

INTEGRACIÓN DE INOCULACIÓN Y FERTILIZACIÓN CON MICROELEMENTOS

TRATAMIENTOS DE SEMILLA Y POR VÍA FOLIAR EN SOJA

Ing. Agr. (MSc) Gustavo N. Ferraris

INTA EEA Pergamino.

Av Frondizi km 4,5 (B2700WAA) Pergamino

ferraris.gustavo@inta.gob.ar

INTRODUCCIÓN

La práctica de la inoculación de semillas con productos de alta calidad y técnicas de inoculación apropiadas, en suelos con historia sojera y poblaciones naturalizadas de 10^2 a 10^5 rizobios g^{-1} suelo permite incrementos moderados de rendimientos del 5 al 10%, el "ahorro" del N mineral del suelo, 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, 2006; Peticari et al., 2003).

En cultivos de alto rendimiento o sobre suelos degradados los micronutrientes podrían limitar la producción de los cultivos de grano (Ferraris, 2012). El término "micronutriente" es utilizado en agricultura para denominar aquellos elementos esenciales para los cultivos, que se presentan en concentraciones extremadamente bajas en los suelos y tejidos vegetales (Torri et al., 2010). Para el caso de soja, existe evidencia de que Boro (B), Cobalto-Molibdeno (CoMo), Manganeseo (Mn) y Zinc (Zn) podrían ser potencialmente limitantes en la Región Pampeana Argentina (Ferraris et al., 2005; Ferraris, 2011, Fontanetto et al., 2006) y otras regiones del mundo (Scheid López, 2006; Prochnow, 2009)

Las deficiencias de micronutrientes se presentan en los cultivos por diferentes motivos: Concentraciones bajas en los suelos, niveles de pH que favorezcan el predominio de fracciones poco solubles o interacciones negativas entre elementos. También podrían ser favorecidas por situaciones de estrés como defoliaciones, sequías, presencia de enfermedades o secuencias intensivas de cultivos que generen una gran extracción de nutrientes.

El objetivo de este trabajo fue cuantificar el efecto sobre el crecimiento, la absorción de N y el rendimiento de un grupo de tratamientos de fertilización sobre semilla y por vía foliar en Soja. Hipotetizamos que los tratamientos aplicados sobre semilla o el canopeo del cultivo aumentan los rendimientos, logrando efectos aditivos cuando ambos se aplican de manera conjunta.

Palabras clave: *Soja, tratamientos de semilla, foliares, rendimiento.*

MATERIALES Y MÉTODOS

Se condujo un ensayo de campo en soja de primera, en la localidad de Wheelwright (Santa Fe). Se implantó sobre un suelo Serie Hughes (Argiudol típico, IP=100). La siembra se realizó el día 22 de noviembre, con la variedad DM 4214 RRSTS, en hileras espaciadas a 0,525 m y densidad de 35 plm^2 . El sitio experimental registra una rotación agrícola continua con varios cultivos de soja en la secuencia. Durante el ciclo se realizaron tres aplicaciones de Glifosato, y una aplicación de fungicida en R4. Se utilizaron insecticidas para prevenir el ataque de oruga bolillera y chinches. Las parcelas, de 12,6 m^2 , se mantuvieron totalmente libres de malezas y plagas.

El diseño del ensayo correspondió en ambos casos a bloques completos al azar con cuatro repeticiones y cuatro tratamientos. Los detalles del esquema evaluado se describen en la Tabla 1. Por su parte, el análisis del suelo de los sitios se presenta en la Tabla 2.

Tabla 1: *Tratamientos de nutrición sobre semilla y por vía foliar en Soja. Wheelwright, General López, campaña 2014/15.*

| Tr | Tratamientos biológicos | Tratamientos de semilla | Tratamientos foliares | Dosis semilla o foliar (ml/ha) | Tiempo de tratamiento |
|----|-------------------------|-------------------------|---|--|-------------------------|
| T1 | <i>Bradyrhizobium</i> | Testigo | Testigo | | |
| T2 | <i>Bradyrhizobium</i> | Nutrifer 202 | | 1 g/kg semilla | Semilla |
| T3 | <i>Bradyrhizobium</i> | | Nut Complejo Plus Nutrifer Nitrógeno | 2000 ml ha ⁻¹ 2000 ml ha ⁻¹ | V6 + R2 |
| T3 | <i>Bradyrhizobium</i> | Nutrifer 202 | Nut Complejo Plus Nutrifer Nitrógeno | 1 g/kg semilla 2000 ml ml ha ⁻¹ 2000 ml ml ha ⁻¹ | Semilla + V6 + R2 |

