

FERTILIZACIÓN CON ZINC BAJO DIFERENTES ESCENARIOS DE FERTILIDAD NITROGENADA EN MAÍZ DE SIEMBRA TEMPRANA

Ings. Agrs. Gustavo N. Ferraris¹ (MSc), Florencia Missart², Fabio Prats³

1. INTA EEA Pergamino. Av Frondizi km 4,5 B2700WAA Pergamino 2. Compo Argentina SRL

3. Rizobacter Argentina SA

ferraris.gustavo@inta.gob.ar

La Región Pampeana Argentina ha sufrido un deterioro en la fertilidad de los suelos. Las estrategias de fertilización bajo el criterio de suficiencia arrojan un balance de nutrientes negativo en términos físicos y económicos. El Zinc (Zn) es uno de los elementos esenciales. La deficiencia se asocia a suelos arenosos de baja CIC, primaveras frías, dosis elevadas de fósforo en línea de siembra y baja concentración en el suelo, siendo el maíz especialmente sensible a su deficiencia. La carencia de alguno de los elementos principales podría condicionar la respuesta a los restantes. En General Gelly, sur de Santa Fe, se condujo un experimento sobre un sitio erosionado, con historia de monocultivo y baja fertilidad en el que se estudiaron estrategias de fertilización con Zn al suelo o con dosis crecientes por vía foliar, en combinación con 4 niveles de N, permitiendo estudiar los efectos principales y la interacción NxZn en un diseño factorial 7x4. Se determinaron diferencias significativas entre tratamientos de fertilización complementaria ($P=0,000$) y dosis de N ($P=0,000$). No se verificó interacción ZnxDosisN ($P>0,10$), aun cuando la respuesta a Zn fue superior en niveles moderados de N100, en comparación con los extremos (N0-150). La aplicación de Zn aumentó los rendimientos bajo diferentes formas de aplicación. Entre las aplicaciones foliares, la dosis de $0,4 \text{ kg ha}^{-1}$ fue suficiente para alcanzar el rendimiento máximo. La dosis de $0,8 \text{ kg ha}^{-1}$ no evidenció fitotoxicidad, pero tampoco contribuyó a mayores rendimientos. Los resultados permiten aceptar la hipótesis que propone respuesta a los tratamientos con Zn. Las aplicaciones foliares maximizaron la respuesta en dosis menores en comparación con los tratamientos al suelo, pero no se verificaron diferencias significativas entre ambos sistemas. El estudio de la respuesta a nutrientes no tradicionales, su diagnóstico y tecnología de aplicación, constituyen un aporte relevante para nuestros sistemas de cultivo.

Palabras clave: *micronutrientes, interacción zinc x nitrógeno, tecnología de aplicación.*

INTRODUCCIÓN

La región Pampeana Argentina ha sufrido un progresivo deterioro en la fertilidad de sus suelos a lo largo de su historia agrícola (Gutiérrez Boem et al., 2010). Las estrategias de fertilización bajo el criterio de suficiencia comúnmente adoptadas en la mayor parte de los sistemas productivos arrojan un balance de nutrientes negativo en términos físicos y económicos (Ferraris et al., 2015). La carencia de alguno de los elementos principales como nitrógeno (N) o fósforo (P) podría condicionar la respuesta a los restantes (Ferraris et al., 2010).

El Zinc (Zn) es uno de los trece elementos considerados esenciales (Marschner, 1992). Su función principal es la de activador enzimático, catalizando innumerables reacciones en procesos metabólicos como la respiración, la síntesis de clorofila y proteínas. Es además precursor del triptófano y el ácido indol acético (Fancelli, 2006). La deficiencia se asocia con la presencia de suelos arenosos de baja CIC, primaveras frías y dosis elevadas de fertilizante fosforado en la línea de siembra, al presentar un antagonismo a nivel de superficie radicular con este elemento (Scheid López, 2006). Se identifica por la aparición de bandas longitudinales blanquecinas. En casos severos, pueden aparecer plantas más pequeñas, entrenudos cortos y agrupamiento de hojas formando una roseta en la porción terminal (Fancelli, 2006). Considerando solamente los cultivos extensivos, cerca de 11,9 millones de hectáreas estarían afectadas por deficiencias de Zn y Cu (Melgar, 2005). Moralejo y Acebal (2010) y Barbieri et al, (2015) observaron que en reiterados casos los tenores de Zn disponible se encuentran por debajo de límites críticos sugeridos por Ferraris (2013) para la Región Pampeana. En un relevamiento reciente de los niveles de Zn y B en suelos de

