

TECNOLOGÍAS PARA LA APLICACIÓN DE MICROELEMENTOS EN MAÍZ. DOSIS Y SISTEMAS DE APLICACIÓN DE ZINC EN COMBINACIÓN CON FUENTES NITROGENO-AZUFRADAS



CAMPAÑA 2008/09

Ings. Agrs. Gustavo N. Ferraris y Lucrecia A. Couretot

nferraris@pergamino.inta.gov.ar

Introducción:

El uso de micronutrientes ha despertado un creciente interés en productores y asesores, debido a la aparición de casos en los que ha permitido corregir deficiencias nutrimentales de las plantas, promover un buen desarrollo de los cultivos, y mejorar el rendimiento y la calidad del producto cosechado (Trinidad y Aguilar, 1999). En la Región Pampeana Argentina son reiterados los casos en los que se han documentado respuestas positivas a su aplicación, siendo los más frecuentes el de zinc (Zn) y boro (B) en maíz, B en soja y, últimamente, otros elementos como cobalto (Co), molibdeno (Mo) y manganeso (Mn) en soja. Estos nutrientes pueden ser agregados de diversas maneras, i.e. sobre semilla, al suelo y, más frecuentemente, por vía foliar.

Una estrategia de fertilización apropiada requiere de un diagnóstico preciso, una aplicación adecuada y un cultivo con elevada potencialidad de respuesta. En la actualidad, se han dado diversas condiciones que permiten realizar un diagnóstico más certero acerca de las expectativas de respuesta a la fertilización con microelementos. Estas incluyen la mayor difusión de análisis de suelo y tejido (Martens y Westermann, 1991), la observación de síntomas visuales a campo, y un conocimiento más amplio acerca de eventuales deficiencias regionales (Ferraris et al., 2007), notables avances acerca del rol de los nutrientes en la respuesta de las plantas a condiciones de estrés (Yuncaí et al., 2008) y herramientas de medición que permiten detectar pequeñas diferencias de rendimiento a nivel de campo (Reetz, 1996; Mallarino et al., 1998).

Algunas condiciones de cultivo favorecen la aparición de respuesta, como la remoción de microelementos a través de secuencias agrícolas que ya suman muchos años, fertilizantes tradicionales con mayor pureza, carencias inducidas por alta fertilización con NPS y menor contenido de elementos menores, a la vez de una demanda incrementada por mayores rendimientos (Girma et al, 2007).

Los objetivos de este experimento fueron 1. Evaluar la respuesta del Maíz a la fertilización con Zinc y 2. Comparar dosis y formas de aplicación, en combinación con fuentes nitrógeno-azufradas. Hipotetizamos que dosis pequeñas de Zinc combinado con otros nutrientes en diferentes dosis y formas de aplicación, mejoran diversos parámetros de cultivo y con ello su rendimiento.

Materiales y métodos:

Se condujo un ensayo de campo en la localidad de Pergamino, sobre un suelo serie Pergamino 1, fase ligeramente erosionada, Clase de uso 1 de muy buena productividad. Se utilizó un diseño en bloques completos al azar con cuatro repeticiones y diez tratamientos, cuya descripción se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1: Tratamientos de fertilización con Zinc (Zn) en Maíz. Pergamino, campaña 2008/09.

Trat	Denominación	Forma de aplicación	Momento de aplicación
T1	Testigo		
T2	N 5 kg	foliar	V6 (*)
T3	Zn 0,3 kg	foliar	V6 (*)
T4	N 5 kg + Zn 0,3 kg	foliar	V6 (*)
T5	Zn 1 kg al suelo + N	chorreado	V6
T6	Zn 1,5 kg al suelo + N	chorreado	V2
T7	Zn 2 kg al suelo + N	chorreado	V2
T8	Zn 3 kg al suelo + N	chorreado	V2
T9	Zn 1 kg al suelo + N	chorreado	V2
T10	Zn 1,5 kg al suelo + N	chorreado	siembra

(*) Tratamientos fertilizados con N chorreado en V2, independiente de la aplicación de N foliar

El ensayo se sembró el día 10 de Octubre de 2008 en SD, con antecesor trigo/soja, utilizando el híbrido Syngenta NK 910. El sitio experimental fue fertilizado con nitrógeno (N) y azufre (S) aplicados luego de combinar una solución de urea-nitrato de amino (UAN: 32-0-0) y tiosulfato de amonio (TSA 12-0-0-26S), que aportaron 82 kgN ha⁻¹ y 15 kgS ha⁻¹. El N foliar se aplicó bajo la forma de Urea foliar de bajo biuret (20-0-0, densidad 1,1). El Zn en todos los casos fue una formulación floable con una concentración de 100 %.

