

RESPUESTA DEL MAÍZ A LA FERTILIZACIÓN COMPLEMENTARIA

Ings. Agrs. Gustavo N. Ferraris, Lucrecia A. Couretot y Juan Carlos Ponsa
Proyecto Regional Agrícola,
Área de Desarrollo Rural INTA EEA Pergamino

Introducción:

La fertilización foliar 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). Su principal utilidad consiste en complementar los requerimientos de un cultivo que no se pueden abastecer mediante la fertilización clásica, ya se trate de elementos de baja absorción desde el suelo (Malavolta, 1986), o para fines específicos que requieren la aplicación tardía de los elementos i.e. incrementar su concentración en el grano (Fregoni, 1986).

En la actualidad, se han dado diversas condiciones que permiten realizar un diagnóstico más preciso acerca de las expectativas de respuesta a la fertilización foliar. Estas incluyen la mayor difusión de análisis de suelo y tejido (Martens y Westermann, 1991), mayor información de 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 respuestas 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 al agregado de fertilizantes complejos agregados por vía foliar y 2. Estudiar el efecto de la fertilización con nitrógeno y micronutrientes incorporados sobre la semilla o mediante aplicaciones foliares.. Hipotetizamos que el agregado de dosis pequeñas de nutrientes bajo formas químicas de fácil asimilación, mejoran diversos parámetros de cultivo y con ello su rendimiento

Materiales y métodos:

El ensayo fue conducido en la localidad de Pergamino, sobre un suelo serie Pergamino, Argiudol típico, Clase de uso 1 de muy buena productividad. Se utilizó un diseño en bloques completos al azar con cuatro repeticiones y nueve tratamientos, los cuales se presentan en la Tabla 1. Por su parte, la formulación de las fuentes evaluadas se presenta en la Tabla 2.

Tabla 1: *Tratamientos evaluados. Fertilización foliar en maíz, Pergamino, campaña 2007/08*

Trat	Nutriente agregado	Denominación de la Fuente	Estadío de Aplicación	Dosis (ml/ha)
T0	Testigo			
T1	Zinc	Zincofix	Siembra sobre semilla	150
T2	Boro	Borofix	V9 (9 hojas expandidas)	2000
T3	Zinc + Boro	Zincofix + Borofix	Semilla + V9	150 + 2000
T4	Nitrógeno	Genofix	V6	3000
T5	Zn + N + B	Zincofix + Genofix+ Borofix	Semilla + V6+V9	150+3000+2000
T6	Topfix	Topfix	V6	3000
T7	Macrofix	Macrofix	V6	3000
T8	Complefix	Complefix	V6	3000

Tabla 2: Composición química expresada en porcentaje de las fuentes fertilizantes utilizadas en el ensayo.

Tratamiento	N	P	K	S	B	Zn	Cu	Mn	Mo	Fe	Otros	densidad
Zincofix				4		10						1,25
Borofix					10							1,35
Genofix	30											1,35
Topfix	15	4	5	1,0	0,1	2		1,5	0,05			
Macrofix	10			1,8	0,9	0,7	0,7	1,0		0,8	Aminoácidos	1,3
Complefix	-			5,0	0,7	4	2	6,7	0,7			1,48

El ensayo se sembró el día 8 de Octubre de 2007 en SD, con antecesor soja de primera, utilizando el híbrido Syngenta NK 900 TD Max. La fertilización de base consistió en la aplicación de 130 kg/ha de una mezcla (15-13-0-7S) localizados en bandas a la siembra y 200 kg/ha de Urea granulada en preemergencia el día 15 de octubre de 2007. Por su parte, el análisis de suelo del sitio experimental se presenta en la Tabla 3. Se destaca un nivel de N en suelo normal, muy bajo de P y también escaso de Zn, dentro del rango crítico de 0,5-1 ppm propuesto en la literatura (Martens y Lindsay, 1990; Whitney, 1997; Pais y Benton Jones, 2000).

Tabla 3: Análisis de a la siembra.

