

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA



Trabajo Final presentado para optar al Grado de Ingeniero Agrónomo.

TÍTULO:

Respuesta a la inoculación y a la fertilización en el cultivo de Soja [*Glycine max* (L.) Merrill] en el Sur de Córdoba.

Alumno: Carlos Alberto Suarez.

D.N.I.: 32.149.530.

Directora: Alicia Thuar.

Río Cuarto, Córdoba.

Fecha: Abril, 2015.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE RÍO CUARTO
FACULTAD DE AGRONOMÍA Y VETERINARIA



CERTIFICADO DE APROBACIÓN

Título del Trabajo Final: Respuesta a la inoculación y a la fertilización en el cultivo de Soja en el Sur de Córdoba.

Autor: Carlos Alberto Suarez.

Director: Dra. Alicia Thuar.

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

Ing. Agr. Msc. Guillermo Cerioni

Dr. Javier Andrés

Dra. Alicia Thuar

Fecha de Presentación: ____/____/____

Aprobado por Secretaría Académica: ____/____/____

Secretario Académico

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por brindarme la oportunidad de poder estudiar y que, con su esfuerzo y apoyo, también lograron que este día llegue.

A Alicia por dejarme realizar mi trabajo final con ella.

A la Universidad Nacional de Río Cuarto, que a través de la educación pública y gratuita permite que tantos estudiantes como yo lleguemos un día a ser profesionales.

A los amigos y compañeros realizados en tantos años, los que con su apoyo estuvieron siempre para no dejar que baje los brazos, sin dudas es la mejor cosecha lograda del paso por la Universidad.

ÍNDICE

RESUMEN	VI
SUMMARY	VII
INTRODUCCIÓN	
Antecedentes	1
Hipótesis	10
Objetivo general	10
Objetivos específicos	10
MATERIALES Y MÉTODOS	
Sitio de estudio	11
Materiales utilizados	12
Especie y cultivar empleado	13
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
Determinaciones en V5:	
Peso seco de biomasa vegetal aérea	14
Determinaciones en R5:	
Número de nódulos en raíz principal	14
Número de nódulos en raíces secundarias	15
Peso nódulos raíz principal	16
Peso nódulos raíces secundarias	16
Determinaciones en R8:	
Rendimiento	17
Peso de mil semillas	18
CONCLUSION	19
BIBLIOGRAFÍA	20

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Peso seco de biomasa vegetal aérea	14
Figura 2: Número de nódulos en raíz principal	15
Figura 3: Número de nódulos en raíces secundarias	15
Figura 4: Peso nódulos raíz principal	16
Figura 5: Peso nódulos raíces secundarias	17
Figura 6: Rendimiento	18

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Precipitaciones durante el ciclo del cultivo	11
Tabla 2: Análisis físico-químico del suelo	12
Tabla 3: Peso de mil semillas.	18

ANEXO

Anexo 1: Peso seco de biomasa vegetal aérea	25
Anexo 2: Número de nódulos en raíz principal	25
Anexo 3: Número de nódulos en raíces secundarias	26
Anexo 4: Peso nódulos raíz principal	26
Anexo 5: Peso nódulos raíces secundarias	27
Anexo 6: Rendimiento	27

RESUMEN

El cultivo de soja es uno de los principales del mundo, luego del maíz, arroz y trigo. Argentina es el tercer productor mundial (luego de Estados Unidos y Brasil). La producción de soja en nuestro país se ha ido incrementando constantemente debido a la mejora en los precios, la expansión de la frontera agrícola, el paso de la ganadería a la agricultura y los avances tecnológicos. La soja tiene altos requerimientos de nitrógeno (N) cubiertos tanto desde la solución del suelo como por la Fijación Biológica del Nitrógeno atmosférico (FBN) en simbiosis con *Bradyrhizobium japonicum*. La FBN está relacionada con el crecimiento del cultivo, cualquier factor que afecte el crecimiento del cultivo va a afectar la FBN y viceversa. Nuestros suelos carecen en general de cepas de *Bradyrhizobium japonicum* y por ello fue necesaria la incorporación de estas bacterias mediante la inoculación. La funcionalidad y efectividad de la FBN requiere del aporte de recursos energéticos y nutrientes específicos. El consumo de fertilizantes en Argentina aumentó considerablemente entre los años 1991 y 2005. El objetivo general fue evaluar la respuesta a la inoculación y a la fertilización en Soja en el sur de Córdoba. Se empleó el siguiente tratamiento de semillas: A. Inoculante Signum; B. Micro S; C. Superfosfato simple; D. CoMo; E. CoMo + Micro S; T. Testigo absoluto. En V5 se determinó el peso seco de biomasa vegetal aérea en g/planta observando diferencias estadísticas en favor del tratamiento E. En R5 se evaluó el número de nódulos en raíz principal y raíces secundarias, donde no se observan diferencias estadísticas entre tratamientos, pero sí un buen comportamiento del tratamiento T; y el peso seco de cada muestra en g/m^2 , donde tampoco se observaron diferencias estadísticas entre tratamientos. En R8 se midió rendimiento, donde el de mayor valor fue el tratamiento B.

SUMMARY

Soybean is one of the most important in the world, after maize, rice and wheat. Argentina is the third largest producer (after the United States and Brazil). Soybean production in our country has been steadily increasing due to the improvement in prices, the expansion of the agricultural frontier, the passage of livestock and agriculture s technological advances. The soybean has high requirements of nitrogen (N) covered both from the soil solution as the Biological Fixation of atmospheric Nitrogen (FBN) in symbiosis with *Bradyrhizobium japonicum*. The FBN is related to crop growth and any factor that affects crop growth will affect FBN and vice versa. Our soils generally lack strains of *Bradyrhizobium japonicum* and therefore, the incorporation of these bacteria by inoculation was required. The functionality and effectiveness of FBN requires of the contribution of energetic resources and specific nutrients. The fertilizer consumption in Argentina increased significantly between 1991 and 2005. The general aim was to evaluate the response to the inoculation and the fertilization in soybean in southern Córdoba. The following treatment of seeds was used: A. Inoculant Signum; B. Micro S; C. Simple superphosphate; D. CoMo; E. CoMo + Micro S; T. Absolute Witness. In V5, the dry weight of aerial plants/vegetables biomass was determined in gr/plant observing statistical differences in favour of treatment E. In R5, the number of nodules in the main root and secondary roots was evaluated and no statistical differences were observed between the treatments; however, a good result of treatment T could be observed. Neither the dry weight of each sample in gr/m² showed statistical differences between treatments. In R8, performance was measured and the highest value was observed in treatment B.

INTRODUCCIÓN.

El cultivo de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] se ha difundido prácticamente en todo el planeta. Esto lo ubica entre los principales granos producidos a nivel mundial. La producción global supera los 260 millones de toneladas posicionándose en el cuarto lugar, luego del maíz, arroz y trigo. A partir de los años '70, la soja revolucionó la cadena agroalimentaria global al transformarse en la principal fuente de proteína vegetal para la alimentación en los sistemas intensivos de producción animal, así como proveedora de aceites para consumo humano, en estos últimos años es también uno los cultivos claves para la obtención de biocombustibles. Considerando que de los 237 países del mundo 89 son los productores de soja, el aporte de nuestro país resulta significativo ya que participa con el 20% del total mundial (Domingo Yagües *et al.*, 2012).

Argentina es el tercer productor mundial de esta oleaginosa (luego de Estados Unidos y Brasil), con una producción de 53 millones de toneladas. En cuanto al comercio de aceite de soja, el país es el primer exportador mundial, representando alrededor de un 56% de las exportaciones totales. Para la producción del mismo nuestro país se ubica en el segundo lugar, representando cerca del 20% del total del aceite producido en todo el mundo. Si bien se exporta productos procesados oleaginosos a más de 100 países en los cinco continentes, los mercados principales de aceite de soja son China e India (países de alta demanda debido al intenso crecimiento de sus ingresos a partir de este milenio). Nuestro país también es el primer exportador mundial de harinas de soja, con el 50,6% de las exportaciones totales, aportando 29 millones de toneladas. Como productor, nos encontramos en el 3er lugar, representando el 18,5% de la producción mundial de harina de soja. También se procesa y exporta harinas proteicas, aceite crudo y refinado, y a partir de 2007 biodiesel (Calvo *et al.*, 2008).