Por su parte, el análisis de suelo del sitio experimental se presenta en la Tabla 2. Se destaca un nivel de Materia orgánica y N relativamente bajo, normal de P y muy bajo de S. Las bases de cambio presentan un valor adecuado. El sitio podría caracterizarse como de fertilidad media a baja.

Tabla 2: Análisis de suelo al momento de la siembra

Bloque	Prof.	MO	pH	N _{total}	N-NO ₃	N-NO ₃	P-Bray	S-SO ₄	K	Mg	Ca
	(cm)	(%)			ppm	kg/ha			ppm		
Promedio	0-20	2,53	5,8	1,26	10,0	26,0	18,8	1,7	508,3	122	1717,3
	20-40				8,3	21,7					
	40-60				4,2	10,8					

Las aplicaciones de N foliar fueron realizadas con mochila manual de presión constante. La misma contaba con un botalón aplicador de 200 cm provisto de 4 picos a 50 cm y pastillas de cono hueco 80015 que permiten asperjar 140 l ha⁻¹. El estado del cultivo y las condiciones ambientales al momento de la aplicación se describen en las Tablas 3 y 4, respectivamente.

Tabla 3: Estado del cultivo al realizar la aplicación.

Momento de aplicación	Fecha de aplicación	Estado del cultivo	Altura (cm)	Cobertura (%)
V6	2-dic	V6-7	65	60

Tabla 4: Condiciones ambientales durante la aplicación.

Momento de aplicación	Humedad de suelo (0-2 cm)	Humedad de suelo (3-18 cm)	Temperatura aire (°C)	Humedad relativa (%)	Velocidad. viento (km h ⁻¹)	Nubosidad	Ppciones 24 hs dda
V6	H	H	16,8	67	12,7 SSSE	4	0

Escala de nubosidad: 0 completamente despejado, 9 completamente cubierto dda: después de aplicación.

Se determinó el vigor de planta de manera cualitativa en V4 (4 hojas expandidas) y Vt (floración masculina) (escala de Ritchie & Hanway, 1983). En floración plena (R2) se realizaron mediciones de altura de plantas e inserción de la espiga, número de hojas verdes fotosintéticamente activas y senescidas, y se determinó la intensidad de verdor en hoja por medio del medidor de clorofila Minolta Spad 502. Este brinda una medida adimensional, no destructiva e indirecta del contenido de N foliar. Permite a la vez, cuantificar en forma objetiva y con mayor sutileza que la del ojo humano, eventuales diferencias entre tratamientos.

La cosecha se realizó en forma manual, con trilla estacionaria de las muestras. Sobre una alícuota de cosecha se analizaron los componentes del rendimiento, número (NG) y peso (P1000) de los granos. Para el estudio de los resultados se realizaron análisis de la varianza, comparaciones de medias y análisis de correlación.

Condiciones ambientales de la campaña

En la Figura 1 se presentan las precipitaciones del sitio durante el ciclo de cultivo, y en la Figura 2 las temperaturas, horas de luz y el coeficiente fototermal (Q) entre el 10 de Diciembre y el 10 de Enero, etapa que abarca el período crítico para la definición de los rendimientos del sitio. Las precipitaciones fueron escasas durante todo el período de cultivo. El déficit total acumulado, calculado como la diferencia entre la evapotranspiración real y potencial, alcanzó a 323 mm (Figura 1). Las condiciones de luminosidad no fueron restrictivas (Figura 2).