Prof	pH	Materia Orgánica	N total	P-disp.	N-Nitratos	N suelo	S-Sulfatos
Cm	Agua 1:2,5	%		ppm	ppm	kg ha ⁻¹	ppm
0-20	5,6	2,68	0,134	4,4	15,9	41,3	10,4
20-40					11,1	28,8	9,0
40-60					5,5	14,3	7,8
						84,4	

Prof	K	Mg	Ca	Zn	Mn	Cu	Fe	Bo
Cm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
0-20	443	181	1297	0,61	44,1	1,09	71	0,84

Las aplicaciones de fertilizante 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 100 l ha⁻¹. El estado del cultivo y las condiciones ambientales al momento de la aplicación, se describen en las Tablas 4 y 5, respectivamente.

Tabla 4: Estado del cultivo al momento de la aplicación.

Momento de aplicación	Fecha de aplicación	Estado del cultivo	Altura (cm)	Cobertura (%)
V6	27-nov	V6	60	60
V9	10-dic	V9	85	90

Tabla 5: 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	S	H	25	53	5,5 EENE	0	0
V9	H	H	12,1	57	10 SSSW	1	0

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

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, comparaciones de medias y análisis de regresión.

Resultados y discusión:

a) Condiciones ambientales

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 5 de Diciembre y el 15 de Enero, etapa que abarca el período crítico para la definición de los rendimientos. Las precipitaciones fueron escasas desde Noviembre en adelante, motivando que el cultivo ingresara en un déficit hídrico permanente entre la segunda década de Diciembre y finales de Enero (Figura 1). Las condiciones de luminosidad fueron óptimas entre el 24 de Diciembre y el 5 de Enero, y moderadas el resto del período (Figura 2).

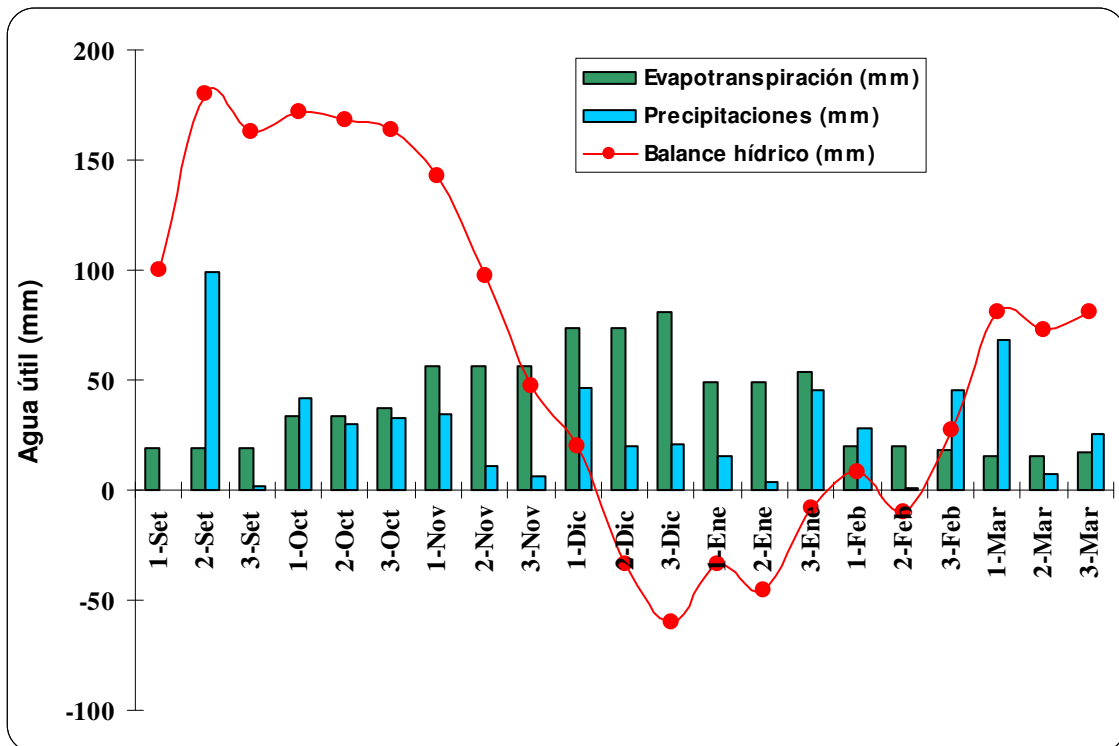


Figura 1: Precipitaciones, evapotranspiración y balance hídrico decádico acumulado (mm) en el sitio experimental. Pergamino, (Bs As), campaña 2007/08. El déficit acumulado alcanzó a 191 mm de la evapotranspiración del cultivo.