aptitud agrícola de la región pampeana, Sainz Rozas et al. (2012) determinaron que los niveles de Zn bajo agricultura han disminuido notablemente (65 al 74%, respecto de la condición prístina), encontrándose cercanos a los umbrales de deficiencia mencionados en la bibliografía. El cultivo de maíz presenta requerimientos totales de Zn que casi duplican al de los restantes cultivos, siendo la especie que ha mostrado respuestas positivas a su agregado con mayor frecuencia. De este modo, el Zn en el área de estudio se ubica como el cuarto elemento en importancia para la nutrición del maíz, luego de N, P y azufre (S).

El objetivo de este trabajo de investigación fue 1. Evaluar los efectos sobre los rendimientos y otros parámetros de cultivo de la aplicación de dosis crecientes de Zn por vía foliar en maíz, en comparación con tratamientos al suelo 2. Estudiar la interacción entre Zn y N.

Palabras clave: *micronutrientes, interacción zinc x nitrógeno, tecnología de aplicación.*

MATERIALES Y MÉTODOS

Se implantó un experimento de campo en la localidad de General Gelly, sobre un suelo Serie Peyrano, Argiudol Vértico (USDA- Soil Taxonomy V. 2006), capacidad de uso: II; IP=77. El ensayo se sembró el día 22 de Setiembre, y fue espaciado a 0,525 m entre hileras, a una densidad de 75000 pl/ha. El cultivar sembrado fue AW 190VT3P.

El diseño del ensayo correspondió a bloques completos al azar con 2 repeticiones y 28 tratamientos que surgen de la interacción de 2 factores: 7 tratamientos de fertilización complementaria y 4 niveles de N. Todas las parcelas fueron fertilizadas a la siembra con igual dosis de P y S. Los tratamientos se detallan en la Tabla 1.

Tabla 1: *Tratamientos evaluados de la interacción entre Dosis de N (4) y tratamientos de fertilización complementaria con N y Zn en maíz. General Gelly. Campaña 2014/15.*

| Nº | Tratamientos de fertilización | Dosis | Estadio de aplicación | Dosis de Nitrógeno Inicial | | | |
|----|-------------------------------|-------------------------|-----------------------|----------------------------|------|------|------|
| | | | | N0 | N100 | N150 | N200 |
| T1 | Testigo (MAP) | 77 kg ha ⁻¹ | | X | X | X | X |
| T2 | MesZ | 100 kg ha ⁻¹ | Siembra | X | X | X | X |
| T3 | MAP + Basfol 10 N | 77+0,3 kgN | Siembra + foliar V5 | X | X | X | X |
| T4 | MAP + Basfoliar Zn | 77+0,2 kgZn | | X | X | X | X |
| T5 | MAP + Basfoliar Zn | 77+0,4 kgZn | | X | X | X | X |
| T6 | MAP + Basfoliar Zn | 77+0,6 kgZn | | X | X | X | X |
| T7 | MAP + Basfoliar Zn | 77+0,8 kgZn | | X | X | X | X |

V5 (estado de cinco hojas expandidas), de acuerdo a la escala de Ritchie & Hanway, 1982.

Tabla 2: *Análisis de suelo al momento de la siembra*

| Sitio | pH | | Materia Orgánica | N total | Fósforo disponible | N-Nitratos (0-40) cm | N-Nitratos suelo 0-60 cm | S-Sulfatos suelo 0-20 cm |
|----------|------------|---------|------------------|---------|---------------------|----------------------|--------------------------|--------------------------|
| | agua 1:2,5 | | % | | mg kg ⁻¹ | ppm | kg ha ⁻¹ | ppm |
| G. Gelly | 5,8 | | 2,43 | 0,121 | 11,1 | 16,2 – 8,1 | 73,6 | 7,4 |
| | Magnesio | Potasio | Calcio | Zn | Manganeso | Cobre | Hierro | Boro |

| | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm |
|----------|-----|-----|------|------|------|------|------|-----|
| G. Gelly | 195 | 469 | 1461 | 0,51 | 44,4 | 1,37 | 55,9 | 0,5 |