La actividad sojera, por todo lo anteriormente expuesto, es un significativo instrumento de desarrollo regional. La radicación de las plantas y puertos en las provincias, especialmente la provincia de Santa Fe, la extensa red de acopios en toda la zona centro-norte de nuestro país, las demandas locales de insumos y derivados, la transforman en una actividad central para los pueblos y las provincias. El pago de tasas municipales e impuestos provinciales, además del pago de impuestos nacionales, son fuentes significativas de ingreso para municipios y provincias. Asimismo, la demanda constante de mano de obra calificada para campos, plantas y puertos implica la radicación de una significativa masa de familias rurales que dan vida a los pueblos del interior (Calvo *et al.*, 2008).

En Argentina los primeros registros de siembra de soja datan de 1962, sin instalarse como actividad productiva. Fue durante los '70 cuando la producción nacional se incrementó notoriamente, superando al final de esa década 2 millones de hectáreas sembradas, y una producción de 3,5 millones de toneladas. Al comienzo del año 2000, la siembra ya casi alcanzaba los 9 millones de hectáreas, con una producción de 20,2 millones de toneladas. Finalmente, durante las últimas campañas de la primera

década del siglo actual, la siembra nacional de soja mostraba una ocupación de 18,3 millones de hectáreas con una producción de 52,6 millones de toneladas (Domingo Yagües *et al.*, 2012).

En relación al área sembrada y su distribución en el país, la provincia de Buenos Aires es la que se ubica en el primer lugar con el 31% de participación, en segundo lugar Córdoba con el 27% y luego Santa Fe con el 16%. La superficie implantada en estas tres provincias concentra prácticamente el 75% del total del país. El cuarto lugar lo ocupa Entre Ríos con el 8% y el resto está compuesto por Santiago del Estero, Chaco, Salta, La Pampa, Tucumán y con menor participación San Luis, Catamarca, Corrientes, Jujuy, Formosa y Misiones (Domingo Yagües *et al.*, 2012).

La producción de soja en el país se incrementó en un 76,6% para el período comprendido entre las campañas 2000/2001 y 2006/2007. Asimismo, los rendimientos promedios se incrementaron un 15% en el mismo período. La superficie sembrada con siembra directa pasó de representar un 62,4% para la campaña 2000/2001 a representar un 81% para la campaña 2005/2006. Si bien la producción es característica de regiones como la pampeana, el incremento de la producción en zonas como el NOA y el NEA es significativo. Tal es el caso de Chaco (NEA) que representa un 94% de la producción de la región y se vio incrementada para el período correspondiente entre 2000/2001 y 2006/2007 en 57%. Para el caso de Santiago del Estero y Salta (NOA) el incremento de la producción para el mismo período fue de 288% y 103% respectivamente para el mismo período (www.agrositio.com).

En la provincia de Córdoba se observa un importante incremento en la siembra en forma paralela a los niveles nacionales, siendo incluso mayor el crecimiento provincial presentando un aumento en los últimos 20 años del 280% en la superficie en relación al incremento nacional que es del 264% para el mismo período. También se muestra un comportamiento similar de tendencia creciente en la producción provincial aunque con una alta variabilidad en los últimos ciclos (2008/09 y 2011/12) por la situación climática estival de esas campañas. En forma paralela especialmente durante la última década se produjo un importante incremento de la producción agrícola en las tierras de uso agropecuario de la provincia y un aumento marcado de la participación de soja en el total (50% de la producción total) (Ghida Daza, 2012).

La soja es un cultivo con altos requerimientos de nitrógeno (N) (70-80 kg N ton⁻¹ de grano) cubiertos tanto desde la solución del suelo como por la Fijación Biológica del Nitrógeno atmosférico (FBN) en simbiosis con *Bradyrhizobium japonicum*. El aporte de nitrógeno (N) por esta vía oscila un 30 – 94%, dependiendo de la calidad de la inoculación y el manejo posterior del cultivo (Hungria y Campo, 2005; Peticari, 2007; Salvagiotti *et al.*, 2008).

A modo de ejemplo, Unkovich y Pate (2000) observaron aportes de N por FBN de 175 kg N ha⁻¹ para cultivos bajo riego y de 100 kg N ha⁻¹ en seco, lo que representa el 50% del N asimilado

por la soja. En la región pampeana, González (1996) determinó aportes de N por FBN del orden del 30-70% de las necesidades totales de N del cultivo, el cual va depender de la disponibilidad de N del suelo y de las características climáticas de la estación de crecimiento (Unkovich y Pate, 2000; González, 1996).

Es válido mencionar que la FBN esta estrechamente relacionada con el crecimiento del cultivo, debido a que la fotosíntesis provee de los asimilados para sostener la fijación, y por lo tanto, cualquier factor que afecte el crecimiento del cultivo va afectar la FBN y viceversa. En base a lo mencionado, surge que la inoculación de la semilla de soja es una práctica indispensable para lograr una adecuada provisión de N para el cultivo. Si bien en lotes con historia de soja el efecto de la inoculación es menor (500 kg ha⁻¹ en el NEA y de 150 kg h⁻¹ en el Sur de Santa Fe), se recomienda realizar la inoculación todos los años para contribuir a una mayor FBN y así reducir la demanda de N del suelo (Garcia y Ciampitti, 2009).

El término inoculante hace referencia a productos biológicos desarrollados para agregar artificialmente sobre la semilla rizobios seleccionados por su especificidad, capacidad de formar nódulos (infectividad) y capacidad de fijar N₂ (efectividad) (Peticari *et al.*, 2003).

Cuando hablamos de inoculante, referimos a productos formulados con microorganismos viables, benéficos, seleccionados para favorecer la nutrición y /o promover el desarrollo de las plantas. Entre los productores agropecuarios de nuestro país la práctica de la inoculación se fue generalizando rápidamente y el uso masivo de los inoculantes creció asociado al desarrollo del cultivo de la soja. Si hacemos una breve historia de la inoculación en Argentina nos remontamos al año 1939 cuando el ex Instituto Experimental de Investigación y Fomento Agrícola-Ganadero de la provincia de Santa Fe, comenzó a difundir cultivos bacterianos seleccionados. En años posteriores, siguió el ejemplo el Ministerio de Asuntos Agrarios de la provincia de Buenos Aires y posteriormente la ex Dirección General de Investigaciones Agrícolas. En 1958 esta función pasa al INTA. En la década del 70, la mayor parte de los inoculantes eran importados junto con la semilla de soja desde los EEUU y a partir de 1980 el IMYZA-INTA Castelar lleva adelante el programa nacional de selección y evaluación de cepas de rizobios. A principio de los '90 se introducen los inoculantes con soporte líquido, como oleosos no estériles que incluyen fungicida y los acuosos estériles, alcanzando actualmente estos últimos el 90% de los productos presentes en el mercado. Con respecto a la calidad, entre 1983 y 1998, el 80% de los inoculantes que se evaluaban, no alcanzaban al vencimiento el número de bacterias indicado en la descripción del producto. En la actualidad, la calidad de los productos se encuentra dentro de rangos internacionales, con alto número de rizobios viables por unidad de producto y con buena supervivencia en el tiempo (Toresani *et al.*, 2012).

La elección del método de inoculación apropiado, es básico para incorporar el número adecuado de bacterias por simiente y para disminuir la mortandad de las mismas. Es fundamental leer

y respetar las condiciones de uso descritas en el producto inoculante adquirido. Se debe lograr que todas las semillas queden cubiertas con el inoculante, a fin de que cada una de ellas disponga del número de rizobios adecuado. La inoculación puede realizarse empleando máquinas inoculadoras desarrolladas para hacer este proceso, o en su defecto mediante implementos adaptados que realicen el procedimiento permitiendo un correcto mezclado sin provocar daño mecánico a las semillas. Es imprescindible ajustar el proceso de manera tal que todas las semillas reciban la misma cantidad de inoculante. El proceso de inoculación preferentemente debe realizarse a la sombra y a temperaturas moderadas, en lo posible inferiores a 25°C. Como una importante cantidad de bacterias muere al momento de la inoculación es conveniente efectuar la siembra lo más rápido posible, de preferencia antes de las 12 horas de aplicado el producto. Si el proceso incluye el curado con funguicidas o insecticidas los tiempos se acortan y se recomienda no superar las 4 horas. La inoculación en la sembradora no es aconsejable bajo ningún concepto, ya que nunca se logra una distribución apropiada del inoculante, quedando muchas semillas sin inocular. El buen manejo de la tecnología de inoculación permite que el desarrollo de los inoculantes actuales lleguen con sus virtudes intactas y que cumplan con su objetivo trasladando al sistema productivo los beneficios de la FBN (Thuar *et al.*, 2007).

