

## FERTILIZACIÓN FOLIAR CON CALCIO: INFLUENCIA EN LA FIJACIÓN BIOLÓGICA DE NITRÓGENO, TASA DE CRECIMIENTO Y RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE SOJA [*GLYCINE MAX* (L.) MERRILL]

Ignacio A. Ciampitti \*<sup>1</sup>; E. A. Ciarlo <sup>12</sup>; E. B. Giardina <sup>1</sup>; F. L. Lagrassa <sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Cátedra de Edafología de la FAUBA. San Martín 4453 (1417) Capital Federal  
<sup>2</sup>Agrigro Fertilizantes S.A.

e-mail: [ciampitt@agro.uba.ar](mailto:ciampitt@agro.uba.ar)

Tel.: +54-11-45248059

**Palabras Claves:** calcio – soja – nódulos – fijación biológica de nitrógeno – fertilización foliar.

### Introducción

El cultivo de soja [*Glycine Max* (L.) Merrill] es uno de los componentes más importantes de los sistemas agrícolas de Argentina, totalizando 14.527.000 millones de hectáreas de superficie ocupada y con una producción de 31.6 millones de toneladas anuales, según datos del INDEC de 2004. La Soja es un cultivo muy exigente en nitrógeno (N), obteniendo una gran parte de este nutriente por medio de la fijación biológica (FBN), (Racca, 2003). El proceso de Fijación Biológica de Nitrógeno, requiere además de nutrientes específicos que afectan su funcionalidad, tales como el fósforo (P), calcio (Ca), boro (B) y cobalto (Co), entre otros.

La fertilización foliar complementaria es una práctica que ha mostrado resultados positivos en cultivos de grano tales como trigo, maíz, soja y girasol. La fertilización foliar presenta 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 gracias a su rápida absorción (Barber, 1984), complementando la estrategia de fertilización implementada a la siembra.

El elemento químico  $Ca^{2+}$ , es inmóvil a nivel de floema y no se redistribuyen 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 calcio, presente en la lamela 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. Sobre el crecimiento bacteriano, específicamente *Bradyrhizobium japonicum*, el calcio presenta efectos de importancia relevante, en la supervivencia de los rizobios, en limitación del crecimiento de los mismos, para el proceso de infección a través de los pelos radiculares, inducción de los genes Nod y como mensajero secundario en la traducción de los factores Nod a nivel pelo radicular (O'Hara, 1988).

El objetivo de este trabajo fue cuantificar el efecto de la fertilización foliar con calcio en forma de quelato, sobre la efectividad del proceso de nodulación, teniendo en cuenta el peso, el número y la funcionalidad de los nódulos, tasa de crecimiento y su consecuencia en el rendimiento de un cultivo de soja.

### Materiales y Métodos

Se realizó un experimento en condiciones de campo, en un suelo Argiudol vértico ubicado en localidad de Carmen de Areco, Provincia de Buenos Aires. Al momento inicial del ensayo el suelo presentó valores de  $N-NO_3^- = 6.2 \text{ mg kg}^{-1}$ ; % Cox= 1.05; %Nt= 0.15; %HE 27.15; pH=6.0; densidad aparente=1.35  $\text{g cm}^{-3}$  y Pext= 5.69 ppm. El ensayo se instaló en un cultivo de soja implantado que fue fertilizado con un arrancador la fertilización arrancadora, la cual esta última constituyó en la aplicación de un fertilizante con nitrógeno ( $7 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) en forma de urea, fósforo ( $21 \text{ kg P ha}^{-1}$ ) y azufre ( $6 \text{ kg S ha}^{-1}$ ). El predio se dividió en 12 parcelas de 4m

x 5m, constituyendo las mismas las unidades experimentales. El diseño experimental de los tratamientos fue completamente aleatorizado (DCA), con tres niveles del factor fertilización foliar cálcica. Los niveles del fertilizante foliar con calcio fueron: sin fertilización cálcica. (Control-**C0**), fertilización con calcio- 10%  $\text{Ca}^{2+}$ , 1.5 l  $\text{ha}^{-1}$  (**C1**) y 3.0 l  $\text{ha}^{-1}$  (**C2**) de fertilizante foliar cálcico (10%  $\text{Ca}^{2+}$  m/m) en forma líquida. Esta cantidad se aplica por única vez en el momento fenológico de Fructificación-R3 (Fehr y Caviness, 1977).