Tabla 2: *Análisis de suelo al momento de la siembra, promedio de cuatro repeticiones.*

| Sitio | Prof | pH | Materia Orgánica | N total | Fósforo disponible | N-Nitratos (0-20) cm | N-Nitratos suelo 0-60 cm | S-Sulfatos suelo 0-20 cm |
|-------|------|------------|------------------|---------|---------------------|----------------------|--------------------------|--------------------------|
| | | agua 1:2,5 | % | | mg kg ⁻¹ | ppm | kg ha ⁻¹ | kg ha ⁻¹ |
| WW | 0-20 | 5,8 | 2,77 | 0,139 | 10,7 | 12,9 | 66,3 | 8,3 |

Se recontaron plantas, y en el estado V3 se realizó una evaluación de infectividad, considerando infectivas aquellas plantas con más de tres nódulos activos y morfológicamente normales. En R4 se cuantificó el número de nódulos efectivos en raíz principal (RP) y raíz secundaria (RS), sobre cinco plantas de cada parcela. Posteriormente, se pesaron los nódulos y se determinó la distribución entre RP y RS. Cualitativamente, se evaluó su funcionalidad a través del color y su tamaño. En el mismo estado, se realizó una estimación indirecta del contenido de N por medio del sensor Green seeker, la cobertura mediante procesamiento con software específico de imágenes digitales, y el vigor a través de un índice cuantitativo de calidad del cultivo. La recolección se realizó con una cosechadora experimental automotriz. Sobre una muestra de cosecha se determinó la altura de las plantas, el número de vainas y los componentes del rendimiento, número (NG) y peso (PG) de los granos. Los resultados fueron analizados por partición de la varianza, comparaciones de medias y análisis de regresión.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A) CONDICIONES AMBIENTALES DURANTE LA CAMPAÑA

En la Figura 1 se presentan las precipitaciones determinadas en el sitio experimental y la evapotranspiración del cultivo, así como el balance hídrico decádico. La campaña se desarrolló bajo condiciones ambientales muy favorables, con precipitaciones abundantes y temperaturas moderadas. El balance hídrico no evidenció déficit en ningún estado fenológico (Figura 1).