Las bacterias fijadoras de N atmosférico (N₂) convierten este nutriente en amonio mediante la acción de la enzima nitrogenasa. La soja fija el N₂ en simbiosis mutualista con los rizobios, siendo la expresión de esta asociación, la presencia de órganos en las raíces, llamados nódulos dentro de los cuales se lleva a cabo la reducción del N₂. El cultivo se nutre del nitrógeno aportado por la FBN y del disponible existente en el suelo. La combinación de factores como las características del huésped, temperatura y humedad ambiental, las propiedades físico-químicas del suelo y la naturaleza de la población rizobiana naturalizada, determinan la adecuada formación de nódulos, la eficiencia en la fijación del nitrógeno y la productividad del cultivo (González *et al.*, 1997).

Los rizobios son bacterias de vida libre, móviles e incapaces de formar esporas. Se alimentan de la descomposición de organismos muertos, materia orgánica o compuestos químicos secretados por las raíces de las plantas. Requieren oxígeno para vivir y son incapaces de fijar nitrógeno atmosférico cuando están en vida libre. Dentro de los nódulos radicales se alimentan de formas carbonadas sintetizadas por la planta huésped, requieren bajo nivel de oxígeno y fijan nitrógeno atmosférico que le entregan a la planta. La formación de una simbiosis efectiva es un proceso altamente específico, sin embargo, el grado de efectividad varía entre los diferentes rizobios (Fernandez Canigia, 2003).

Nuestros suelos carecen en general de bacterias del género *Bradyrhizobium japonicum* y por ello fue necesaria la incorporación de estas bacterias mediante la inoculación. Los efectos en los rendimientos del cultivo fueron evidentes y esto permitió una rápida adopción de esta tecnología por parte de los productores. La reinoculación anual llevó al establecimiento en los suelos de poblaciones

de rizobios naturalizadas provenientes de las aplicaciones de los inoculantes, esto genera la competencia en la formación de los nódulos entre las cepas introducidas con el inoculante y las presentes en el suelo, ocupando estas últimas la mayor proporción de los nódulos (Peticari *et al.*, 2003).

Según Brockwell (1995), en suelos con niveles medios de rizobios naturalizados, a 10^3 rizobios g^{-1} de suelo, la competencia entre los rizobios introducidos con el inoculante y los presentes naturalmente en el suelo, puede resultar de interés, especialmente si la población naturalizada es pobremente efectiva en la fijación del N_2 . Con valores mayores de población naturalizada, el fenómeno de competencia por la ocupación de los nódulos es muy grande, lo que trae como consecuencia menores beneficios con la inoculación (Brockwell *et al.*, 1995).

En nuestro país, los rizobios naturalizados, constituyen una población variable según la zona, que fluctúa entre 10^2 a 10^5 rizobios g suelo $^{-1}$. Estudios realizados por IMYZA -INTA Castelar donde se evaluó la capacidad simbiótica de cepas aisladas de diferentes suelos, determinaron que la gran mayoría presenta buena capacidad de nodulación, pero mediana capacidad para la fijación del N_2 (González *et al.*, 1997).

La práctica de la inoculación de semillas con productos de alta calidad comercial y técnicas de inoculación apropiadas, en las áreas sojeras nuevas, sin población naturalizada instalada y si no hay limitaciones nutricionales e hídricas, permitirá aumentar los rendimientos en valores promedios mínimos del 60%. En suelos "sojeros" con poblaciones naturalizadas de 10^2 a 10^5 rizobios g^{-1} suelo, la respuesta en el rendimiento suele ser nula o muy baja. No obstante, aún con incrementos de rendimientos mínimos esperados, del 5 al 10%, la práctica de la inoculación permite el "ahorro" del N mineral del suelo frente a un cultivo tan extractivo como la soja; mejorar la calidad del grano a través de una mayor concentración de proteínas y contribuir a una economía anual en el uso de fertilizantes nitrogenados (Hungria *et al.*, 2006; Peticari *et al.*, 2003).

La funcionalidad y efectividad de la FBN requiere del aporte de recursos energéticos y de nutrientes específicos (Panzieri *et al.*, 2000; Gan *et al.*, 2002). Entre estos, las deficiencias de fósforo (P) reducen la nodulación, la cantidad de N fijado y la producción de granos (Israel, 1987; Tsvetkova y Georgiev, 2003). Además, la oferta de P afecta indirectamente la fotosíntesis y así la disponibilidad de fotosintatos para ser traslocados a los nódulos (Yahiya *et al.*, 1995; Christiansen y Graham, 2002).

El consumo de fertilizantes en Argentina aumentó considerablemente entre los años 1991 y 2005, pasando de algo más de 300 mil toneladas en 1991 a valores superiores a los 3 millones de toneladas en 2006. Este aumento en el uso de fertilizantes acompañó el incremento en la producción de granos en los últimos años y, sin lugar a dudas, contribuyó de manera significativa al aumento y mayor estabilidad de los rendimientos. El notable aumento en el consumo de fertilizantes no ha

permitido mejorar los balances de nutrientes. Los desbalances de nutrientes han disminuido la capacidad de abastecimiento de nutrientes de los suelos, algo que puede ser claramente visualizado a través de las caídas del P extractable y la creciente deficiencia de S en numerosas áreas de la Región Pampeana. La Materia Orgánica del Suelo ha sido la principal fuente de N, P y S para los cultivos a lo largo de más de 100 años de agricultura, fundamentalmente a partir de los nutrientes contenidos en las fracciones más lábiles (Thuar *et al.*, 2007).

Diversas experiencias han mostrado el incremento en el número de nódulos cuando los cultivos fueron fertilizados con fósforo y azufre en lotes que presentaban deficiencias de estos nutrientes (Fontanetto *et al.*, 2004).

La respuesta del cultivo a la fertilización fosfatada depende del nivel de P disponible en el suelo, pero también es afectada por factores del suelo, del cultivo y de manejo del fertilizante. Entre los factores del suelo, se destacan la textura, la temperatura, el contenido de materia orgánica y el pH; mientras que entre los del cultivo deben mencionarse los requerimientos y el nivel de rendimiento. El diagnóstico de la fertilización fosfatada se basa en el análisis de muestras de suelo del horizonte superficial utilizando un extractante adaptado a los suelos del área en evaluación. En la región pampeana, en general, el extractante utilizado es Bray. La soja se caracteriza por presentar niveles críticos de P en suelo, por debajo de los cuales se observan respuestas significativas a la fertilización, (Díaz Zorita *et al.*, 2000).

Los suelos de la región pampeana presentan deficiencias de P como resultado de la baja disponibilidad nativa y/o de la baja reposición vía fertilizantes o abonos orgánicos. Melgar *et al.* (1995) recopilaron la información de 65 ensayos realizados en el país y encontraron un 70% de probabilidad de obtener respuestas de 300 kg/ha o superiores en suelos con menos de 9 ppm de P Bray y una probabilidad del 40% de obtener respuestas de 200 kg/ha o superiores en suelos con 9 a 14 ppm de P Bray (García, 2000).

La aplicación del fertilizante fosforado en la línea a la siembra del cultivo es la forma comúnmente empleada. En general, estas aplicaciones son más eficientes que las realizadas al voleo en forma anticipada, particularmente en suelos con baja disponibilidad de P y de textura fina. Respecto a la aplicación en la línea, es recomendable evitar la colocación del fertilizante junto a la semilla debido al efecto fitotóxico del mismo sobre la soja, Dignani demostró en un ensayo realizado en el sur de Santa Fe que el aporte de fósforo incrementó el número y peso de nódulos, pero el posicionamiento del fertilizante junto a la semilla revirtió los efectos positivos de la aplicación de fósforo (Dignani *et al.*, 2006).

En general, se observa que la fertilización con P en bandas próximas a la línea de siembra aporta una mayor eficiencia de aprovechamiento del nutriente, pero en dosis limitadas para el cultivo

por el riesgo salino de fitotoxicidad en contacto directo entre fertilizantes y semillas (Ventimiglia y Carta, 2005; Salvagiotti *et al.*, 2013).

La mayor reserva de azufre (S) en los suelos se encuentra en forma orgánica. El S orgánico es mineralizado a formas inorgánicas disponibles para los cultivos (sulfatos), a través de la acción de la biomasa microbiana. Las formas inorgánicas pueden ser perdidas por lavado o en forma gaseosa. Los aportes externos al sistema suelo-planta incluyen los residuos orgánicos, la incorporación por lluvias y deposición atmosférica y los fertilizantes (Tisdale *et al.*, 1993).