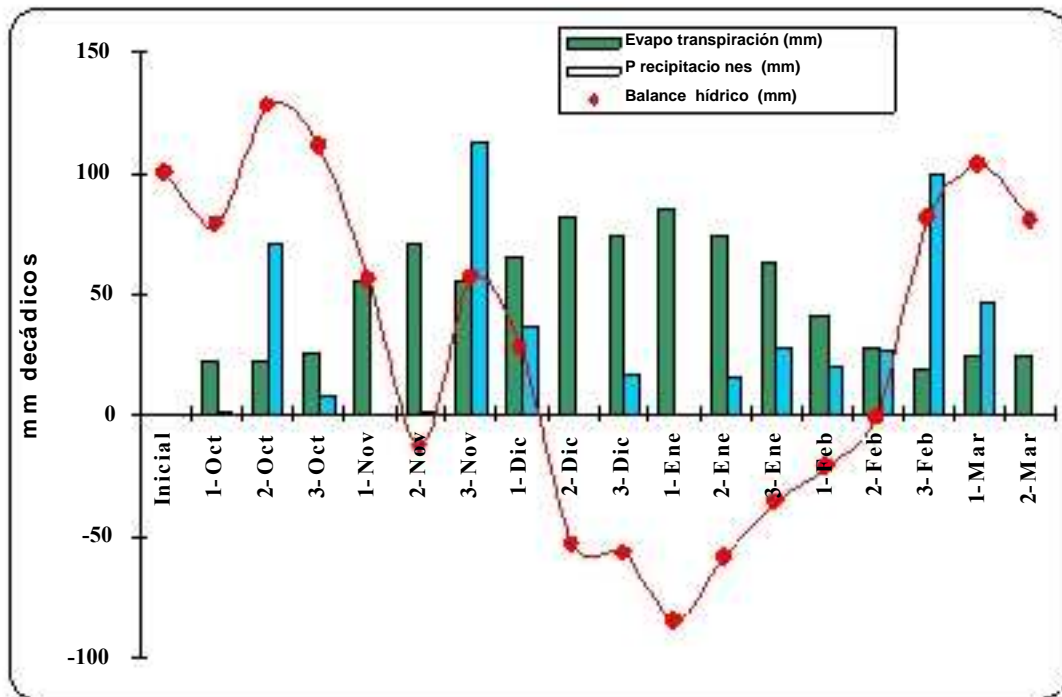


Figura 1: Precipitaciones decádicas acumuladas (mm) en el sitio experimental. Pergamino, campaña 2008/09. Déficit (evapotranspiración potencial - evapotranspiración real) 323 mm.

