En: Giorda, L. y H. Baigorri (Eds.). *El Cultivo de la Soja en Argentina*. Cap. 9. p: 189-192.
- GONZALEZ, N. 2000 Fijación de nitrógeno en soja. Uso de inoculantes. *Jornadas de Actualización Profesional "Cosecha gruesa 2000"*. Mar del Plata, agosto 2000.
- GONZÁLEZ MONTANER J., Y M. DI NAPOLI. 1997. Respuesta a P, Ca, S, K y Zn del cultivo de maíz en el sur de la provincia de Santa Fe. *VI Congreso Nacional de Maíz*. AIANBA. Pergamino, Buenos Aires, Argentina. Actas.
- GUTIÉRREZ BOEM, F.H., J.D. SCHEINER, L. MARTÍN, Y R.S. LAVADO. 2002. Respuesta del cultivo de soja a la fertilización fosforada y nitrogenada. XVIII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Puerto Madryn, Abril 16-19.
- HARPER, J. 1999 Nitrogen fixation-Limitations and potencial. *World Soybean Research Conference VI*, Chicago, agosto 1999.
- IMSANDE, J.1998.Especial Inoculación. En: www.ecampo.com/agricultura/cultivos/soja Consultado: 25/07/09.
- INFOSTAT. 2004. *Infostat versión 2004. Manual del Usuario*. Grupo Infostat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba. Primera Edición. Ed. Brujas Argentina. 314 p.
- KANTOLIC, A., P. GIMÉNEZ y E. DE LA FUENTE. 2004. Ciclo ontogénico, dinámica del desarrollo y generación del rendimiento y la calidad de soja. En: Satorre, E. et al. *Producción de Granos. Bases funcionales para su manejo*. 2da edición. Ed: A. Pascale, Buenos Aires. p: 167-195.
- LINDSAY, W. 1991. Inorganic equilibria affecting micronutrients in soils. En: Mortvedt, J., F. Cox, L.Shuman and R. Welch. (Eds.) *Micronutrients in agriculture*. 2ed. Madison, SSSA. p: 549-592.

- LOPES, A.S. y C.A. ABREU. 2000. Micronutrientes na agricultura brasileira: evolução histórica e futura. En: NOVAIS, R.F., V. ALVAREZ y C.E.G.R. SCHAEFER. (Ed.). *Tópicos em Ciência do Solo*, 1: 265-298.
- LORENZATTI, S. y A. BIANCHINI 2004 Modelos de producción de soja en el área central de Córdoba y Santa Fe. **En:** Díaz Zorita, M. y G. Duarte (Eds.). *Manual práctico para la producción de soja*. Editorial Hemisferio Sur, Buenos Aires. Cap. 8. p: 157-172.
- MALAVOLTA, E. 1976. *Manual de química agrícola*. São Paulo: Agronômica Ceres. p: 528-534.
- MARSCHNER, H.E. 1995. *Mineral nutrition of higher plants*. Second edition. Academic Press, London/San Diego/New York/Boston/Sydney/Tokyo, 889 p.
- MARTINEZ, F. y G. CORDONE 2000 Avances en el manejo de azufre: novedades en respuesta y diagnóstico en trigo, soja y maíz. *Jornadas de Actualización técnica para Profesionales "Fertilidad 2000"*. INPOFOS Cono Sur. p: 28-30.
- MELGAR R., Y J. LAVANDERA. 1999. Resultados de los ensayos de fertilización en soja. Campaña 1998/99. *Jornada de Actualización Técnica para Profesionales "Fertilización de Soja"*. INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires. 39 p.
- MELGAR R., J. LAVANDERA, M. TORRES DUGGAN y L. VENTIMIGLIA. 2001. Respuesta a la fertilización con boro y zinc en sistemas intensivos de producción de maíz. *Revista Argentina de la Ciencia del Suelo*. 19(2): 109-114.
- MAGyP.2009. Producción agrícola-Soja-Total país y por provincias. En: www.minagri.gob.ar. Consultado: 15-01-10
- MOUSEGNE, F. 2004. Aplicación de fertilizantes de base y foliares. Campaña: 2003-2004. *Soja. Informe del Proyecto Regional Agrícola*. 6 p.
- MOUSEGNE, F., A. PAGANINI y S. BONDOLFI. 2006. Utilización de fertilizantes foliares. Campaña 2004-2005. En: [www.planetasoja.com/fertilidad y fertilización/fertilizantes foliares](http://www.planetasoja.com/fertilidad_y_fertilizacion/fertilizantes_foliares). Consultado: 16-01-07.
- MULIN, E. y K. ALVAREZ. 2004. *El gran libro de la siembra directa*. Editorial Facultad de Agronomía. UBA. pp 142-147
- OLMEDO, C. 2002. *Selección de bacterias con actividad promotora de crecimiento en soja*. Tesis Doctoral. Facultad de Agronomía y Veterinaria, Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina.
- O'HARA G.W., N. BOONKERD y M.J. DILWORTH. 1988. Mineral Constraints to nitrogen fixation. *Plant and Soil*. 108: 93-110.
- PEDROL H.; F. SALVAGIOTTI, J. CASTELLARIN; J. MENDEZ; J. CAPURRO; J. C. FELIZIA, O. GENTILLI; A. GARGICEVICH; G. PRIETO y D. DAMEN.2001 Respuesta del cultivo de maíz a la fertilización con nitrógeno y azufre en diferentes