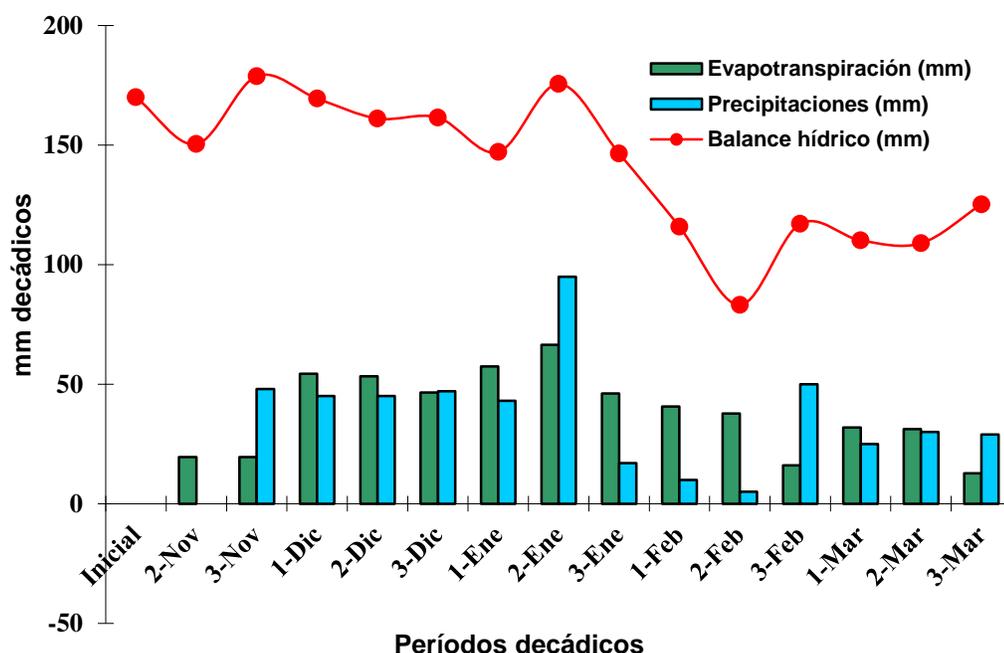


Figura 1: Precipitaciones, evapotranspiración y balance hídrico decádico considerando 2 m de profundidad. Wheelwright, campaña 2014/15. Precipitaciones totales en el ciclo 489 mm. AU inicial (180 cm) 170 mm. Déficit acumulado 0 mm.

B) RESULTADOS DEL EXPERIMENTO

Los datos de nodulación se presentan en la Tabla 3, mientras que las variables de cultivo cuantificadas en el experimento se encuentran en la Tabla 4.

Tabla 3: Infektividad, Nódulos x planta en raíz principal (NRP) y raíz secundaria (NRS), proporcionalidad en RP, funcionalidad determinada por coloración y tamaño de los nódulos. Tratamientos de fertilización sobre semilla y por vía foliar en soja. Wheelwright, campaña 2014/15.

| Trat | Tratamientos | Infektividad V3 | NRP | NRS | Tamaño | %RP |
|-------------------------------|--|-----------------|-------------|-------------|--------|-------------|
| T1 | Testigo | 100 | 20 | 25 | G | 50 |
| T2 | Nutrifer 202 (s) | 100 | 27 | 14 | G | 70 |
| T3 | Nutrifer Complejo Plus + Nitrógeno (f) | 100 | 35 | 15 | GG | 75 |
| T4 | Nutrifer 202 (s) Nutrifer Complejo Plus + Nitrógeno (f) | 100 | 18 | 3 | MdG | 75 |
| R ² vs rendimiento | | ----- | 0,01 | 0,94 | | 0,88 |

V3: Estado de 3 hojas expandidas. Nódulos rojos indica funcionales

Coloración nódulos: r: rojo, v: verde

M: nódulos medianos. G: nódulos grandes, GG: nódulos muy grandes.

Tabla 4: Densidad, cobertura e intercepción, índice verde (Green seeker), número de nudos y vainas, rendimiento de grano, componentes y respuesta sobre el testigo. Tratamientos de fertilización sobre semilla y por vía foliar en soja. Wheelwright, campaña 2014/15.

| Trat. | Plantas m ⁻² 10 dds | Intercepción R4 | Green Seeker R4 | Nudos/planta | Vainas/planta | Rendimiento (kg ha ⁻¹) | NG | PG | Dif. sobre T1 (kg ha ⁻¹) |
|--------------------|-----------------------------------|-----------------|-----------------|--------------|---------------|------------------------------------|------|-------|--------------------------------------|
| T1 | 32,4 | 96,0 | 0,878 | 14,0 | 46 | 4421 | 2420 | 182,7 | 0 |
| T2 | 32,4 | 98,5 | 0,875 | 14,0 | 50 | 4730 | 2590 | 182,7 | 309 |
| T3 | 28,6 | 94,2 | 0,875 | 14,0 | 45 | 4756 | 2603 | 182,7 | 335 |
| T4 | 40,0 | 96,0 | 0,875 | 14,0 | 47 | 4929 | 2698 | 182,7 | 508 |
| R2 vs rend | 0,24 | 0,00 | 0,82 | ----- | 0,04 | | 1,00 | 0,48 | |
| Fertilización (P=) | | | | | | 0,52 | | | |
| CV (%) | | | | | | 9,98 | | | |

V3: Estado de 3 hojas expandidas, R4 (vaina de máximo tamaño) y R5,5 (granos a mitad de llenado) de acuerdo a la escala de Fehr y Caviness, 1974.

Índice de Vigor: Según escala 1: mínimo – 5: máximo. Evalúa Sanidad, tamaño de planta y uniformidad de las parcelas.