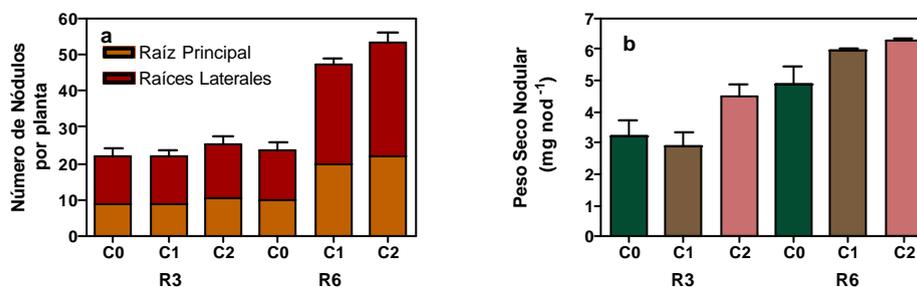
Para el estudio de la eficiencia de la nodulación se realizaron mediciones de: número, distribución nodular en raíces primarias y secundarias, peso de los mismos y funcionalidad en forma cualitativa (coloración), durante los momentos fenológicos de Comienzo de Fructificación (**R3**) y Finalización de Llenado de Granos (**R6**).

En los tratamientos se sembró una soja de primera, transgénica con el gen RR, perteneciente a la marca comercial "Don Mario" cultivar 4800 (Grupo IV, hábito de crecimiento Indeterminado), el 17 de noviembre de 2005. Las malezas en todas las parcelas fueron controladas con aplicaciones semanales o mensuales del herbicida glifosato. Se realizó la determinación de la tasa de crecimiento durante el intervalo de tiempo ocurrido entre los estados fenológicos R3-R6, a partir de la determinación de Materia Seca Aérea y Radicular entre ambos estadios. Al momento de cosecha se evaluó rendimiento de grano mediante recolección manual de muestras de 3  $\text{m}^{-2}$  por parcela y trilla estacionaria. Los rendimientos fueron ajustados a 13 % de humedad y se determinaron sus componentes: peso y número de granos.

Se realizaron cuatro repeticiones por cada tratamiento. Los análisis de los datos se realizaron mediante análisis de varianza estándar, con procedimientos lineales generales (PROC GLM) del Paquete Estadístico SAS (SAS Institute, 1999), con posterior separación de tratamientos por test de comparaciones múltiples según DUNCAN.

## **Resultados y Discusión**

La cantidad de los nódulos, tanto en R3 como en R6, fue superior en las raíces laterales con respecto a la raíz principal del cultivo de soja (Figura 1). La distribución, en número de nódulos en el estadio R3, al momento de aplicación de la fertilización foliar cálcica, no presentó diferencias significativas entre tratamientos. Sin embargo cuando el mismo análisis se realizó en R6, se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, dependiente de las dosis empleadas (Figura 1a). En las plantas fertilizadas con simple y doble dosis, se observaron aumentos en el número de nódulos de un 53% y 55% en promedio con respecto a las plantas no fertilizadas con calcio, para la raíz principal y las raíces laterales respectivamente. Coincidiendo con lo hallado, Lowther y Loneragan (1968) concluyeron que ante aumentos crecientes en las concentraciones del elemento se produce un incremento constante en el número de nódulos (nod), mientras que el peso fresco se incrementa pero de manera menos que proporcional.



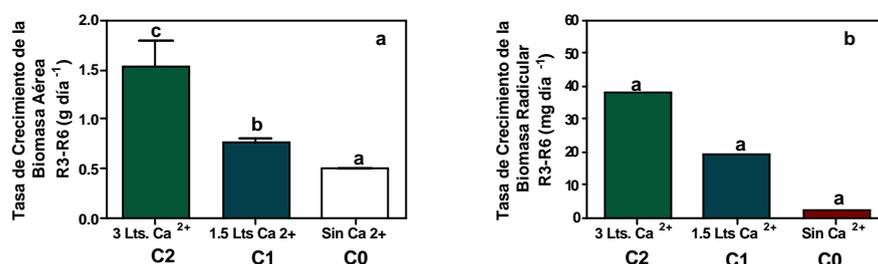
**Figura 1.** Número-distribución (a) y peso seco nodular en  $\text{mg nod}^{-1}$  (b), en dos estados de desarrollo del cultivo R3-R6, antes y después de la aplicación del fertilizante foliar cálcico.