- ambientes del sur de Santa Fe. *Jornadas de Actualización Técnica para Profesionales, "Fertilidad 2001"*. INPOFOS Cono Sur. p: 25-26.
- PERTICARI, A. 1997 Inoculación. En: Giorda, L. y H. Baigorri (Eds.). *El cultivo de la soja en Argentina*. p: 193-197.
- PURCELL L. 1999. Physiology, nutrition and fertilization of soybeans in the United States. *Anales Simposio "Monitoramiento nutricional para la recomendación de fertilización de cultivos"*. POTAFOS. Piracicaba, SP, Brasil.
- RACCA, R. 2002. Fijación biológica del nitrógeno. *1er Simposio de Fertilidad de Suelos y Fertilización en Siembra Directa. X Congreso Nacional de AAPRESID*. Actas p: 197-208.
- RAMSEUR, E.L.; S.U. WALLACE y V.L. QUINSBERRY. 1984. Distribution pattern of yield components in "Braxton" soybeans. *Agronomy Journal*. 76: 581-584.
- SALVADOR, C., M. SEARA, R. CASAS, R. MICHELENA, E. RIVERO Y N. MORTOLA. 2004. Evaluación de las propiedades de dos fertilizantes foliares (Comofix y Complefix) y un coadyuvante (LI Plus) en cultivos de soja (*Glycine max*). Informe final. 15p.
- SAGPyA. 2009. Estimaciones Agrícolas Mensuales. En: <http://www.sagpya.mecon.gov.ar/>. Consultado: 02/02/09.
- SEILER, R. A.;V. H. ROTONDO; R. A. FABRICIUS; M. G. VINOCUR; C. BONACCI. 1995. Agroclimatología de Río Cuarto- 1974/93. Volumen I. Publicación realizada por el Dpto. de Imprenta y Publicaciones U.N.R.C., Argentina. 66 p.
- SERVICIO DE AGROMETEOROLOGÍA.2008. Cátedra de Agrometeorología. Banco de datos. Serie datos climáticos Río Cuarto:1974-2006.FAV – UNRC, Río Cuarto, Argentina.
- SOLDINI, D. 2008. Algunas bases para el manejo del cultivo de soja. *Informe de Actualización Técnica N° 10*. EEA INTA Marcos Juárez. p. 13-17
- SYLVESTRE BEGNIS, A. y A. BIANCHINI 2004. Respuestas productivas a la inoculación y su interacción con la fertilidad química en el cultivo de soja en siembra directa. *Revista Técnica AAPRESID*, octubre 2004. p: 79-81
- SEILER, R. A.;V. H. ROTONDO; R. A. FABRICIUS; M. G. VINOCUR; C. BONACCI. 1995. Agroclimatología de Río Cuarto- 1974/93. Volumen I. Publicación realizada por el Dpto. de Imprenta y Publicaciones U.N.R.C., Argentina. 66 p..
- TISDALE, S., W. NELSON, J. BEATON Y J. HAVLIN. 1992. *Soil Fertility and Fertilizers*. Fifth edition. Macmillan, New York. 634 p.
- TONIUTTI, M.; E. ASTEGIANO y L. FORNASERO 2004. Respuesta al cultivo de soja a la inoculación con Bradyrhizobium en lotes de alta productividad en la región central de Santa Fe. *Revista Técnica AAPRESID*, octubre 2004. p: 82-86.