Las aplicaciones de fertilizante foliar fueron realizadas con mochila manual de presión constante. La misma contaba con un botallón aplicador de 200 cm provisto de 4 picos a 50 cm y pastillas de cono hueco 80015 que permiten asperjar 100 l ha⁻¹. En la floración se midió el número de hojas fotosintéticamente activas, el vigor e intensidad de verde medida por Green seeker. A cosecha se determinaron los componentes del rendimiento, número (NG) y peso (P1000) de los granos. La cosecha se realizó en forma manual, con trilla estacionaria de las muestras. Para el estudio de los resultados se realizaron análisis de la varianza y comparaciones de medias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Descripción climática de la campaña

En la Figura 1 se presentan las precipitaciones, evapotranspiración y balance hídrico del sitio durante el ciclo de cultivo. El ciclo agrícola 2014/15 se caracterizó por la oferta de precipitaciones abundantes y bien distribuidas, configurando un escenario favorable para los maíces de fecha de siembra tradicional, que fueron acompañados por temperaturas moderadas y una razonable heliofanía y cociente fototermal para un año húmedo que no pareció afectar los rendimientos (Figura 2).

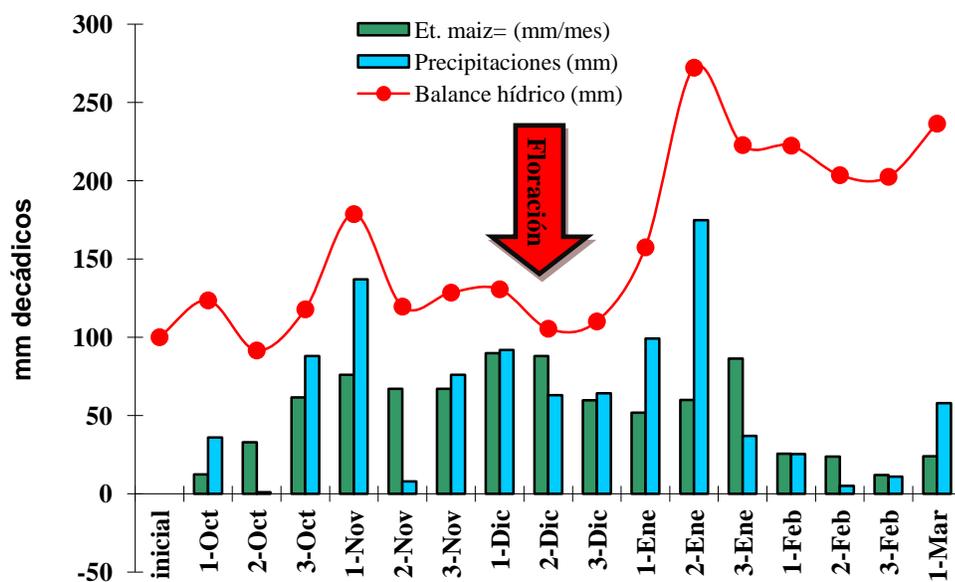


Figura 1: Precipitaciones, evapotranspiración y balance hídrico decádico acumulados (mm) en el sitio experimental. General Gelly, Santa Fe. Agua disponible inicial en el suelo (140 cm) 100 mm. La flecha indica la floración. Precipitaciones totales en el ciclo 901,7 mm. Déficit acumulado de evapotranspiración 0 mm.