En cuanto a la evolución del peso de los nódulos (R3-R6), se observaron mayores pesos por nódulos, en el tratamiento con doble dosis de fertilizante (Figura 1b). DeMooy y Pesek (1969), coincidiendo con lo hallado en este experimento, encontraron aumentos marcados en el peso de los nódulos, mediante la adición de potasio y calcio.

La tasa de crecimiento de la biomasa aérea presentó diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) entre tratamientos (Figura 2a). Las parcelas que recibieron la aplicación del fertilizante foliar con calcio en el momento fenológico de formación de las fructificaciones presentaron una mayor tasa de crecimiento durante el intervalo de tiempo entre R3 y R6 (duración aproximada de 20 días) con respecto al testigo (C0). En el tratamiento que recibió doble dosis de  $\text{Ca}^{2+}$  la tasa de crecimiento fue de  $1.53 \text{ g día}^{-1}$  en promedio, siendo superior en  $0.76 \text{ g día}^{-1}$  o sea un 42%, con respecto al tratamiento con dosis simple de calcio. Barber (1984) observó que la fertilización foliar produjo incrementos en la tasa de crecimiento del cultivo, como uno de los efectos positivos de la fertilización foliar.

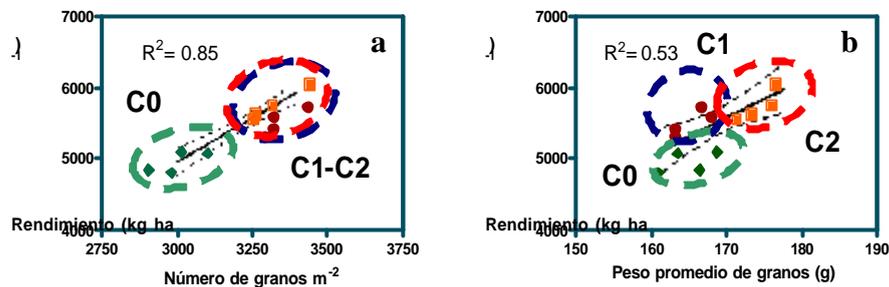
La tasa de crecimiento de la biomasa radicular no presentó diferencias estadísticas, pero se observa una tendencia en cuanto al incremento diferencial presentado en mayor proporción en los tratamientos con fertilización foliar respecto al testigo (Figura 2b). Sin embargo, Lund (1970) encontraron efectos significativos de la concentración de calcio y el pH del suelo, sobre la tasa de crecimiento de las raíces del cultivo de soja; esto fue debido a la presencia de valores de pH inferiores a cinco ( $\text{pH} < 5$ ) en el suelo.

El rendimiento promedio de todos los tratamientos analizados fue de  $5415 \text{ kg ha}^{-1}$ , a nivel de tratamientos, los rendimientos de las parcelas que fueron fertilizadas con simple ( $5526 \text{ kg ha}^{-1}$ ) y doble dosis ( $5773 \text{ kg ha}^{-1}$ ) de fertilizante foliar con calcio presentaron diferencias significativas ( $P < 0.05$ ) con respecto al tratamiento testigo ( $4947 \text{ kg ha}^{-1}$ ) en promedio.



**Figura 2.** Tasa de crecimiento de la Biomasa Aérea (a) y Radicular (b) en  $\text{mg día}^{-1}$  comprendida entre los momentos fenológicos de R3 y R6.