En general, no se ha logrado identificar relaciones entre variables de suelo y la respuesta del cultivo de soja a la fertilización azufrada. Gentiletti y Gutiérrez-Boem (2004) destacan como posibles causas, la presencia de sulfatos por debajo de la profundidad de muestreo o en el agua subterránea, errores en las determinaciones de laboratorio o errores en la determinación del S mineralizado en función de la MO del suelo. Los mismos autores, hallaron respuesta a la aplicación de S en 13 de 19 sitios evaluados, con aumentos en los rendimientos de 230-1200 kg/ha, lo que demostró la presencia de suelos con deficiencias de este nutriente (Echeverría *et al.*, 2002; Gentiletti y Gutiérrez-Boem, 2004).

En los últimos años se han observado respuestas a la fertilización azufrada en numerosos cultivos en la región pampeana, las respuestas se observan principalmente en suelos degradados, con muchos años de agricultura continua (especialmente soja), y con historia de cultivos de alta producción con fertilización nitrogenada y fosfatada y cuando el nivel de P disponible es elevado. Estas condiciones definen los ambientes de mayor probabilidad de respuesta a la fertilización azufrada (Martínez y Cordone, 1998).

Para la soja el cobalto (Co) y el molibdeno (Mo) son dos micronutrientes de particular importancia, debido a su participación con la fijación biológica de N que tiene lugar en las raíces de esta especie 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 en el futuro. Existe información sobre la depresión en los rendimientos provocada por la deficiencia de estos dos microelementos la que para Argentina es aún preliminar y debe ser investigada con mayor precisión (Fontanetto *et al.*, 2006).

A pesar de los bajos requerimientos por unidad de rendimiento, alrededor de 5 g por tonelada de rendimiento, el molibdeno (Mo) es un nutriente esencial que está involucrado en forma directa en el metabolismo del N del cultivo de soja, al formar parte de la nitrogenasa, enzima encargada de la fijación del N atmosférico y de la nitrato reductasa, enzima responsable de la reducción de nitrato a amonio para su posterior transformación a aminoácidos y proteínas en las plantas (Marschner, 1995).

El cobalto (Co) no es un nutriente esencial para las plantas, sin embargo es importante dentro del metabolismo de las bacterias que forman los nódulos. Se ha observado que en ausencia de Co, las bacterias reducen la producción de proteínas y leghemoglobina, proteína involucrada en el mantenimiento de la fijación biológica de Nitrógeno. En consecuencia, en forma indirecta, se afectaría el metabolismo del N de la planta de soja (Sims, 1996).

Dada la relación cercana de estos micronutrientes con la fijación biológica de N, la provisión de estos nutrientes a través de la fertilización debería ser cercana a los momentos en que se produce el proceso de infección de las raíces por parte de las bacterias fijadoras de nitrógeno. Algunos trabajos han mostrado que aplicaciones foliares de Mo en cultivos que serán destinados a semilla, la enriquecen con este micronutriente y el cultivo que se implante con ésta estará enriquecido en Mo. Sin embargo, la práctica más habitual es utilizar fertilizantes que contengan Co y Mo junto con la semilla (Campo *et al.*, 2009).

Debemos destacar que la acción nociva de los fertilizantes en el suelo depende de muchas causas, tales como: humedad del suelo, dosis aplicada, ubicación del fertilizante respecto a la semilla, pH del suelo, tipo de sembradora empleada, etc. Estos son, entre otros, los factores por los cuales se obtienen en este aspecto resultados tan variables. Cuando la aplicación de los fertilizantes se efectúa de tal manera que el mismo queda en contacto con la semilla sembrada, se pueden producir efectos no deseados, desde el retardo de la germinación, hasta la muerte de la semilla, o en otros casos, cuando ésta logra transformarse en plántula, la muerte de la misma. Seguramente, la aplicación de fertilizantes alejados de la semilla no provocaría ningún efecto negativo sobre la instalación del cultivo. En aplicaciones localizadas de este tipo, ese sería el sistema que deberíamos procurar. De todos modos, es bien conocido que no todas las máquinas tienen la particularidad de aplicar el fertilizante bajo esa forma. En aquellos casos que se deba aplicar en forma conjunta, se deberá tener en cuenta el tipo de máquina, la dosis de producto a aplicar, el tipo de fertilizante, la variedad empleada, y el nivel hídrico que presenta el suelo al momento de sembrar. Todos estos factores los podemos conocer, los mismos interactuarán con el ambiente a lo largo del ciclo del cultivo, para amortiguar los diferentes efectos que se establezcan entre los productos aplicados y las semillas en germinación (Ventimiglia y Carta, 2005).

En cuanto a la compatibilidad entre el uso combinado de fertilizantes e inoculantes, varios autores sugieren que cuando se fertiliza en conjunto con la siembra, se debe evitar el contacto directo con las semillas inoculadas, ya que los fertilizantes al modificar el pH del suelo sobre el entorno de las semillas pueden provocar, dependiendo de la dosis y las condiciones de ambiente, una elevada mortandad de bacterias. Estudios recientes realizados en laboratorio indican que los efectos son más nocivos cuando se emplean fertilizantes que contienen N, y en cambio cuando se emplean algunos de

los fertilizantes azufrados y fosforados sin N presentes en el mercado, el efecto puede resultar leve a nulo sobre la población de rizobios presentes en la semilla (Thuar *et al.*, 2007).

HIPÓTESIS.

El uso de inoculantes y fertilizantes fosforados promueve el crecimiento, nodulación y rendimiento en el cultivo de soja.

OBJETIVOS GENERALES.

Respuesta a la inoculación y a la fertilización en el cultivo de Soja en el sur de Córdoba.

OBJETIVOS ESPECIFICOS.

Evaluar la producción de biomasa aérea en soja durante el estadio V5.

Evaluar el efecto de *Bradyrhizobium japonicum* y la fertilización sobre la nodulación en raíces primarias y secundarias en el estadio R5.

Determinar el efecto de la inoculación y la fertilización sobre el rendimiento en soja en el estadio R8.

MATERIALES Y MÉTODOS.

El sitio de estudio:

El ensayo se realizó a campo durante la campaña 2012/2013, en el campo experimental de la Universidad Nacional de Río Cuarto (camdocex) Ruta Nac. 36 – km. 601, a los 33° 07' Latitud Sur y 64° 14' Latitud Este / Río Cuarto, Córdoba – Argentina. El perfil del suelo corresponde a un Hapludol típico.

El clima del sitio experimental, esta caracterizado por un régimen de precipitaciones monzónico, que concentra el 80% de las lluvias en el período de octubre a abril. La precipitación media anual es de 784 mm para la serie 1981-2010 (Servicio de Agrometeorología UNRC, 2012).

El régimen térmico es mesotermal. La temperatura media del mes más cálido (enero) es de 22.4°C con una máxima absoluta de 41.6°C. La temperatura media del mes más frío (julio) es de 9.9°C con una mínima absoluta de -11.6°C. La amplitud térmica media anual es de 12.5°C. La fecha media de la primera helada es el 25 de mayo y de la última helada es el 12 de septiembre, siendo el período libre de heladas promedio de 255 días (Seiler *et al.*, 1995).

La tabla 1 muestra las precipitaciones ocurridas en el período desde la primera década de diciembre 2012 hasta la segunda década de Abril 2013 (Cátedra de Agrometeorología y Climatología Agrícola, Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Nacional de Río Cuarto, Argentina 2015)

Precipitaciones durante el ciclo del cultivo:

Tabla 1: Precipitaciones decádicas (mm) durante el ciclo del cultivo (2012/13).

1° Década	Diciembre	2012	18 mm
2° Década	Diciembre	2012	86 mm
3° Década	Diciembre	2012	106 mm
1° Década	Enero	2013	33 mm
2° Década	Enero	2013	19 mm
3° Década	Enero	2013	24 mm
1° Década	Febrero	2013	5 mm
2° Década	Febrero	2013	59 mm
3° Década	Febrero	2013	0 mm
1° Década	Marzo	2013	25 mm
2° Década	Marzo	2013	54 mm
3° Década	Marzo	2013	22 mm
1° Década	Abril	2013	23 mm
2° Década	Abril	2013	3 mm

El suelo sobre el cual se realizó el ensayo está clasificado como Hapludol típico, franco arenoso muy fino (Cantero *et al.*, 1986). Previo a la siembra se realizó una caracterización del suelo a través de un análisis físico - químico. Dicho análisis es una herramienta que nos permite cuantificar la oferta de nutrientes del suelo. Para ello se tomó una muestra completa de 20 submuestras de los primeros 20 cm del suelo. El muestreo sistemático se realizó atravesando las parcelas en forma

diagonal tratando de obtener una muestra homogénea. Se determinó materia orgánica (Método Walkley – Black, 1934); nitrógeno de nitratos por el método de la reducción de cadmio (Lambert y Dubois, 1971); fósforo (Bray y Kurtz, 1945); ph (1:2,5 suelo/agua) (Mc Lean, 1982) (Tabla 2). El análisis puede ser un elemento imprescindible y altamente confiable en el diagnóstico de las deficiencias de ciertos elementos poco móviles en el suelo como el fósforo.