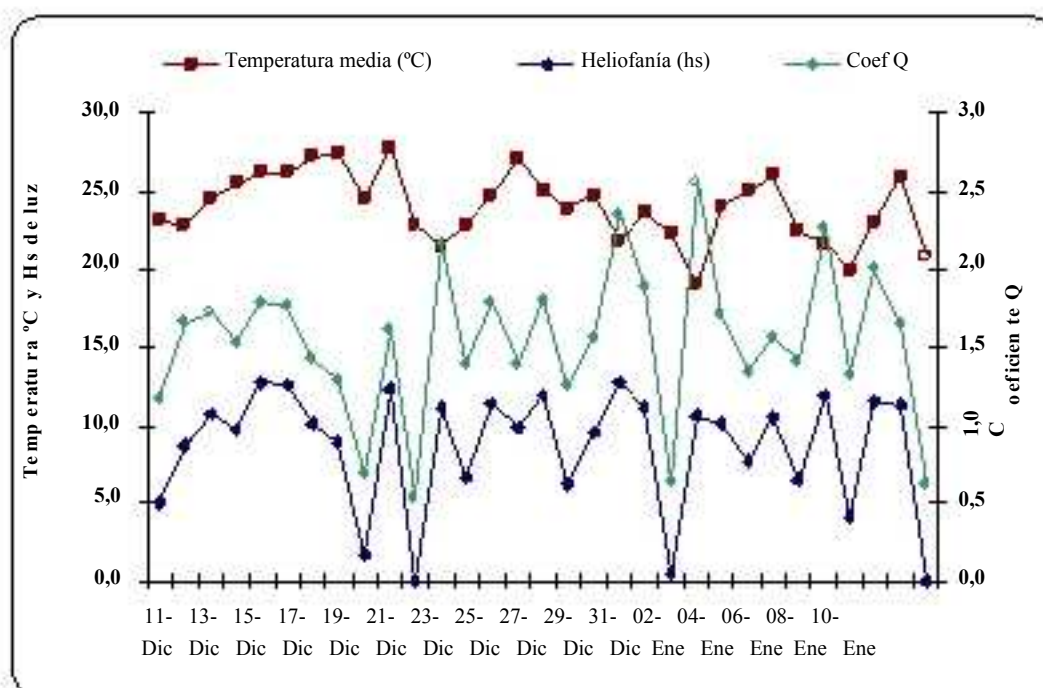


Figura 2: Insolación (en hs y décimas de hora) y temperatura media (°C) diarias para el período 10 de Diciembre - 10 de Enero, en el transcurso del cual se ubicó la etapa crítica para la definición de los rendimientos. Localidad de Pergamino, (Bs As), campaña 2008/09.

Resultados y discusión

En la Tabla 5 se presentan algunos parámetros determinados en el ensayo. En general, los tratamientos fertilizados con Zn, especialmente por vía foliar, suprimieron más rápidamente la sintomatología de carencias de este nutriente con relación al testigo. No se observaron diferencias claras entre dosis y momentos de aplicación del nutriente en forma chorreada al suelo.

Tabla 5: Parámetros de cultivo determinados en el ensayo durante su ciclo. En negrita se señalan los mejores tratamientos para cada variable evaluada. Tratamientos de fertilización con Zinc (Zn) en Maíz. Pergamino, campaña 2008/09.

Trat.	Denominación	Índice de Vigor V4	Índice de Vigor Vt	Hojas verdes activas R2	Hojas verdes totales R2
T1	Testigo	3,5	3,8	12	21
T2	N 5 kg	4,0	4,2	11	21
T3	Zn 0,3 kg	4,0	4,0	10	20
T4	N 5 kg + Zn 0,3 kg	3,5	4,0	10	20
T5	Zn 1 kg al suelo + N	4,0	4,5	14	20
T6	Zn 1,5 kg al suelo + N	4,1	4,5	14	20
T7	Zn 2 kg al suelo + N	4,2	4,0	10	19
T8	Zn 3 kg al suelo + N	4,1	4,2	12	20
T9	Zn 1 kg al suelo + N	4,2	3,8	12	21
T10	Zn 1,5 kg al suelo + N	3,8	4,2	12	21
Trat.	Denominación	Altura final planta (m)	Altura inserción espiga (cm)	Unidades Spad R2	
T1	Testigo	250	130	45,2	
T2	N 5 kg	255	135	46,3	
T3	Zn 0,3 kg	255	130	51,4	
T4	N 5 kg + Zn 0,3 kg	253	125	46,1	
T5	Zn 1 kg al suelo + N	260	130	46,7	
T6	Zn 1,5 kg al suelo + N	250	130	47,3	
T7	Zn 2 kg al suelo + N	250	125	44,1	
T8	Zn 3 kg al suelo + N	260	125	48,1	
T9	Zn 1 kg al suelo + N	255	125	49,3	
T10	Zn 1,5 kg al suelo + N	250	115	43,7	

Los rendimientos del ensayo fueron aceptables, a pesar de la magnitud de la sequía que lo afectara. Se determinaron diferencias estadísticamente significativas en los rendimientos, NG ($P < 0,05$) y P1000 ($P < 0,10$) (Tabla 6). Los tratamientos de aplicación de Zn chorreado al suelo junto a fertilizantes nitrógeno-azufrados expresaron el mejor comportamiento, sin diferencias entre dosis y momentos de fertilización. Teniendo en cuenta estos resultados, no sería necesario realizar aplicaciones demasiado tempranas ni agregar dosis altas, haciendo más factible su utilización práctica. Ya desde el estado de floración, el vigor de la planta, crecimiento y número de hojas verdes de algunos tratamientos i.e. T5 y T6, permitía inferir buenos rendimientos (Tabla 5 y Figura 3). Las diferencias entre el testigo y los tratamientos evaluados alcanzaron un rango amplio, desde -533 a 1547 kg ha⁻¹, lo que representa una brecha de variación mayor al 25 %.

Tabla 6: Rendimiento de grano (kg ha⁻¹), diferencia por sobre el Testigo (kg ha⁻¹ y relativa), número de granos (NG m⁻²) y peso de mil granos (g). Tratamientos de fertilización con Zinc (Zn) en Maíz. Pergamino, campaña 2008/09.