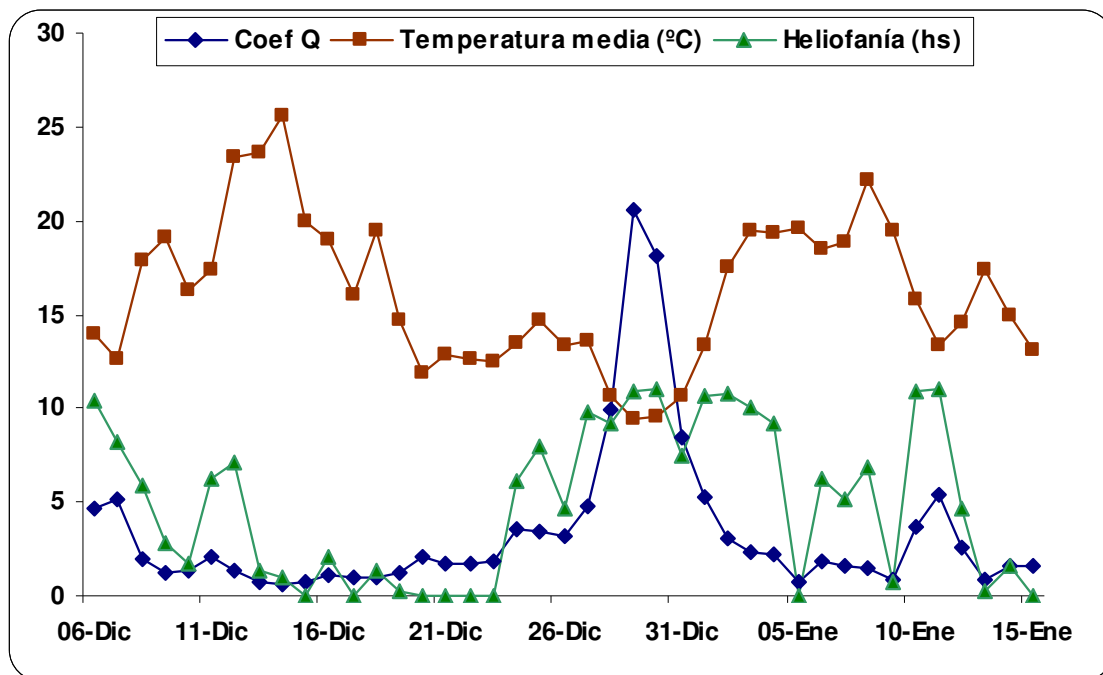


Figura 2: Insolación (en hs y décimas de hora) y temperatura media (°C) diarias para el período 5 de Diciembre – 15 de Enero, en el transcurso del cual se ubicó la etapa crítica para la definición de los rendimientos en todos los materiales. Localidad de Pergamino, (Bs As), campaña 2007/08.

b) Resultados del ensayo

En la Tabla 6 se presentan algunos parámetros evaluados en el cultivo. No se determinaron diferencias importantes en la altura de las plantas. Algo similar ocurrió con el número de hojas verdes remanentes en R1, si bien las parcelas fertilizadas, independientemente del tratamiento, tendieron a mantener más hojas verdes. Por su parte, el medidor de clorofila Minolta Spad 502 evalúa la intensidad de verdor en hoja, y esto puede considerarse una medida adimensional, no destructiva e indirecta del contenido de Nitrógeno foliar. Permite a la vez, cuantificar en forma objetiva y con mayor sutileza que la del ojo humano, eventuales diferencias entre tratamientos. Fue evaluado en la hoja opuesta inmediatamente inferior a la de la espiga, la cual por convención es utilizada para la evaluación del estado nutricional del maíz en el período crítico. Los mayores valores correspondieron a los tratamientos con uso N (T4 y T5), mientras que el mínimo valor correspondió al testigo. Los tratamientos T4, T5, T6 y T7 expresaron muy ligeros síntomas de fitotoxicidad post-aplicación, en forma de un leve quemado foliar por acción de contacto, que fue minimizado rápidamente con el crecimiento del cultivo. Es probable que las condiciones de alta temperatura, insolación y baja humedad relativa de los días previos y posteriores a la aplicación de V6 predispusieran a la ocurrencia de estos síntomas.