Análisis físico-químico del suelo:

Tabla 2: Análisis físico-químico del suelo.

Materia Orgánica	%	1.70
Nitrógeno de Nitratos	ppm	22.60
Nitratos	ppm	100.1
Fósforo	ppm	16.60
Humedad	%	20.50
pH		7.14

Se utilizó el modelo en bloques completos al azar con 6 tratamientos. El tamaño de cada parcela fue de 4 surcos separados a 0.52 metros de distancia, con un largo de 10 metros y repetición de 4 veces cada parcela. En todos los casos, las semillas fueron tratadas con fungicidas y las variables fueron inoculantes y fertilizantes a dosis de marbete.

Materiales utilizados:

- Tratamiento A: Inoculante Signum (*Bradyrhizobium spp.*).
- Tratamiento B: Micro S 20 kg/Ha.
- Tratamiento C: Superfosfato simple 100 kg/ha.
- Tratamiento D: Co Mo 160 ml/100kg.
- Tratamiento E: Co Mo 160 ml/100kg + Micro S 20 kg/ha.
- Tratamiento T: Testigo absoluto.

Los productos evaluados son marcas comerciales o precomerciales de Rizobacter Argentina S.A.

Desde el tratamiento B hasta el tratamiento E inclusive son fertilizantes.

Se implantó el cultivo de soja en siembra directa, sobre un rastrojo de maíz, en condiciones de secano, utilizando 85 kg de semilla/ha de modo de lograr una densidad de 40 plantas por m² (17 gramos cada 100 semillas, con un 80% de establecimiento). Durante el ciclo del cultivo se realizaron controles de factores no deseados (malezas, insectos, enfermedades), para evitar la incidencia de los mismos en los resultados.

Especie y cultivar empleado:

La variedad de *Glycine max* utilizada fue la NS 4009, la cual es una variedad indeterminada, con un excelente potencial de rendimiento y especialmente adaptada para manejo de alta tecnología. Se comporta muy bien en toda la región pampeana Central y Sur. Se caracteriza también por tener una rápida cobertura inicial y ser tolerante al stress hídrico.

Ciclo Días a floración	39
Ciclo Días a maduración	131
Color pubescencia	Castaña clara
Color de flor	Purpura
Potencial de rendimiento	Altísimo
Plantas/m² a cosecha (siembras 1a a 52 cm)	34
Altura de planta (cm)	88
Tipo de planta	Ramificada
Tipo de planta	
Peso por mil (gr) (1)	183

(1) Valor de referencia, el peso por mil puede variar en función de las condiciones durante el llenado de granos.

Fuente: Nidera Semillas.

Los muestreos del cultivo se realizaron en la etapa vegetativa V5 y las reproductivas R5 y R8.

En la etapa vegetativa V5 se midió:

- Peso seco de biomasa vegetal aérea en gramos por planta.

En la etapa reproductiva R5 se midió:

- Número de nódulos en raíz principal y raíces secundarias.
- Peso seco de cada muestra en gramos/ metro cuadrado.

En la etapa reproductiva R8 se midió:

- Peso de los 1000 granos en gramos.
- Rendimiento por tratamiento en kg/ha.

Análisis de resultados:

Los datos fueron analizados estadísticamente mediante un análisis de varianza con una $p = 0.05$ y se compararon los promedios con el Test de Tuckey empleando el Software InfoStat/E (Di Rienzo *et al.*, 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinaciones en V5:

Peso seco de biomasa vegetal aérea: El peso aéreo de la biomasa mostró diferencias estadísticas significativas entre los distintos tratamientos. Hubo diferencias entre el tratamiento E con el resto (Figura 1) (Anexo 1). Estos resultados se pueden comparar con los obtenidos por Masgrau en sus ensayos realizados en 2005/06, quien observó un aumento estadísticamente significativo en la biomasa aérea para fertilizaciones con Cobalto y Molibdeno en la semilla (Masgrau, 2006). Vale también aclarar que el peso de la biomasa aérea del tratamiento T fue menor respecto a los tratamientos B y A. Tampoco se observaron diferencias estadísticas entre los tratamientos T, D y C.

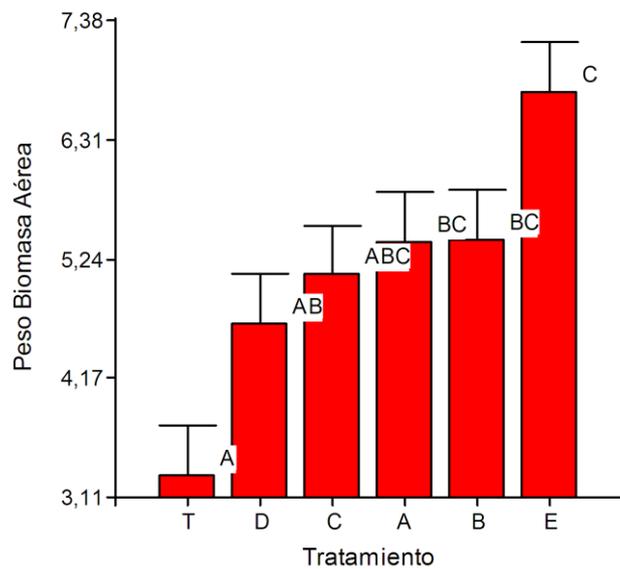


Figura 1: Peso seco de biomasa vegetal aérea (g) en V5. Campaña 2012/13. Río Cuarto, Córdoba.

Determinaciones en R5:

Número de nódulos en raíz principal: Observando el número de nódulos en la raíz principal (Figura 2) no se detectan diferencias estadísticamente significativas (Anexo 2), pero sí se observa mayor presencia en el tratamiento testigo, aunque con valores cercanos al tratamiento inoculado. Brockwell (1995), afirma que si la población naturalizada de rizobios es grande habrá mayor competencia por la ocupación de los nódulos, impidiendo la máxima expresión de la inoculación, trayendo consecuencias negativas si la población naturalizada es pobremente efectiva en la fijación del N_2 .

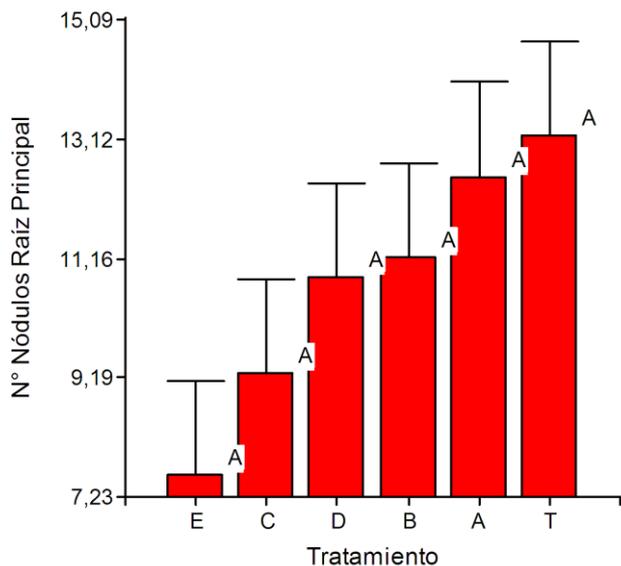


Figura 2: Número de nódulos en la raíz principal en R5. Campaña 2012/13. Río Cuarto, Córdoba.

Número de nódulos en raíces secundarias: Analizando la figura 3, en relación al número de nódulos en las raíces secundarias, se observa que no hay diferencias estadísticamente significativas (Anexo 3) entre los tratamientos. Otro dato interesante a destacar en esta medición es el buen comportamiento de la variedad utilizada en cuanto al carácter evaluado. Estos datos coinciden con los observados por Gambaudo *et al.*, (2011), quienes contabilizaron un mayor número de nódulos en las plantas tratadas con Co y Mo.