- TORRES DUGGAN, M. 2006. Fertilización foliar en soja 2002. En: www.fertilizando.com/articulos/FertilizacionFoliarenSoja-2002.asp. Consultado: 07/12/06.
- VASILAS B. R. NELSON, J. FUHRMANN y T. EVANS. 1995. Relationship of nitrogen utilization patterns with soybean yield and seed-fill period. *Crop Science*. 35: 809-813.
- VENTIMIGLIA, L., H. CARTA, S. RILLO y P. RICHMOND. 2004. Efecto de la carga bacteriana sobre la nodulación y el rendimiento de soja. *Revista de Tecnología Agropecuaria*, EEA INTA Pergamino, VIII (23): 16-17.
- YAMADA, T. 1999. Adubação balanceada da soja. *Jornada de Actualización Técnica para Profesionales "Fertilización de Soja"*. INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires. 39p.
- ZHANG, F. y D.L. SMITH. 2002. Interorganismos de señalización en ambientes subóptimos: La simbiosis rizobios de leguminosas. *Advances in Agronomy*. 76: 125-157

IX. ANEXO I

Cuadro IX.1: Superficie implantada y cosechada, rendimiento y producción anual en la Argentina.

Período	Sup. Implantada (has)	Sup Cosechada (has)	Rendimiento (kg/ha)	Producción (tn)
2006 /07	16.141.337	15.981.264	2.971	47.482.786
2007 /08	16.603.525	16.387.438	2.821	46.238.087
2008 /09	18.032.805	16.767.548	1.848	30.993.379

Cuadro IX.2: Superficie implantada y cosechada, rendimiento y producción anual en la provincia de Córdoba.

Período	Sup. Implantada (has)	Sup Cosechada (has)	Rendimiento (kg/ha)	Producción (tn)
2006 /07	4.477.882	4.447.482	3.187	14.173.030
2007 /08	4.699.230	4.660.530	2.736	12.750.000
2008 /09	5.196.748	5.128.458	2.178	11.172.286

Cuadro IX.3: Consumo y exportación de nutrientes a través de la cosecha por el cultivo de soja.

Nutriente	Consumo (kg tn ⁻¹)	IC
Nitrógeno	85	0.75
Fósforo	8	0.84
Azufre	7	0.67
Potasio	33	0.59
Magnesio	9	0.30
Calcio	16	0.19
Molibdeno	0.005	0.85
Zinc	0.060	0.70
Cobre	0.025	0.53
Cloro	0.237	0.47
Manganeso	0.150	0.33
Boro	0.025	0.31
Hierro	0.300	0.25

Fuente: García, 2000.

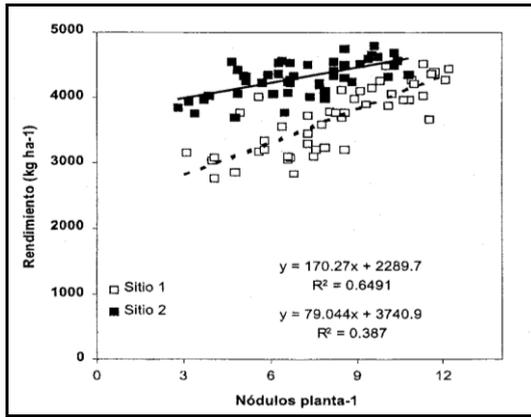


Figura IX.1: Relación entre el número de nódulos/planta en V6 y el rendimiento en grano Fontanetto *et al.* (2004).

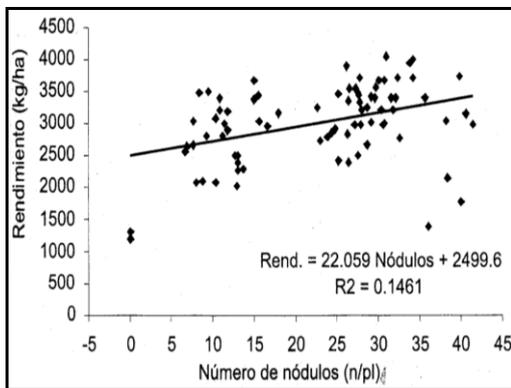


Figura IX.2: Relación entre el rendimiento y el número de nódulos en raíces primarias y secundarias (Sylvestre Begnis y Bianchini, 2004).