Tabla 6: Parámetros evaluados en el cultivo. Fertilización complementaria sobre semilla y foliar en maíz, Pergamino, campaña 2007/08.

Nº	Tratamiento	Altura final planta (m)	Unidades Spad R1	Hojas verdes R1	Síntomas de fitotoxicidad
T0	Testigo	2,20	47,1	14	No
T1	Zinc	2,20	50,7	15	No
T2	Boro	2,20	49,4	15	No
T3	Zinc + Boro	2,15	49,5	15	No
T4	Nitrógeno	2,25	53,1	15,5	Muy ligera
T5	Zn + N + B	2,20	51,3	16	Muy ligera
T6	Topfix	2,20	49,6	15	Muy ligera
T7	Macrofix	2,20	50,7	15	Muy ligera
T8	Complefix	2,25	50,7	15	No

Los rendimientos de grano difirieron estadísticamente entre tratamientos ($P=0,000$; Tabla 7). La respuesta a Zn y B fue aditiva y cuantitativamente importante (Figura 3), inclusive mayor a la respuesta media determinada en ensayos anteriores realizados por nuestro grupo de trabajo (Ferraris et al., 2007). Los tratamientos Macrofix y Complefix, que reúnen un grupo de nutrientes y, en el caso del primero, componentes orgánicos, manifestaron igualmente una considerable diferencia de rendimiento por sobre el testigo.

Tabla 7: Rendimiento de grano (kg ha^{-1}), diferencia por sobre T0 (kg ha^{-1} y %), número de granos (NG m^{-2}), peso de mil granos (g), y peso hectolítrico (PH) de los granos. Fertilización complementaria sobre semilla y foliar en maíz, Pergamino, campaña 2007/08.

Nº	Tratamiento	Rendimientos (kg ha^{-1})	Diferencia con testigo (kg y \%)	NG m^{-2}	P1000 (g)	PH ajustado por humedad
T0	Testigo	10225		3773	271	68,8
T1	Zinc	11819	1594 (+15%)	4236	279	69,1
T2	Boro	11294	1069 (+9%)	4344	260	73,3
T3	Zinc + Boro	12206	1981 (+17%)	4902	249	72,2
T4	Nitrógeno	9719	-506 (-4%)	3935	247	72,2
T5	Zn + N + B	11563	1338 (+13%)	4298	269	71,6
T6	Topfix	9906	-319 -2%)	3724	266	69,3
T5	Macrofix	11325	1100 (+11%)	4339	261	72,0
T6	Complefix	11531	1306 (+11%)	4435	260	71,1
	Sign est. (P)	0,000				
	CV (%)	5,4 %				