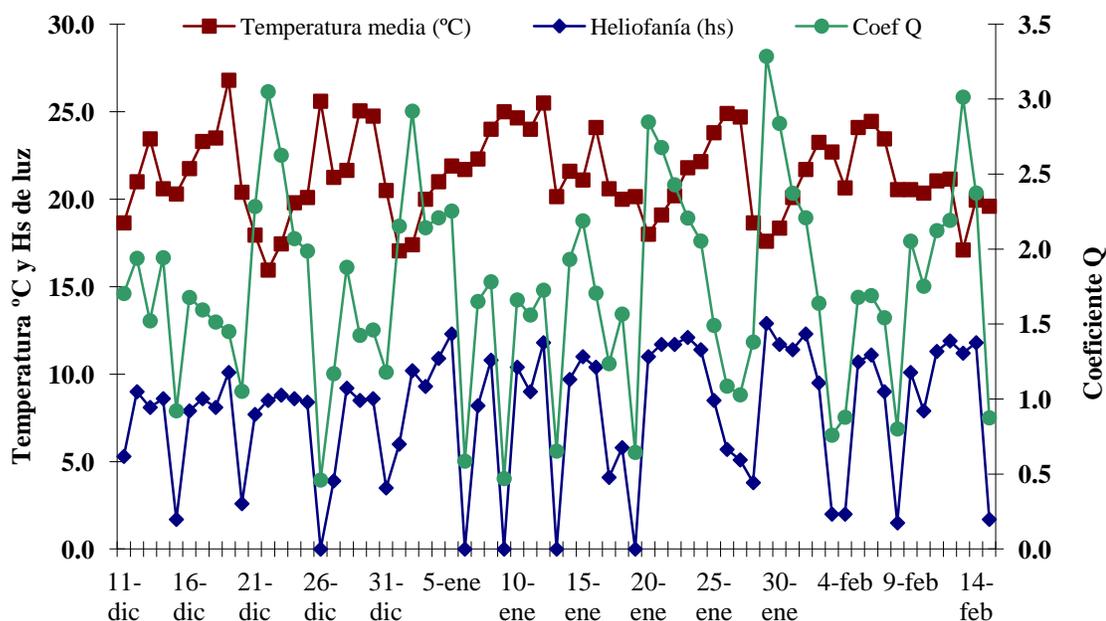


Figura 2: Insolación (en hs y décimas de hora) y temperatura media (°C) diaria para el período 10 de Diciembre – 10 de Febrero, en el transcurso del cual se ubicó la etapa crítica de la floración y buena parte del llenado de los granos. Datos tomados de la estación meteorológica de la EEA INTA Pergamino, (Bs As), campaña 2014/15.

Resultados del experimento

En la Tabla 3 se presentan los parámetros morfológicos y fisiológicos de cultivo así como los componentes del rendimiento, mientras que en la Figura 3 se presentan los rendimientos y su significancia estadística.

Tabla 3: Parámetros morfológicos de cultivo durante el período crítico: hojas fotosintéticamente activas, índice de vigor, intercepción, intensidad de verde determinado mediante Green seeker y componentes numéricos del rendimiento. Tratamientos de aplicación foliar con fuentes desarrolladas y experimentales en Maíz. Pergamino, campaña 2014/15.