Trat	Tratamiento	Rendimientos (kg ha ⁻¹)	Diferencia con testigo		NG m ⁻²	P1000 (g)
			(kg ha ⁻¹)	Rend Rtvo		
T1	Testigo	7620			2847	267
T2	N 5 kg	8030	410	5,4	2992	268
T3	Zn 0,3 kg	7213	-407	-5,3	2764	261
T4	N 5 kg + Zn 0,3 kg	7087	-533	-7,0	2625	271
T5	Zn 1 kg al suelo + N	9167	1547	20,3	3297	278
T6	Zn 1,5 kg al suelo + N	8527	907	11,9	2994	285
T7	Zn 2 kg al suelo + N	8140	520	6,8	3040	268
T8	Zn 3 kg al suelo + N	8120	500	6,6	2989	272
T9	Zn 1 kg al suelo + N	8273	653	8,6	3017	274
T10	Zn 1,5 kg al suelo + N	8227	607	8,0	2907	283
	Sign est. (P)	0,01			0,00	0,07
	CV (%)	7,5			6,9	3,2

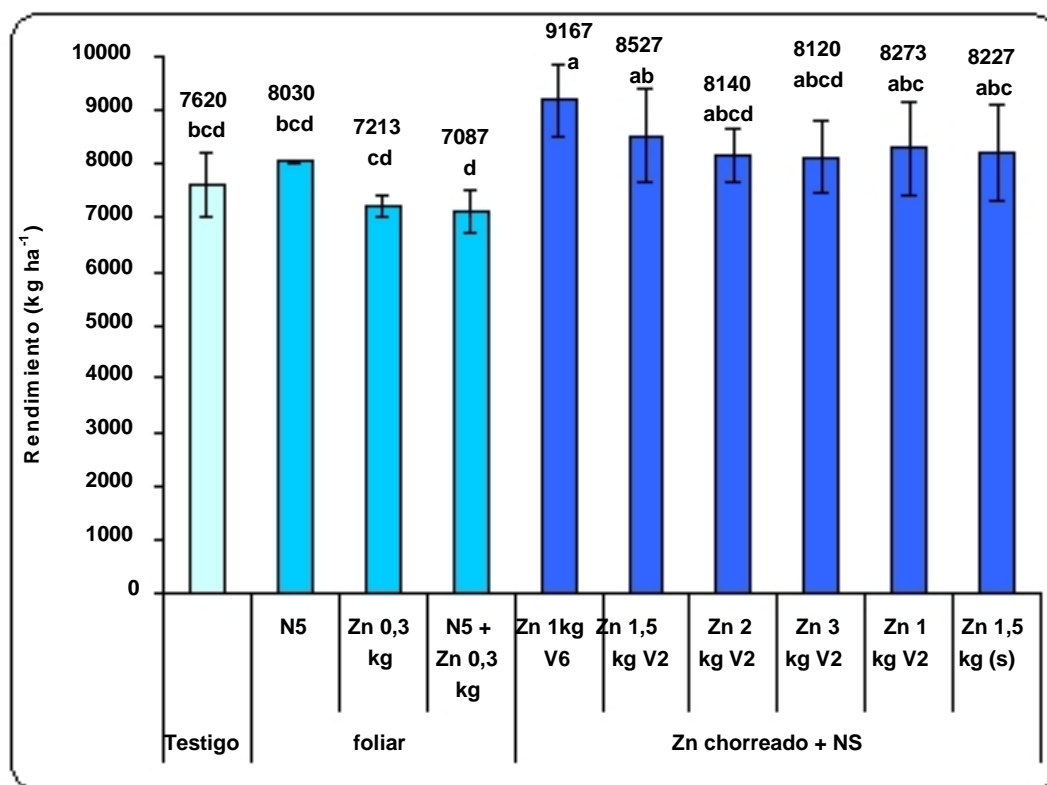


Figura 3: Producción de grano de maíz (kg ha⁻¹) en tratamientos de fertilización con zinc aplicado al suelo o foliar en combinación con fuentes nitrogenadas en maíz. Letras distintas en las columnas indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos. Las barras verticales representan la desviación Standard de la media. Pergamino, Campaña 2008/09.