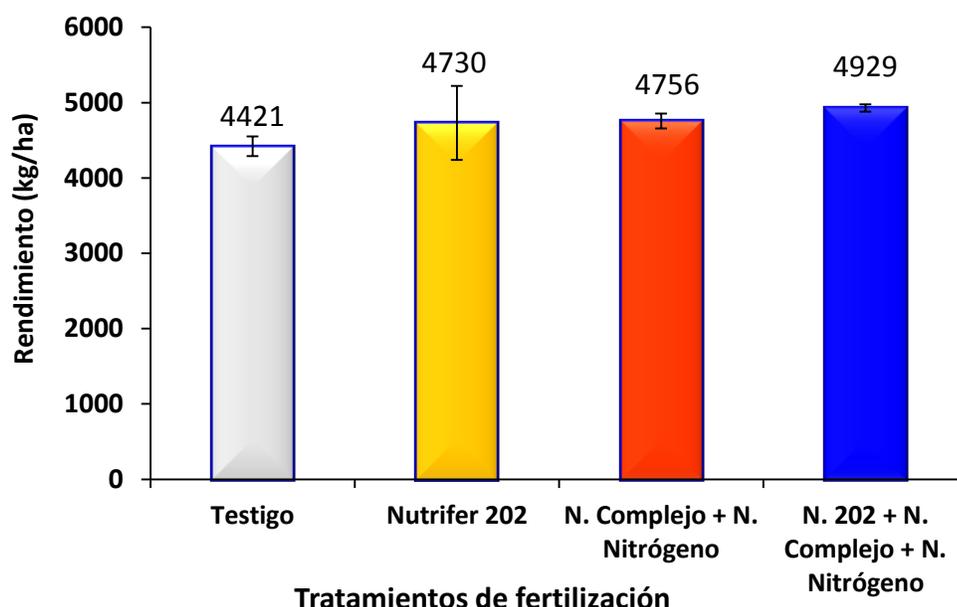


Figura 2: Rendimiento de grano según la combinación de tratamientos sobre semilla y canopeo en soja. Wheelwright, campaña 2014/15. Las barras de error indican la desviación standard de la media.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

* Las condiciones ambientales fueron favorables para la FBN y los rendimientos, alcanzando productividad media de 4709 kg ha⁻¹ (rango 4421 a 4929 kg ha⁻¹).

* Se determinaron efectos que si bien no alcanzaron la significancia estadística (P=0,52; cv=9,98%), fueron relevantes en cuanto a su magnitud e importancia agronómica (Tabla 4).

* Los tratamientos de semilla (T2) y foliares (T3) produjeron efectos equivalentes. La integración de ambos (T4) permitió alcanzar el rendimiento máximo, aunque el incremento total sobre el testigo estuvo por debajo de la sumatoria de los efectos de cada uno de ellos por separado (Figura 2).

* Las variables que presentaron mayor asociación con los rendimientos fueron NG (R²=1,00), N° nódulos en Raíz secundaria (R²=0,94), Índice verde por Green seeker (R²=0,82) y PG (R²=0,48) (Tabla 4).

* Los resultados obtenidos permiten aceptar parcialmente las hipótesis propuestas: Se determinaron incrementos de rendimiento - a modo de tendencia - por la aplicación de tratamientos de semilla o foliares, sin lograr jerarquizar uno sobre otro. Si bien la aplicación conjunta de ambos tratamientos maximizó el rendimiento, no llegó a la magnitud de aditividad completa.