Los mayores rendimientos con la práctica de fertilización foliar reflejan las mayores tasas de crecimiento presentadas por estos tratamientos durante el período crítico del cultivo (R3-R6). Cuando se analizan los componentes del rendimiento por separado, se observa que el número de granos es el componente que mejor explica el rendimiento. Coincidente con lo observado por otros autores (Burton et al, 2000) quienes encontraron una mayor proporción de números de granos con incrementos variables de un 10 al 65% con respecto a los controles que no presentaban calcio. Los mayores rendimientos obtenidos con la mayor dosis (C2- $3.0 \text{ lts ha}^{-1}$ ), se diferenciaron estadísticamente respecto a la dosis simple (C1- $1.5 \text{ lts ha}^{-1}$ ), por el peso de los granos y no en el número de granos por metro cuadrado (Figura 3). A partir de esto se infiere que el calcio no sólo produce aumentos en el rendimiento, debido al incremento en la tasa de crecimiento en el período crítico de determinación del número de granos, sino que a mayores dosis se pueden incrementar el peso de los granos.



**Figura 3.** Rendimiento en kg por hectárea en función del número de granos por metro cuadrado (a) y peso promedio de granos (b) para los diferentes tratamientos: sin dosis de calcio (C0), simple dosis foliar (C1) y una doble dosis foliar (C2).

Incrementos en los pesos de los granos de un cultivo de soja con aplicación de una fertilización foliar con calcio y boro fueron hallados por Bevilaqua et al. (2002), debido a que estos nutrientes afectan la calidad fisiológica de las semillas producidas, y las mayores respuestas fueron observadas a partir de floración a post-floración. El incremento del peso de granos, pudo deberse a un aumento en la duración del llenado, consecuente de un aumento de la duración del área foliar, y/o un incremento en la tasa de acumulación debido a un efecto del calcio *per se*.

### Conclusiones

En cuanto a la eficiencia en la nodulación se observó que la aplicación del fertilizante foliar en base a calcio tuvo efectos en el número y peso de los nódulos, siendo este efecto de mayor importancia a medida que se incrementó la dosis del fertilizante. La tasa de crecimiento de la biomasa aérea del cultivo de soja durante el período de determinación del rendimiento presentó diferencias significativas entre tratamientos, incrementándose la acumulación de materia seca a medida que se utilizó la mayor dosis de calcio aplicado de manera foliar. La tasa de crecimiento de la biomasa radicular no presentó diferencias significativas entre tratamientos, pero se observó una tendencia de aumentos en la misma a mayores dosis de aplicación. Los tratamientos fertilizados se diferenciaron estadísticamente en sus rendimientos con respecto al control (sin fertilizar). En el análisis de componentes del rendimiento, los tratamientos con calcio se diferenciaron entre sí, sólo a través del peso de los granos, el cual fue mayor a la dosis más alta de fertilizante. El incremento del peso, se puede deber a un aumento en la duración y/o en la tasa del llenado de granos.

### Referencias Bibliográficas

- Barber S.A. 1984. Soil Nutrient Bioavailability. A Mechanistic Approach. John Wiley, New York.
- Burton M.G., Lauer M. J., McDonald M. B. 2000. Calcium Effects on Soybean Seed Production, Elemental Concentration, and Seed Quality. Crop Science. Volumen 40, 476-482.
- DeMooy C.J., Pesek J. 1969. Growth and yield of soybean lines in relation to phosphorus toxicity and phosphorus, potassium and calcium requirements. Crop Science. Volumen 9, 130-138.
- Fehr W.R., Caviness C.E. 1977. Stages of soybean development. Iowa Coop. Ext. Serv. Special Report. 80.
- INDEC. 2004. [www.indec.gov.ar](http://www.indec.gov.ar)
- Lowther W.L., Loneragan J.F. 1968. Calcium and nodulation in subterranean clover (*Trifolium subterraneum* L.). Plant Physiology. Volumen 43, 1362-1366.
- Lund Z.F. 1970. The effect of calcium and its relation to several cations in soybean root growth. Soil Science Society of American Journal. Volumen 34, 456-459.
- Malavolta E. 1976. Manual de química agrícola. São Paulo: Agronômica Ceres. 528-534.
- O'Hara G.W., Boonkerd N., Dilworth M.J. 1988. Mineral Constraints to nitrogen fixation. Plant and Soil. Volumen 108, 93-110.
- SAS Institute Inc. 1999 SAS/STAT Guide for personal computers, Version 8. Edition Cary NC: SAS Institute Inc.
- Racca R. 2003. Fijación Biológica de Nitrógeno. En: II Simposio de Fertilidad y Fertilización en Siembra Directa. XI Congreso Nacional de AAPRESID. Tomo 2, 197-208.