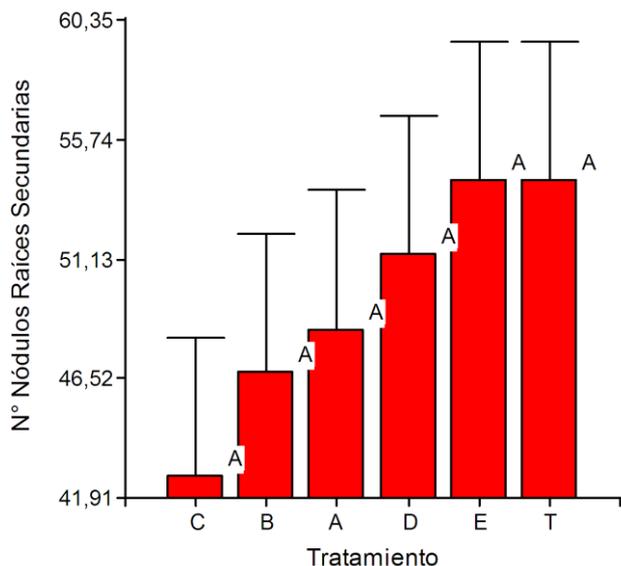


Figura 3: Número de nódulos en raíces secundarias en R5. Campaña 2012/13. Río Cuarto, Córdoba.

Peso nódulos raíz principal: El peso de los nódulos (g) en la raíz principal no presenta diferencias estadísticamente significativas (figura 4) (anexo 4), pero se destacan el efecto de la fertilización con Micro S del tratamiento B, con valores por encima del resto; datos similares fueron encontrados por Martínez en ensayos durante los años 2001, 2002 y 2003 quien determinó respuestas favorables a aplicaciones de 20 kg/ha de azufre en soja.

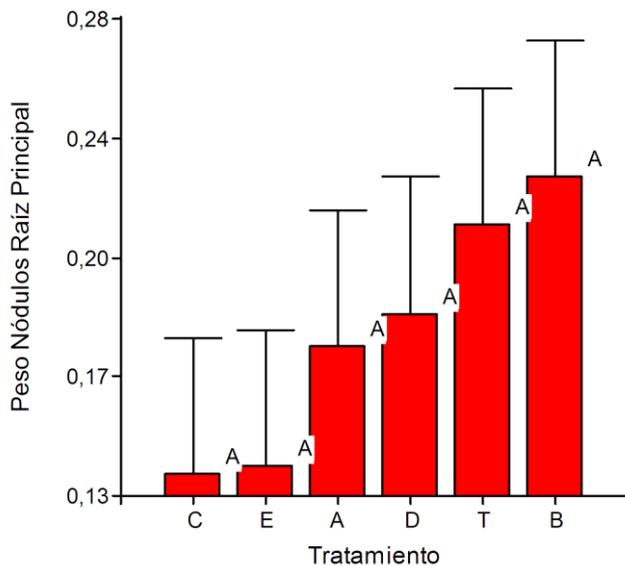


Figura 4: Peso de nódulos (g) en raíz principal en R5. Campaña 2012/13. Río Cuarto, Córdoba.

Peso nódulos raíces secundarias: Los mayores pesos en los nódulos de las raíces secundarias fueron observados en el tratamiento E, aunque no se presentan diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos (figura 5) (Anexo 5).

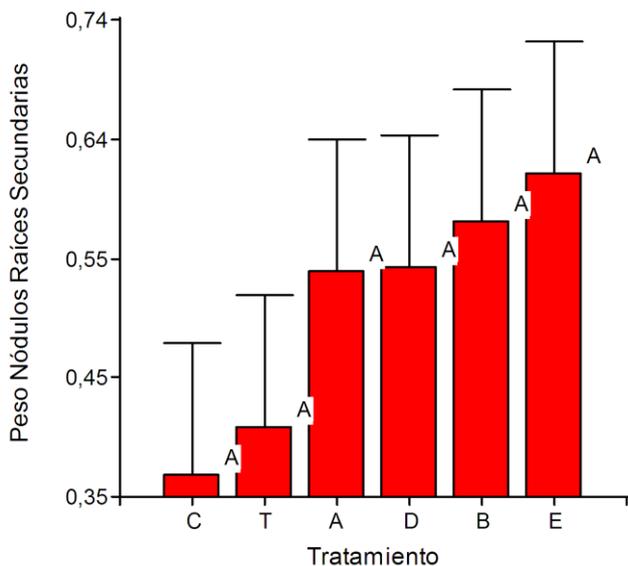


Figura 5: Peso de nódulos (g) en raíces secundarias en R5. Campaña 2012/13. Río Cuarto, Córdoba.

Determinaciones en R8:

Rendimiento: El rendimiento depende de diferentes factores, tales como la densidad de siembra, la temperatura, los niveles de radiación, las precipitaciones, disponibilidad de nutrientes y el genotipo. Como se observa en la figura 6 (Anexo 6) no existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos y el testigo. El mayor valor de rendimiento se observa en el tratamiento fertilizado con Micro S, cuyo valor promedio es de 3477,25 kg/ha, mientras que en el Testigo es de 2901,25 kg/ha; además se observa un mayor valor en los tratamientos E, C, A con respecto al tratamiento Testigo. Por lo tanto, la respuesta de incremento promedio es de 20% justificando la utilización de algún tratamiento. Si bien el efecto de la fertilización sobre el rendimiento, en estos ensayos, no llegó a ser estadísticamente significativa, se observa una tendencia positiva a favor de los tratamientos fertilizados e inoculado, marcando los lineamientos de trabajo para un futuro próximo. Todo esto concuerda con los datos obtenidos por Echeverría *et al.*, (2002), quien observó aumentos en los rendimientos de 230-1200 kg/ha, en suelos con deficiencias en estos nutrientes, lo que indicaría cierto déficit de azufre en el sitio experimental. También coincide con lo expuesto por Martínez y Cordone en 1998 quienes han observado respuestas a la fertilización azufrada en numerosos cultivos en la región pampeana.

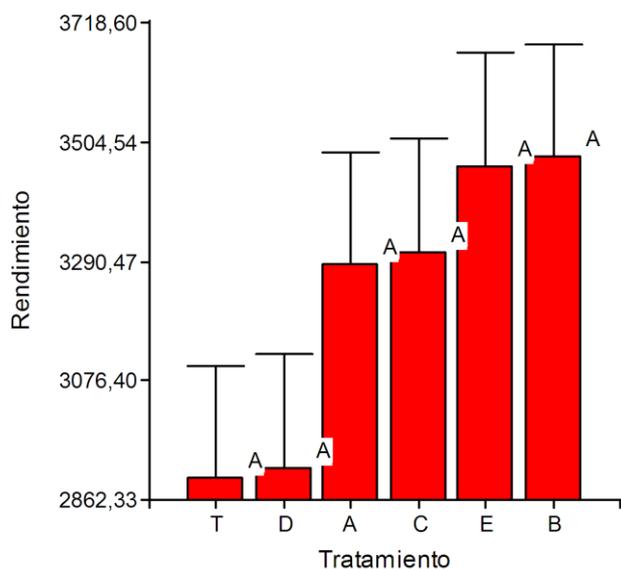


Figura 6: Rendimiento de Soja (kg/ha). Campaña 2012/13. Río Cuarto, Córdoba.

Peso de mil semillas: La medición del peso de las 1000 semillas (Tabla 3) nos muestra valores que van desde los 151,2 g hasta los 170,6 g. Este valor depende de la variedad utilizada pero principalmente de las condiciones de crecimiento durante del llenado de granos. A partir del peso de mil semillas se pueden calcular las densidades de siembra en kg/ha (www.niderasemillas.com.ar).

Tabla 3: Peso de Mil Semillas.

Tratamiento	Peso (g)
A	160
B	163
C	170,6
D	163,9
E	151,2
T	155,6

CONCLUSIÓN

De los resultados obtenidos podemos concluir:

- ✓ La baja respuesta de la fertilización con fósforo se debe a la cantidad de P disponible presente en el suelo.
- ✓ El cultivo de soja tiene buena respuesta al agregado de fertilizantes azufrados.
- ✓ La aplicación de Cobalto y Molibdeno mejoraron la cantidad de nódulos en las raíces secundarias del cultivo.
- ✓ El aumento en la nodulación por Co y Mo, tuvo un efecto positivo en la nutrición de las plantas, lo que se tradujo en una mayor producción de biomasa.
- ✓ Si bien el efecto de la fertilización sobre el rendimiento, en estos ensayos, no llegó a ser estadísticamente significativa, se observa una tendencia positiva a favor de los tratamientos fertilizados, marcando los lineamientos de trabajo para un futuro próximo.
- ✓ El tratamiento inoculado no presenta diferencias estadísticamente significativas con respecto al tratamiento testigo, pero sí se observa un mayor valor de rendimiento (13% más), y también hay diferencias estadísticamente significativas en cuanto al peso de la biomasa aérea en favor del tratamiento inoculado.