| Dosis N | Trat | Descripción | Hojas activas R2 | Vigor R2 | Cobertura Intercepción (%) | Green seeker | Rendimiento (kg ha ⁻¹) | Res puesta (kg ha ⁻¹) | NG/m ² | PG (g) |
|---|------|------------------------|------------------|-------------|----------------------------|--------------|------------------------------------|-----------------------------------|-------------------|-------------|
| N0 | T1 | Testigo (MAP) | 9,0 | 2,5 | 80 | 0,80 | 7619 | 0 | 2721,1 | 280 |
| N0 | T2 | MesZ 100 | 9,5 | 2,8 | 82 | 0,81 | 7810 | 191 | 3200,6 | 244 |
| N0 | T3 | MAP + Basfol 10 N | 10,0 | 2,7 | 81 | 0,82 | 7429 | -190 | 3044,5 | 244 |
| N0 | T4 | MAP + Basfoliar Zn 0,2 | 11,0 | 3,0 | 80 | 0,81 | 10048 | 2429 | 3971,4 | 253 |
| N0 | T5 | MAP + Basfoliar Zn 0,4 | 10,0 | 3,2 | 82 | 0,81 | 9714 | 2095 | 3948,9 | 246 |
| N0 | T6 | MAP + Basfoliar Zn 0,6 | 11,0 | 3,2 | 80 | 0,82 | 8857 | 1238 | 3721,5 | 238 |
| N0 | T7 | MAP + Basfoliar Zn 0,8 | 10,5 | 3,1 | 81 | 0,82 | 8238 | 619 | 3404,2 | 242 |
| N100 | T1 | Testigo (MAP) | 10,0 | 2,8 | 90 | 0,82 | 8571 | 0 | 3198,3 | 268 |
| N100 | T2 | MesZ 100 | 11,0 | 3,0 | 92 | 0,82 | 8952 | 381 | 3639,2 | 246 |
| N100 | T3 | MAP + Basfol 10 N | 12,0 | 2,9 | 90 | 0,83 | 10143 | 1572 | 2794,2 | 363 |
| N100 | T4 | MAP + Basfoliar Zn 0,2 | 11,0 | 3,1 | 93 | 0,85 | 10952 | 2381 | 4363,5 | 251 |
| N100 | T5 | MAP + Basfoliar Zn 0,4 | 12,0 | 3,0 | 92 | 0,82 | 10857 | 2286 | 4066,3 | 267 |
| N100 | T6 | MAP + Basfoliar Zn 0,6 | 12,0 | 3,4 | 90 | 0,83 | 11619 | 3048 | 4271,7 | 272 |
| N100 | T7 | MAP + Basfoliar Zn 0,8 | 12,0 | 3,3 | 91 | 0,83 | 11810 | 3239 | 4577,3 | 258 |
| N150 | T1 | Testigo (MAP) | 12,0 | 3,2 | 95 | 0,83 | 10286 | 0 | 3823,7 | 269 |
| N150 | T2 | MesZ 100 | 11,0 | 3,3 | 97 | 0,83 | 11190 | 904 | 4069,3 | 275 |
| N150 | T3 | MAP + Basfol 10 N | 12,0 | 3,2 | 95 | 0,84 | 11000 | 714 | 3806,2 | 289 |
| N150 | T4 | MAP + Basfoliar Zn 0,2 | 12,0 | 3,5 | 95 | 0,83 | 12095 | 1809 | 4366,5 | 277 |
| N150 | T5 | MAP + Basfoliar Zn 0,4 | 12,5 | 3,4 | 95 | 0,84 | 12381 | 2095 | 4502,2 | 275 |
| N150 | T6 | MAP + Basfoliar Zn 0,6 | 12,0 | 3,5 | 95 | 0,85 | 11476 | 1190 | 4363,6 | 263 |
| N150 | T7 | MAP + Basfoliar Zn 0,8 | 12,0 | 3,4 | 96 | 0,85 | 12143 | 1857 | 4245,8 | 286 |
| N200 | T1 | Testigo (MAP) | 12,0 | 3,5 | 94 | 0,85 | 10714 | 0 | 3669,3 | 292 |
| N200 | T2 | MesZ 100 | 12,5 | 3,5 | 93 | 0,85 | 13524 | 2810 | 4745,2 | 285 |
| N200 | T3 | MAP + Basfol 10 N | 12,5 | 3,4 | 95 | 0,86 | 9429 | -1285 | 4012,2 | 235 |
| N200 | T4 | MAP + Basfoliar Zn 0,2 | 12,0 | 3,5 | 95 | 0,85 | 9238 | -1476 | 3121,0 | 296 |
| N200 | T5 | MAP + Basfoliar Zn 0,4 | 12,5 | 3,6 | 96 | 0,86 | 10762 | 48 | 3871,2 | 278 |
| N200 | T6 | MAP + Basfoliar Zn 0,6 | 12,5 | 3,7 | 95 | 0,86 | 11714 | 1000 | 4387,4 | 267 |
| N200 | T7 | MAP + Basfoliar Zn 0,8 | 12,5 | 3,6 | 96 | 0,85 | 10524 | -190 | 3616,4 | 291 |
| Correlación (r² vs rendimiento) | | | 0,58 | 0,51 | 0,46 | 0,33 | | | 0,72 | 0,11 |
| Fertilización complementaria (P=) | | | | | | | 0,000 | | | |
| Dosis N (P=) | | | | | | | 0,000 | | | |
| Interacción N x Tratamiento (P=) | | | | | | | P>0,10 | | | |

Índice de Vigor: 1 mínimo 5-máximo

R2 Corresponde a los estados de cuajado de grano.

Los rendimientos lograron un promedio de 10325 kg ha⁻¹ con un máximo de 13524 kg ha⁻¹ y mínimo de 7619 kg ha⁻¹ (Tabla 3). Los rendimientos medios no fueron excesivamente altos considerando el buen año climático, sin embargo la baja fertilidad del sitio y la dosis de N0 de un grupo de tratamientos resultaron en una amplia brecha entre los máximos y mínimos.