Comparados a través de contrastes, las aplicaciones al suelo promedio de seis estrategias superaron significativamente a los tratamientos foliares (dos estrategias) (Figura 4). Este comportamiento difiere del observado por otros investigadores, quienes mencionan una alta fijación de Zn cuando es aplicado al suelo, en contraposición con una buena eficiencia de absorción de las aplicaciones foliares (Malavolta, 1986; Alam et al., 1999). En esta experiencia, es probable que la absorción de Zn por vía foliar se haya visto comprometida por las severas condiciones ambientales en la etapa previa y posterior a la aplicación. Si bien no se observaron síntomas de fitotoxicidad luego de la aplicación, es probable que la combinación de evaporación, desecamiento sobre la lámina foliar y restricciones al paso por la pared celular y membrana impidieran el aprovechamiento del nutriente. Ensayos de aplicación foliar de Zn en combinación con N realizados por nuestro grupo de trabajo utilizando las mismas fuentes originaron respuestas positivas en los rendimientos bajo condiciones ambientales más favorables (Ferraris et al., 2007).

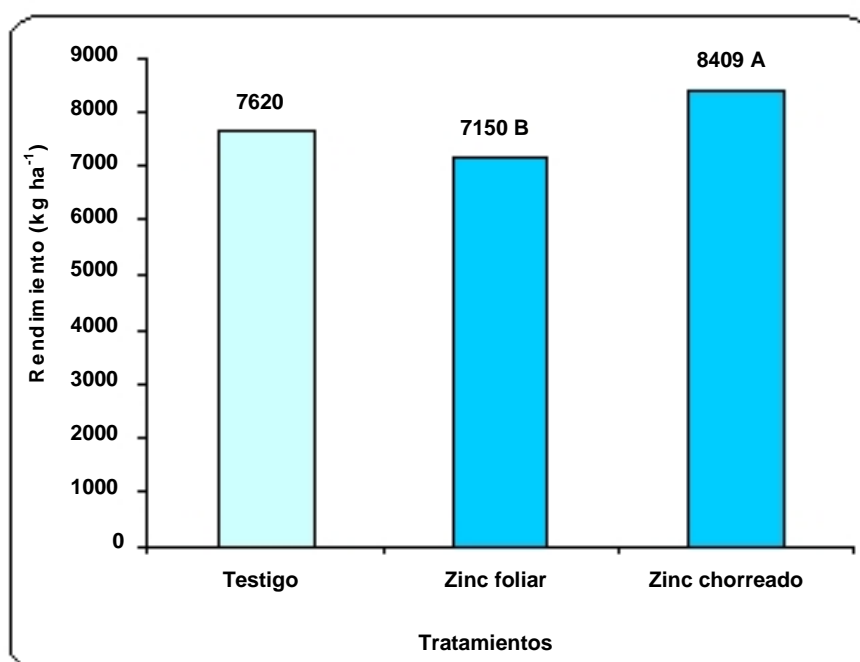


Figura 4: Contraste entre tratamientos de aplicación de zinc foliar y chorreado en Maíz, y su comparación con el testigo no fertilizado. Letras distintas en las columnas indican diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos.

El NG, vigor a inicios del período reproductivo (Vt), número de hojas verdes en R2 y vigor temprano fueron las variables más fuertemente asociadas al rendimiento, todas ellas en forma positiva y significativa (Tabla 8).

Tabla 8: Asociación estadística entre el rendimiento y las variables evaluadas en el ensayo. n.s. indica ausencia de asociación significativa

Tratamientos	Coefficiente de correlación (R)	Sign. est . P=
Vigor V4	0,54	P= 0,10
Vigor Vt	0,65	P= 0,04
Hojas verdes R2	0,80	P= 0,000.
Hojas totales R2	-0,02	P> 0,10 n.s.
Altura	0,28	P> 0,10 n.s.
Inserción	0,00	P= 0,000.
Spad	-0,19	P> 0,10 n.s.
NG	0,81	P= 0,00
P1000	0,19	P> 0,10 n.s.

Conclusiones

* Las estrategias en cuanto a dosis y formas de aplicación de Zn en maíz originaron diferencias significativas en los rendimientos y sus componentes. Algunas de estas estrategias mostraron aptitud para superar los rendimientos del testigo, permitiendo aceptar la hipótesis propuesta.