X. ANEXO II

Cuadro X.1: Parámetros de la fijación biológica del nitrógeno (FBN) del tratamiento testigo e inoculado.

Tratamiento	Nódulos					
	Raíz principal (N°)	Raíz secundaria (N°)	Total (N°)	Tamaño (mm)	nódulos activos (%)	Nódulos activos (N°)
Testigo	17,65 b	15,95 a	33,6 b	3,1 b	61,7 b	20,936 b
Inoculado sin fertilizar	24,9 a	14,3 a	39,2 a	4,6 a	72,1 a	28,319 a
CV	22,04	22,93	18,84	34,9	9,18	23,35
p	0,0002	0,2377	0,0392	0,0046	0,0001	0,0016

Cuadro X.2: Comparación de los parámetros de la fijación biológica del nitrógeno (FBN) en tratamientos con diferentes fertilizantes en etapa vegetativa (V4-V5).

Tratamiento	Nódulos					
	Raíz principal (N°)	Raíz secundaria (N°)	Total (N°)	Tamaño (mm)	nódulos activos (%)	Nódulos activos (N°)
Stimulate Mo + CaB en V4-V5	29,2 a	20,2 a	49,4 a	4,5 a	75,2 a	37,184 a
Co-Mo en V4-V5	31,75 a	18,875 a	50,625 a	4,75 a	80,625 a	41,2 a
Inoculado sin fertilizar	24,9 b	14,3 b	39,2 b	4,6 a	72,1 a	28,319 b
CV	14,54	24,39	13,07	18,62	11,88	20,46
p	0,0056	0,0142	0,0005	0,8288	0,1541	0,0024

Cuadro X.3: Comparación de los parámetros de la fijación biológica del nitrógeno (FBN) en tratamientos con un mismo fertilizante en diferentes etapas vegetativas.

Tratamiento	Nódulos					
	Raíz principal (N°)	Raíz secundaria (N°)	Total (N°)	Tamaño (mm)	nódulos activos (%)	Nódulos activos (N°)
Stimulate Mo + CaB en V4-V5	29,2 a	20,2 a	49,4 a	4,5 a	75,2 a	37,184 a
Stimulate Mo + CaB en R3-R4	30 a	20,2 a	50,2 a	4,5 a	75,2 a	37,641 a
Inoculado sin fertilizar	24,9 b	14,3 b	39,2 b	4,6 a	72,1 a	28,319 b
CV	14,70	21,97	12,97	23,79	13,13	18,79
p	0,0217	0,0031	0,0004	0,9718	0,7165	0,0046

Cuadro X.4: Comparación de los parámetros de la fijación biológica del nitrógeno (FBN) en tratamientos con diferentes fertilizantes en etapa reproductiva (R3-R4).

Tratamiento	Nódulos					
	Raíz principal	Raíz secundaria	Total	Tamaño	nódulos activos	Nódulos activos
	(N°)	(N°)	(N°)	(mm)	(%)	(N°)
Stimulate Mo + CaB en R3-R4	30 a	20,2 a	50,2 a	4,5 a	75,2 a	37,641 a
Phytogard Zinc en R3-R4	30,9 a	17,2 a	48,1 a	4,6 a	78,6 a	37,946 a
Inoculado sin fertilizar	24,9 b	14,3 b	39,2 b	4,6 a	72,1 a	28,319 b
CV	12,40	23,35	12,89	18,51	11,13	18,53
p	0,0015	0,0109	0,0006	0,9545	0,2402	0,0030

Cuadro X.5: Componentes del rendimiento en el cultivo de soja evaluado a cosecha en la parcela testigo e inoculada.

Tratamiento	Frutos planta ⁻¹	Semilla Fruto ⁻¹	Semillas planta ⁻¹	Semillas m ⁻²	Peso de 1000 semillas	Rendimiento planta ⁻¹	Rendimiento
	(N°)				(gr)		(kg.ha ⁻¹)
Testigo	35,13 a	2,52 a	87,85 a	2392,6 a	151 b	3612,54 a	3612,54 b
Inoculado sin fertilizar	35,7 a	2,39 a	85,2 a	2385,6 a	158,54 a	3782,13 a	3782,13 a
CV	14,47	9,00	10,74	6,95	1,39	11,55	6,76
p	0,7512	0,0998	0,4279	0,9050	<0,0001	0,6802	0,0574

Cuadro X.6: Componentes del rendimiento en el cultivo de soja evaluado a cosecha ante la aplicación de diferentes fertilizantes en etapa vegetativa (V4-V5).