El sitio evidenció una acentuada carencia de N y Zn, teniendo en cuenta los niveles en el suelo (Tabla 2) y la sintomatología que podía visualizarse especialmente en los tratamientos testigo (Figura 4). Se determinaron diferencias significativas entre tratamientos de fertilización complementaria (P=0,000) (Figura 3.a) y dosis de N (P=0,000) (Figura 3.b). Por el contrario, no se verificó interacción Dosis de N x Tratamientos de fertilización (P>0,10), aun cuando la respuesta a Zn fue superior en niveles moderados de N (N100), en comparación con los extremos (Tabla 3). En niveles muy bajos (N0), este nutriente condicionaría la respuesta a Zn. Por el contrario, cuando la dosis de N es muy elevada, la saturación podría disipar las mejoras en su eficiencia de uso

derivadas de una nutrición más balanceada. Los componentes de rendimiento que explicaron en mayor medida la respuesta fueron NG, hojas activas, vigor y cobertura en floración (Tabla 3).

La aplicación de Zn aumentó los rendimientos bajo diferentes formas de aplicación (Figura 3.a). Entre las aplicaciones foliares, la dosis de 0,4 kg ha⁻¹ fue suficiente para alcanzar el rendimiento máximo. La dosis de 0,8 kg ha⁻¹ no evidenció fitotoxicidad luego de la aplicación, pero tampoco contribuyó a mayores rendimientos (Figura 3.a). Las diferencias obtenidas por la aplicación de Zn se explican a partir del bajo nivel de este elemento contenido en el suelo (0,51 mg kg⁻¹ en 0-20 cm) sumado a un limitado contenido de MO que limita sus aportes por mineralización durante el ciclo. Por su parte, el rendimiento máximo se obtuvo con la dosis de 150 kgN ha⁻¹ (Figura 3.b).