BIBLIOGRAFÍA

- BRAY, R. H. y L. T. KURTZ. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil Sci.* 59: 39-45.
- BROCKWELL, J., P. BOTTOMLEY y J.E. THIES. 1995. Manipulation of rhizobia microflora for improving legume productivity and soil fertility. *Plant and Soil* 174: 143-180.
- CALVO, M., L. ZUBIZARRETA., P. BULLRICH., P. GUNNING., A. WILLIAMS y E. MORANDI 2008. Asociación de la Cadena de la Soja Argentina (ACSOJA).
- CAMPO, R.J., R.S. ARAUJO y M. HUNGRIA. 2009. Molybdenum enriched soybean seeds enhance N accumulation, seed yield, and seed protein content in Brazil. *Field Crops Res.* 110, 219-224.
- CANTERO G. A., E. M. BRICCHI., V. H. BECERRA., J. M. CISNEROS y H. A. GÍL. 1986. Zonificación y descripción de las tierras del Departamento Río Cuarto. UNRC-FAV. 80 p.
- CHRISTIANSEN, I y P.H GRAHAM. 2002. Variation in di-nitrogen fixation among Andean bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes grown at low and high levels of phosphorus supply. *Field Crops Res.* 73: 133-142.
- DI RIENZO, J.A., F. CASANOVES., M.G. BALZARINI., L. GONZALEZ, M. TABLADA y C.W ROBLEDO. 2011. Grupo InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- DÍAZ ZORITA M., G. GROSSO., M. FERNANDEZ CANIGGIA y G. DUARTE. 2000. Efectos de la ubicación de un fertilizante nitrogeno-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.
- DIGNANI, D., G. GERSTER., F. SALVAGIOTTI., J.M. CASTELLARÍN., D. FERRO y M. BOLDRINI. 2006 Efecto de la fuente, dosis y forma de aplicación. Para mejorar la producción - INTA Oliveros 33[SOJA], 66-70.
- DOMINGO YAGÜES, J., A. FERREYRA., R. LANGHI., G. PAUSICH., A. PEZZOLA y C. COMA. 2012. Campaña Sojera 2010-11. INTA, Red de Información Agropecuaria Nacional (RIAN). Disponible en: <http://inta.gob.ar/documentos/campana-sojera-2010-2011-republica-argentina>. Consultado: Enero 2013
- ECHEVERRÍA, E., G. FERRARIS., G. GERSTER., F.H. GUTIÉRREZ BOEM y F. SALVAGIOTTI. 2002. Fertilización en soja y trigo - soja: respuesta a la fertilización en la región pampeana. Resultados de la red de ensayos del proyecto fertilizar – INTA 4. Campaña 2000/2001 y 2001/2002. EEA INTA Pergamino.

- FERNANDEZ CANIGIA, M. V. 2003. **Factores determinantes de la nodulación.** Departamento de investigación y desarrollo Nitragin Argentina S.A. 46 pp.
- FONTANETTO, H., M. DÍAZ-ZORITA y H. VIVAS. 2004. Inoculación y fertilización con fósforo y azufre sobre la nodulación y los rendimientos de soja. p. 143. *En:* C E Quintero; N G Boschetti & E L Díaz (eds.). **XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo - II Simposio Nacional sobre Suelos Vertisólicos.** Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo, Paraná, Entre Ríos, Argentina. 22-25 Junio 2004. Argentina. En CD. *En:* <http://www.engormix.com/MA-agricultura/soja/articulos/fertilizacion-de-la-soja-t2818/415-p0.htm>. Consultado: 06-02-2013.
- FONTANETTO, H., O. KELLER., C. NEGRO., L. BELOTTI y D. GIAILEVRA. 2006. Inoculación y Fertilización Con Cobalto y Molibdeno Sobre La Nodulación y La Producción De Soja. INTA EEA Rafaela. 553 – 556 p.
- GAMBAUDO, S., G. WILHELN y H. FONTANETTO. 2011. Fertilización de cobalto y molibdeno en el cultivo de soja. Publicación Miscelánea INTA Rafaela. 121, 80-84.
- GAN, Y., I. STULEN., H. VAN KEULEN y PJC. KUIPER. 2002. Physiological changes in soybean (*Glycine max.*) Wuyin9 in response to N and P nutrition. *Ann. Appl. Biol.* 140: 319-329.
- GARCÍA, F. 2000. Soja: Nutrición del Cultivo y Fertilización en la Región Pampeana Argentina. Pág 259-273.
- GARCÍA, F y I. CIAMPITTI. 2009. La nutrición del cultivo de soja. *En:* Manual de manejo del cultivo de soja. pp. 33-76.
- GENTILETTI, A. y F. GUTIÉRREZ BOEM. 2004. Fertilización azufrada de soja en el centro-sur de Santa Fe. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur.* INPOFOS Cono Sur. Acassuso, Buenos Aires, Argentina. 24:12-14.
- GHIDA DAZA, C. A., 2012. Resultados económicos esperados de soja, Ciclo 2012/13. INTA EEA Marcos Juárez. Disponible en: <http://inta.gob.ar/documentos/resultados-economicos-esperados-para-el-cultivo-de-soja.-ciclo-2012-13/>. Consultado: Enero 2013.
- GONZÁLEZ, N. 1996. Fijación de nitrógeno. *En* Curso de Actualización “Dinámica de nutrientes en suelos agrícolas”. EEA INTA Balcarce.
- GONZÁLEZ, N., A. PERTICARI., B. STEGMAN y E. RODRÍGUEZ CÁCERES. 1997. Nutrición nitrogenada. *En:* Giorda L.M.y Baigorri, H.E.J. (Eds.). *El cultivo de la soja en Argentina.* INTA, Centro Regional Córdoba. EEA Marcos Juárez- EEA. p. 188- 198.

- HUNGRIA, M. y R.J.A. CAMPO. 2005. Fixação biológica do nitrogênio em sistemas agrícolas. In: Congresso brasileiro de ciência do solo, 30., Recife.
- HUNGRIA, M., J.C. FRANCHINI., R.J. CAMPO., C.C. CRISPINO., J.Z. MORAES., R.N.R. SIBALDELLI., I.C. MENDES y J. ARIHARA. 2006. Nitrogen nutrition of soybean in Brazil: contributions of biological N₂ fixation and N fertilizer to grain yield. Can J. Plant Sci. 86, 927-939.
- ISRAEL, DW. 1987. Investigation of the role of phosphorus in symbiotic dinitrogen fixation. Plant Physiol. 84: 835-840.
- LAMBERT, R.J. y R.J. DUBOIS, 1971. Spectrophotometric determination of nitrate in the presence of chloride. Analytical Chemistry 43: 955-957.
- MARSCHNER, H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London, UK. 12, 124-132.
- MARTINEZ, F. 2004. Fertilización azufrada en soja. EEA INTA Casilda. Revista FertiPASA de PASA Fertilizantes de Petrobras. Publicación N° 19 de Marzo 2004. Páginas 3 - 5.
- MARTÍNEZ F. y G. CORDONE. 1998. Fertilización azufrada en soja. Jornadas de Azufre. EEA INTA Casilda, Septiembre 1998. Casilda, Santa Fe, Argentina. P 11-15.
- MASGRAU, A. 2006. Ensayo de fertilización con Cobalto y Molibdeno en Soja. 2005-2006. ATR Regional Montecristo AAPRESID. 63-66 p.
- MCLEAN, E. O. 1982. Soil pH and lime requirement. In Page, A. L., R. H. Miller and D. R. Keeney (eds.) Methods of soil analysis. Part 2 - Chemical and microbiological properties. (2nd Ed.). Agronomy 9:199-223.
- MELGAR, R., E. FRUTOS., M. GALETTO y H. VIVAS. 1995. El análisis de suelos como predictor de la respuesta de la soja a la fertilización fosfatada. **1er. Congreso Nacional de Soja y 2da. Reunión Nacional de Oleaginosas.** Aianba. Pergamino. tomo 1, pág. 167-174.
- PANZIERI, M., N. MARCHETTINI y T.G. HALLAN. 2000. Importance of the *Bradhyrizobium japonicum* symbiosis for the sustentability of a soybean cultivation. Ecol. Modell. 135: 301-310.
- PERTICARI, A., N. ARIAS., H. BAIGORRI., J.J. DE BATTISTA., M. MONTECCHIA., J.C. PACHECO BASURCO., A. SIMONELLA., S. TORESANI., L. VENTIMIGLIA y R. VICENTE. 2003. Inoculación y fijación biológica de nitrógeno en el cultivo de soja. En: El libro de la soja. Buenos Aires. Servicios y Marketing Agropecuario, p.69-76.