Tratamiento	Frutos planta ⁻¹	Semilla Fruto ⁻¹	Semillas planta ⁻¹	Semillas m ⁻²	Peso de 1000 semillas	Rendimiento planta ⁻¹	Rendimiento
	(N°)				(gr)		(kg.ha ⁻¹)
Stimulate Mo + CaB en V4-V5	40,2 b	2,27 b	90,75 b	2541 b	154,96 b	14,06 b	3937,53 b
Co-Mo en V4-V5	44,6 a	2,26 b	100,03 a	2663,2 a	153,06 c	15,3 a	4079,21 a
Inoculado sin fertilizar	35,7 c	2,39 a	85,2 c	2385,6 c	158,54 a	13,51 c	3782,13 c
CV	9,71	7,41	4,81	4,18	1,54	4,34	3,74
p	<0,0001	0,1009	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001

Cuadro X.7: Componentes del rendimiento en el cultivo de soja evaluado a cosecha ante la aplicación foliar del mismo fertilizante en diferentes etapas fenológicas.

	Frutos planta ⁻¹	Semilla Fruto ⁻¹	Semillas planta ⁻¹	Semillas m ⁻²	Peso de 1000 semillas	Rendimiento planta ⁻¹	Rendimiento
Tratamiento	(N°)				(gr)		(kg.ha ⁻¹)
Stimulate Mo + CaB en V4-V5	40,2 a	2,27 b	90,75 a	2541 a	154,96 a	14,06 ab	3937,53 a
Stimulate Mo + CaB en R3-R4	38 ab	2,47 a	92,56 a	2547,5 a	154,6 a	14,31 a	3926,9 a
Inoculado sin fertilizar	35,7 b	2,39 ab	85,2 b	2385,6 b	158,54 a	13,51 b	3782,13 a
CV	11,89	10,78	6,07	7,31	3,96	7,26	5,95
p	0,0367	0,0272	0,0020	0,0491	0,2036	0,0990	0,1841

Cuadro X.8: Componentes del rendimiento en el cultivo de soja evaluado a cosecha ante la aplicación de diferentes fertilizantes en etapa reproductiva (R3-R4).

	Frutos planta ⁻¹	Semilla Fruto ⁻¹	Semillas planta ⁻¹	Semillas m ⁻²	Peso de 1000 semillas	Rendimiento planta ⁻¹	Rendimiento
Tratamiento	(N°)				(gr)		(kg.ha ⁻¹)
Stimulate Mo + CaB en R3-R4	38 a	2,47 a	92,56 a	2547,5 a	154,6 a	14,31 a	39,269 a
Phytogard Zinc en R3-R4	38 a	2,3 a	87,1 b	2438,8 ab	156,6 a	13,64 a	38,198 a
Inoculado sin fertilizar	35,7 a	2,39 a	85,2 b	2385,6 b	158,5 a	13,51 a	37,821 a
CV	12,52	11,09	6,47	7,88	4,32	7,8	6,32
p	0,3706	0,2210	0,0011	0,0509	0,2470	0,0653	0,1897



Foto X.1: Estado del cultivo al momento de evaluar la nodulación



Foto X.2: Escala visual de tamaño de nódulos



Foto X.3 y X.4: Raíces de plantas de soja fertilizadas con Stimulate Mo + CaB (izquierda) y Co-Mo (derecha) en etapa vegetativa V4-V5



Foto X.5: Comparación de nodulación entre los tratamientos 1 (Stimulate Mo + CaB), el 2 (Co-Mo) ambos fertilizados en V4-V5 y el testigo



Foto X.6: Nodulación entre el testigo y el tratamiento fertilizado con Stimulate Mo + CaB en V4-V5



Foto X.7: Nodulación entre el testigo y el tratamiento fertilizado con Co-Mo en V4-V5



Foto X.8: Localización y tamaño de nódulos en tratamiento fertilizado con Cobalto y Molibdeno en V4-V5