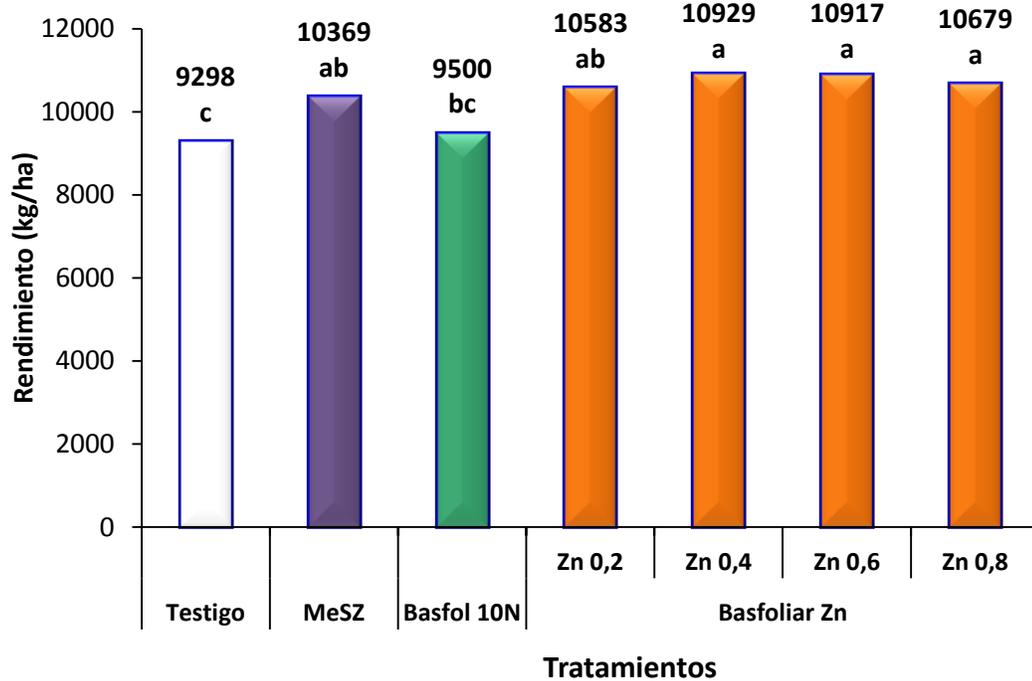


Figura 3.a

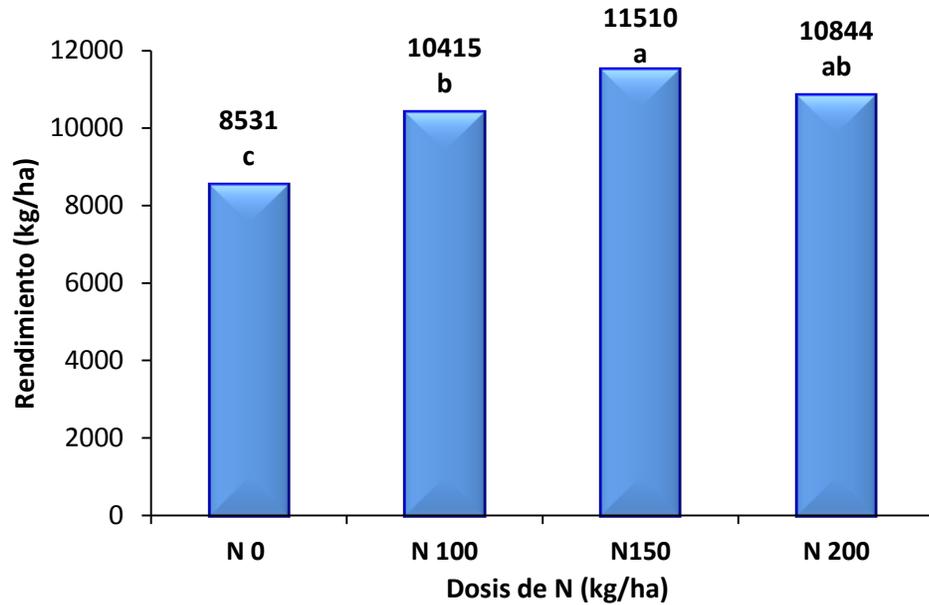


Figura 3.b

Figura 3: Producción media de maíz según a) tratamientos de fertilización foliar y al suelo con Zinc. b) dosis de N inicial aplicado al suelo. General Gelly, maíz de siembra temprana, ambiente de fertilidad media. Año 2014/15. Letras distintas sobre las columnas indican diferencias significativas entre tratamientos.



Figura 4: Síntomas de carencias de Zinc en maíz temprano en General Gelly, durante la campaña 2014/15.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos permiten aceptar la hipótesis 1 que propone respuesta a los tratamientos con Zn. Las aplicaciones foliares permitieron maximizar la respuesta en dosis menores en comparación con los tratamientos al suelo, sin embargo no se verificaron diferencias significativas entre ambos sistemas. La hipótesis 2 no es aceptada. No se demostró interacción estadística Zn x N,

aun cuando la respuesta máxima se obtuvo con niveles moderados de N, disminuyendo hacia los extremos.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

- Barbieri, P; H. Sainz Rozas, H. Echeverría, F. Salvagiotti, P. Barbagelata, M. Barraco, J. Colazo, G. Ferraris, H. Sánchez, R. Cáceres Díaz, N. Reussi Calvo, G. Esposito, M. Eyherabide y B. Larsen. 2015 ¿El análisis de suelo permite diagnosticar la deficiencia de cinc en el cultivo de maíz? pp 203-207. En: Actas Simposio de Fertilidad 2015. Nutriendo los suelos para las generaciones del futuro. 252 pp.
- 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.
- Gutiérrez Boem F., F. García, y M. Boxler. 2010 ¿Qué tan distintos son los niveles críticos de fósforo disponible para soja, maíz y trigo? En: Actas XXII Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo. Fertilidad de Suelos y Nutrición Vegetal. Rosario, Santa Fe.
- Ferraris, G. 2013. Avances en micronutrientes en la región pampeana. Pp124-135. Simposio FERTILIDAD 2013. Nutrición de Cultivos para la Intensificación Productiva Sustentable. IPNI Cono Sur. 314 pp.
- 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., M. Toribio, R. Falconi y L. Couretot. 2015. Efectos de diferentes estrategias de fertilización sobre los rendimientos, el balance de nutrientes y su disponibilidad en los suelos en el largo plazo. En: Actas Simposio Fertilidad 2015. "Nutriendo los suelos para las generaciones del futuro". 137-142.
- Marschner, H.E. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Second edition. Academic Press, London/San Diego/New York/Boston/Sydney/Tokyo, 889 p.
- 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.
- Ritchie S.W., y J.J. Hanway. 1982. How a corn plant develops. Iowa State Univ. Special Report 48.
- Weiss, M.; Baret, F.; Smith, G.J.; Jonckheered, I. and Coppin, P. 2004. Review of methods for in situ leaf area index determination, part II: Estimation of LAI, errors and sampling. Agric. and For. Met., 121: 37-53.
- Sainz Rozas, H.R.; Echeverria H.E; Eyherabide, M.; Barraco, M.; Ferraris H.G.; Angelini H.P. 2012. Niveles de zinc 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.