LITERATURA CITADA

- Fancelli, AL. 2006. Micronutrientes en la fisiología de las plantas. Pp 11-27. En: M Vázquez(ed). Micronutrientes en la agricultura. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires, Argentina. 207pp.
- Fehr W.R. and C.E. Caviness 1977. Stages of Soybean Development. Iowa St. Univ. Special Report 80. 11 p
- Ferraris, G., L. Couretot y J. Urrutia. 2010. Tecnologías para la aplicación de microelementos en maíz. Dosis y sistemas de aplicación de Zn en combinación con fuentes nitrógeno-azufradas. V Jornada de Maíz. AIANBA-INTA EEA Pergamino. 11p.
- Ferraris, G.N. 2011a Microelementos en cultivos extensivos. Necesidad actual o tecnología para el futuro? pp 121-133. En: Actas del Simposio Fertilidad 2011. "La Nutrición del cultivo integrada al Sistema de Producción". IPNI Cono Sur-Fertilizar Asociación Civil. 269 pp.
- Ferraris, G. 2012.a. Avances en micronutrientes en la región pampeana. Pp 124-135. Simposio FERTILIDAD 2013. Nutrición de Cultivos para la Intensificación Productiva Sustentable. IPNI Cono Sur. 314 pp.
- Ferraris, G. 2012.b. Zinc y otros microelementos en Maíz. Jornada de Maíz. INTA EEA Marcos Juárez. 5 de Julio de 2012. 8pp.
- Ferraris, G., L. Couretot. 2014. Fertilización con Zinc en maíz de siembra tardía. Informe de resultados. 6 pp.
- Gupta, UC; Jame, YW; Campbell, CA; Leyshon, AJ & W Nicholaichuck. 1985. Boron toxicity and deficiency: a review. Can. J. Soil Sci. 65: 381-409.
- Lavado, R. 2006. La región Pampeana: Historia, características y uso de sus suelos. En: Materia Orgánica "Valor Agronómico y Dinámica en Suelos Pampeanos" (ed. R Álvarez). Editorial. Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires. p. 1-12.
- Lavado R.S. y C.A. Porcelli. 2000. Contents and main fractions of trace elements in Typic Argiudolls of the Argentinean Pampas. Chemical Speciation and Bioavailability. 12(2): 67-70.
- Lindsay, WL. 1997. Inorganic equilibria affecting micronutrients in soils. En: Micronutrients In Agriculture. (ed. Mortvedt, Cox, Shuman & Welch). Soil Science Society of America, 677 S. Segoe., Madison, WI, USA. pp 89 111
- Melgar, R. 2005. El mercado de fertilizantes en la Argentina y su relación con el sector agropecuario. En: Fertilidad de Suelos y Fertilización de Cultivos (ed HE Echeverría & FO García). Ediciones INTA, Buenos Aires, Argentina. p. 489-502.
- Moralejo M. del P. y S. G. Acebal. 2010. Determinación del contenido de Cu y Zn en suelos del sudoeste bonaerense. XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Rosario. Actas en CD, 4pp.
- Ratto de Miguez, S & N Fatta. 1990. Disponibilidad de micronutrientes en suelos del área maicera núcleo. Ciencia del Suelo. 8: 9-15.
- Raza, M., Mermut, A, R., Schoenau, J, J, and Malhi, S, S, 2002, Boron fractionation in some Saskatchewan soils. Can. J. Soil Sci. 82: 173-179,
- Ritchie, S. and J. Hanway. 1993. How a Corn Plant Develops. Special Report No. 48. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service Ames, Iowa. www.iastate.edu
- Rivero, E, Cruzate, GA & R Turati. 2008. Azufre, boro y zinc: mapas de disponibilidad y reposición en suelos de la Región Pampeana. XXI Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Potrero de los Funes, San Luis. Actas en CD, 5pp.
- Sainz Rozas, H.R.; Echeverría H.E.; Eyherabide, M.; Barraco, M.; Ferraris H.G.; Angelini H.P. 2012. Niveles de boro disponible en suelos de la Región Pampeana Argentina. XIX Congreso Latinoamericano de la Ciencia del Suelo. Mar del Plata, Argentina. 6 pp
- Scheid López, A. 2006. Micronutrientes: La experiencia brasilera. Filosofía de aplicación y eficiencia agronómica. Pp 29-78. En: M Vázquez(ed). Micronutrientes en la agricultura. Asociación Argentina de la Ciencia del Suelo. Buenos Aires, Argentina. 207pp.

- Sfredo G, Borkert C, Lantmann A, Meyer M, Mandarino J, Oliveira M. 1997. Molibdênio e cobalto na cultura da soja. EMBRAPA-CNPSO. Circular Técnica 16. Londrina, Paraná, Brasil, 16p.
- Sid Ahmed A, Ezziyyani M, Pérez Sánchez C & Candela ME. 2003. Effect of chitin on biological control activity of *Bacillus* spp. and *Trichoderma harzianum* against root rot disease in pepper (*Capsicum annuum*) plants. *European Journal of Plant Pathology* 109: 418-426.