* El rango de variación en los rendimientos fue amplio, desde -533 hasta 1547 kg ha⁻¹. Contribuyó a esto el efecto de los tratamientos pero también las rigurosas condiciones ambientales de la campaña, que introdujeron variabilidad en los rendimientos.

* La aplicación al suelo produjo mejores resultados que la aspersión foliar de Zn. Es probable que la absorción de Zn haya sido afectada por las condiciones de sequía y baja humedad relativa que rodearon a la aplicación foliar. Por otra parte, no se observaron diferencias importantes entre dosis o momentos de fertilización.

* Los resultados obtenidos confirman que el Zn es un nutriente de importancia para cultivos de maíz en el norte de Buenos Aires, en ambientes de buena productividad, con aplicaciones de P localizado y sin carencias de NS, restando aún ajustar aspectos tecnológicos como la dosis, momento y forma de aplicación.

Bibliografía:

*Alam, S. S. Naqvi, . and R. Ansari, R. 1999. Impact of soil pH on nutrient uptake by crop plant. pp 51-59. In: Pessaraki, M (eds). Handbook of Plant and Crop Stress, Second Edition. 1254 pp.

Ferraris, G. y L. Couretot. 2007. Respuesta del maíz a la fertilización complementaria por vía foliar. Campaña 2006/07 (c). En: Experiencias en Fertilización y Protección del cultivo de Maíz. Año 2007. Proyecto Regional Agrícola, CERBAN, EEA Pergamino y General Villegas: 116-122.

*Girma, K.; L. Martin; K. Freeman; J. Mosali; R. Teal; William. R. Raun; S. Moges; D Arnall. 2007 Determination of Optimum Rate and Growth Stage for Foliar-Applied Phosphorus in Corn. Communications in Soil Science and Plant Analysis, Volume 38, Issue 9 & 10. pages 1137 - 1154.

*Malavolta, E. 1986. Foliar fertilization in Brazil.- Present and perspectives. pp. 170-192. In: A. Alexander (ed.). Foliar fertilization. Proceedings of the First International Symposium of Foliar Fertilization by Schering Agrochemical Division. Berlin. 1985.

*Mallarino, A.P., D.J. Wittry, D. Dousa, and P.N. Hinz. 1998. Variable rate phosphorus fertilization: On-farm research methods and evaluation for corn and soybean. In P.C. Robert et al. (ed.) Proc. Int. Conf. Precision Agric., 4th, Minneapolis, MN. 19-22 July 1998. ASA, CSSA, SSSA, Madison, WI.

*Martens, D.C. y W.L. Lindsay. 1990. Testing soils for Copper, Iron, Manganese, and Zinc. En: R.L. Westerman (ed.) Soil testing and plant analysis. SSSA, Madison, pp. 229-264.

*Martens, D. and D. Westermann. 1991. Fertilizer Applications for Correcting. Micronutrient Deficiencies. Micronutrients in agriculture. Disponible on line. eprints.nwisrl.ars.usda.gov.

*Pais, I, J. Benton Jones. 2000. The handbook of trace elements. St. Lucie Press, Boca Raton, 223 p.

*Reetz, H.F. 1996. On-farm research opportunities through site-specific management. p. 1173-1176. In P.C. Robert et al. (ed.) Proc. Int Conf. Precision Agric., 3rd, Minneapolis, MN. 23-26 June 1996.

trials were even smaller and less frequent than in small- management. p. 1173-1176. In P.C. Robert et al. (ed.) Proc. Int. plot trials. With the exception of one field in which Conf. Precision Agric., 3rd, Minneapolis, MN. 23-26 June 1996.

*Trinidad y Aguilar. 1999. Fertilización foliar, respaldo importante en el rendimiento de cultivos. Terra Volúmen 17 número 3, 247:255

*Yunca HU, Zoltan Burucs, Urs Schmidhalter (2008) Effect of foliar fertilization application on the growth and mineral nutrient content of maize seedlings under drought and salinity. Soil Science & Plant Nutrition 54 (1):133-141

*Whitney, D.A. 1997. Fertilization. En: Soybean production handbook. Kansas State University Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service, C-449.

Anexo: Fotografía mostrando síntomas de deficiencia de Zinc en el ensayo. Pergamino, noviembre de 2008