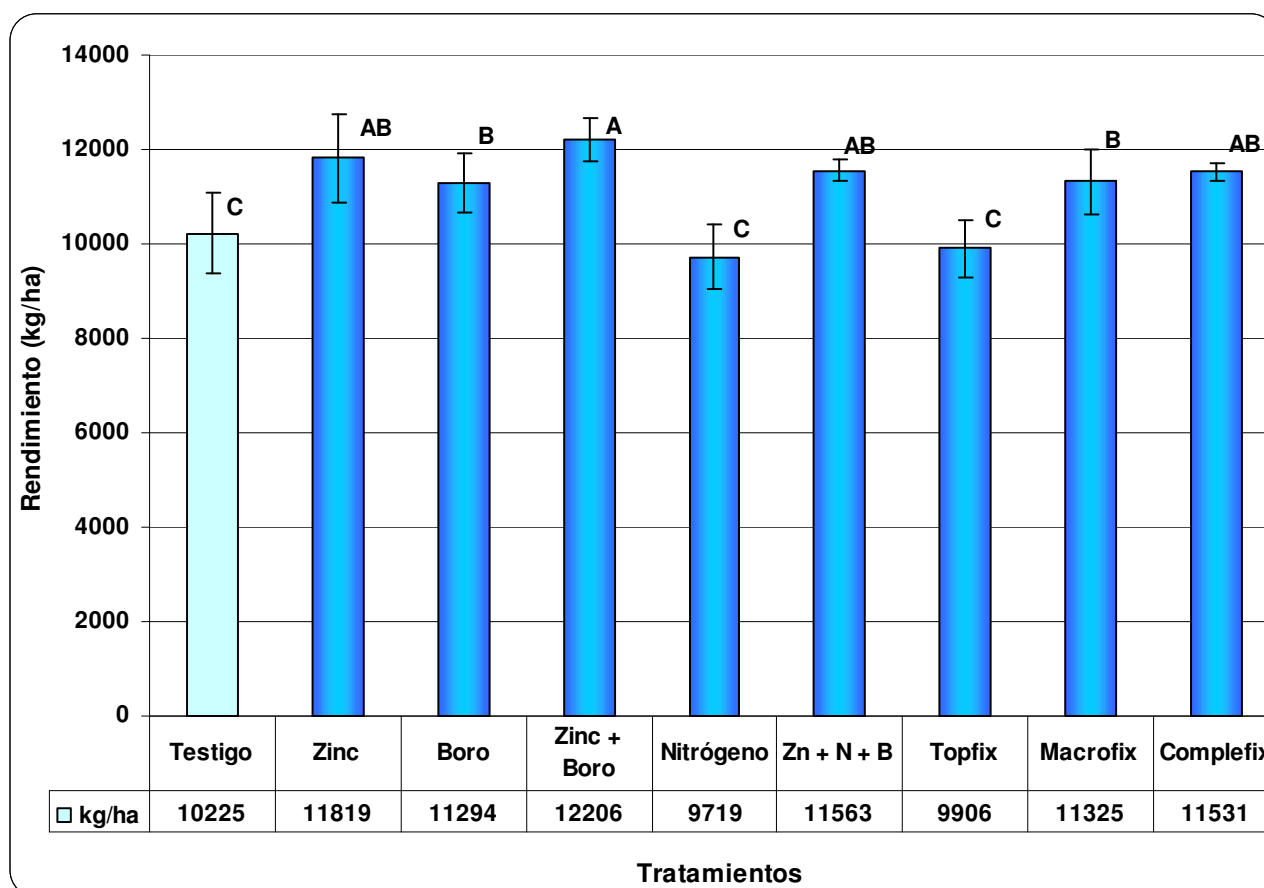


Figura 3: Rendimiento ($kg\ ha^{-1}$) como resultado de la aplicación de diferentes estrategias de fertilización sobre semilla y foliar en maíz. Letras distintas en las columnas representan tratamientos estadísticamente diferentes. Las barras verticales indican la desviación Standard de la media. Pergamino, Campaña 2007/08.

Dentro de los parámetros evaluados, sólo el número de granos m^{-2} (NG) explicó significativamente ($P=0,00$) y en buena medida los rendimientos ($r^2=0,80$). El resto de las variables, mantuvieron se relacionaron a los rendimientos en forma débil o nula (Tabla 8).

Tabla 8: Relación entre el rendimiento y las variables evaluadas. n.s. indica ausencia de asociación significativa con el rendimiento.

Tratamientos	Coefficiente de regresión (R^2)	Sign. est. P=
NG	0,80	0,00.
P1000	0,01	n.s.
PH	0,08	n.s
Altura plantas	0,22	n.s
Hojas verdes R1	0,03	n.s
Unidades Spad	0,00	n.s

Conclusiones:

El uso de Zinc y Boro incrementaron el número de granos y significativamente los rendimientos, confirmando las tendencias observadas en ensayos anteriores. La aplicación de ambos nutrientes produjo un efecto aditivo en relación con la aplicación de uno sólo de ellos. Por otra parte, dos fertilizantes compuestos por un grupo de nutrientes, superaron significativamente el rendimiento del

testigo. La aplicación de nitrógeno foliar, en este ensayo no manifestó un efecto positivo sobre los rendimientos.

Bibliografía:

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

*Fregoni, M. 1986. Some aspects of epigeal nutrition of grapevines. pp. 205-211. In: A. Alexander (ed.). Foliar fertilization. Proceedings of the First International Symposium of Foliar Fertilization by Schering Agrochemical. Division. Berlin. 1985.

*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.