PERTICARI, A. 2007. Fijación biológica de nitrógeno=beneficios para la producción. **I Jornada Bonaerense de Microbiología**, Universidad nacional de Luján (UNLU), Marzo 2007.

SAGPyA 2012. Estimación y estadística – Sistema Integrado de Información Agropecuaria. En: www.siiia.gov.ar/index.php/series-por-tema/agricultura. Consultado: 01-03-2013.

SALVAGIOTTI, F., K.G. CASSMAN., J.E. SPECHT., D.T. WALTERS., A. WEISS y A. DOBERMANN. 2008 Nitrogen uptake, fixation and response to fertilizer N in soybeans: A review, *Field Crops Res.* (2008) Volume 108, Issue 1, 11, Pages 1-13.

SALVAGIOTTI, F., M. BARRACO., D. DIGNANI., H. SANCHEZ., A. BONO., P. VALLONE., G. GERSTER., C. GALARZA., J. MONTOYA y V.J. GUDELJ. 2013 Plant stand, nodulation and seed yield in soybean as affected by phosphate fertilizer placement, source and application method. *European Journal of Agronomy* 51, 25-33.

SEILER R., R. FABRICIUS., V. ROTONDO y M. VINOCUR. 1995. Agroclimatología de Río Cuarto – 1974 / 1993. Volumen I. UNRC. p:41

SIMS, J.L. 1996. Molybdenum and Cobalt. *Methods of Soil Analysis Part 3. Chemical Methods* sssabookseries, 723-737.

THUAR, A., F. CASSÁN y C. OLMEDO. 2007. En: De la biología del suelo a la agricultura. 1^o Edición. p: 1-291.

TISDALE S., W. NELSON., J. BEATON y J. HAVLIN. 1993. *Soil fertility and fertilizers*. 5^a. Edición. Mac Millan Pub. Co. New York, EEUU. 634 p.

TORESANI, S., V. ROMAGNOLI y B. CANAVE. 2012. Inoculación en soja: Calidad de Inoculantes y experiencias a campo en el sur de Santa Fe. En: *Revista Agromensajes de la Facultad UNR*.

TSVETKOVA, G.E. y G.I. GEORGIEV. 2003. Effect of phosphorus nutrition on the nodulation, nitrogen fixation and nutrient use efficiency of *Bradyrhizobium japonicum*-soybean (*Glycine max* L. Merr.) symbiosis. *Bulg. J. Plant. Physiol. Special Issue*: 331-335.

UNKOVICH, M.J. y J.S. PATE. 2000. An appraisal of recent field measurements of symbiotic N₂ fixation by annual legumes. *Field Crops Res.* 65, 211–228.

VENTIMIGLIA, L.A y H.G. CARTA. 2005. Soja: Efecto de los fertilizantes aplicados en la línea de siembra sobre el número de plantas y el rendimiento. *Informaciones agronómicas* N° 28, Diciembre 2005, 23-28.

WALKLEY, A y I. BLACK. 1934. An examination of the Degtjareff method and a proposed modification of the chromic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 34: 29-38.

WWW.AGROSITIO.COM/VERTEXT/VERTEXT.ASP?ID=98473&SE=10000

WWW.FERTILIZAR.ORG.AR/2011/VERTEXT.PHP?ID_NOTA=613&AREA=8. Consultado: 01-03-2013.

WWW.NIDERASEMILLAS.COM.AR/NIDERASEMILLAS/SOJA_DETALLE.ASPX?ID=44.

Consultado: 11-05-2015.

YAHIYA, M., SAMIULLAH y A. FATMA. 1995. Influence of phosphorus on nitrogen fixation in chickpea cultivars. *J. Plant Nutr.* 18: 719-727.

ANEXO

Anexo 1: Peso Biomasa Aérea

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso Biomasa Aérea	72	0,38	0,30	30,21

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	91,87	8	11,48	4,84	0,0001
Tratamiento	75,55	5	15,11	6,37	0,0001
Repetición	16,32	3	5,44	2,29	0,0866
Error	149,49	63	2,37		
Total	241,35	71			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=1,84837

Error: 2,3728 gl: 63

Tratamiento	Medias	n	E.E.			
T	3,30	12	0,44	A		
D	4,66	12	0,44	A	B	
C	5,10	12	0,44	A	B	C
A	5,39	12	0,44		B	C
B	5,41	12	0,44		B	C
E	6,74	12	0,44			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 2: Número de Nódulos en la Raíz Principal

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Nº Nódulos Raíz Principal	72	0,18	0,07	50,38

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	393,94	8	49,24	1,68	0,1211
Tratamiento	256,33	5	51,27	1,75	0,1367
Repetición	137,61	3	45,87	1,56	0,2069
Error	1847,56	63	29,33		
Total	2241,50	71			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=6,49811

Error: 29,3263 gl: 63

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
E	7,58	12	1,56	A
C	9,25	12	1,56	A
D	10,83	12	1,56	A
B	11,17	12	1,56	A
A	12,50	12	1,56	A
T	13,17	12	1,56	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 3: Numero de en Nódulos Raíces Secundarias

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
N° Nódulos Raíces Secundar..	72	0,21	0,11	37,34

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	5840,61	8	730,08	2,13	0,0458
Tratamiento	1213,90	5	242,78	0,71	0,6197
Repetición	4626,71	3	1542,24	4,50	0,0064
Error	21608,71	63	343,00		
Total	27449,32	71			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=22,22301

Error: 342,9954 gl: 63

Tratamiento	Medias	n	E.E.
C	42,75	12	5,35 A
B	46,75	12	5,35 A
A	48,42	12	5,35 A
D	51,33	12	5,35 A
E	54,17	12	5,35 A
T	54,17	12	5,35 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 4: Peso de los Nódulos en la Raíz Principal

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso Nódulos Raíz Principa..	24	0,28	0,00	47,25

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,04	8	0,01	0,71	0,6780
Tratamiento	0,03	5	0,01	0,81	0,5632
Repetición	0,01	3	4,0E-03	0,56	0,6517
Error	0,11	15	0,01		
Total	0,15	23			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,19404

Error: 0,0071 gl: 15

Tratamiento	Medias	n	E.E.
C	0,14	4	0,04 A
E	0,14	4	0,04 A
A	0,18	4	0,04 A
D	0,19	4	0,04 A
T	0,21	4	0,04 A
B	0,23	4	0,04 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 5: Peso de los Nódulos en Raíces Secundarias

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Peso Nódulos Raíces Secund..	24	0,35	0,00	42,50

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0,37	8	0,05	1,00	0,4766
Tratamiento	0,19	5	0,04	0,82	0,5552
Repetición	0,18	3	0,06	1,29	0,3127
Error	0,69	15	0,05		
Total	1,06	23			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,49429

Error: 0,0463 gl: 15

Tratamiento	Medias	n	E.E.
C	0,37	4	0,11 A
T	0,41	4	0,11 A
A	0,54	4	0,11 A
D	0,54	4	0,11 A
B	0,58	4	0,11 A
E	0,62	4	0,11 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Anexo 6: Rendimiento

Análisis de la varianza

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Rendimiento	24	0,54	0,29	12,55

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2887781,00	8	360972,63	2,20	0,0893
Tratamiento	1310085,33	5	262017,07	1,60	0,2205
Repetición	1577695,67	3	525898,56	3,21	0,0534
Error	2458750,33	15	163916,69		
Total	5346531,33	23			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=930,12655

Error: 163916,6889 gl: 15

Tratamiento	Medias	n	E.E.
T	2901,25	4	202,43 A
D	2921,00	4	202,43 A
A	3284,75	4	202,43 A
C	3307,50	4	202,43 A
E	3462,25	4	202,43 A
B	3477,25	4	202,43 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)