

Optimización de la producción y calidad en cebolla cabezona (*Allium cepa*) mediante el balance nutricional con magnesio y micronutrientes (B, Zn y Mn), Valle Alto del Río Chicamocha, Boyacá*

Optimizing bulb onion (*Allium cepa*) production and quality through magnesium and micronutrient (B, Zn, and Mn) balanced nutrition in the Upper Chicamocha River Valley, Boyacá*

Manuel Iván Gómez¹, Hugo E. Castro², Clara Johanna Gómez³ y Oscar Ferney Gutiérrez³

RESUMEN

La ausencia de magnesio y micronutrientes (B, Zn y Mn) en planes de fertilización limita el balance nutricional en cebolla, debido a que dichos elementos regulan la expresión del potencial productivo del cultivo y la calidad del producto cosechado. La presente investigación fue realizada en un suelo del Distrito de Riego del Alto Chicamocha (DRAC), clasificado taxonómicamente como Sulfic Endoaquept, familia muy fina sobre orgánica, caolinítica, semiactiva, isomésica (fase ácida, moderadamente profunda). Los resultados mostraron respuestas favorables a la fertilización complementaria específica con 70 kg·ha⁻¹ de MgO (micromagnesio granulado 40% MgO), donde se reportaron incrementos de 50 % en el rendimiento de primera, mejora en la gravedad específica con diferencias altamente significativas respecto al solo manejo NPK, y se identificó una mayor eficiencia en la absorción foliar del P estableciéndose una relación positiva Mg/P. Respecto al comportamiento de micronutrientes se presentó una interacción positiva Mn·Zn con 4 kg·ha⁻¹ Mn (microman-sulfato de manganeso granulado, 20% Mn) y 3,5 kg·ha⁻¹ Zn (microzinc-sulfato de zinc granulado 22% Zn), expresada por incrementos superiores al 18% ($P < 0,01$) en la producción de cebolla categoría primera. Respecto al manejo NPKMg, las mejoras se observaron directamente en el componente de calidad (diámetro ecuatorial, gravedad específica), características que optimizan la rentabilidad del cultivo; igualmente, se estableció una relación P/Zn importante para el desarrollo, la producción y el manejo nutricional del cultivo. El B no presentó un efecto significativo en las variables evaluadas debido a las altas concentraciones nativas en medios ácidos existentes en este tipo de suelos.

Palabras clave: nutrición, cebolla bulbo, interacción, micronutrientes, fertilización.

ABSTRACT

The absence of magnesium and micronutrients (B, Zn and Mn) in fertilization plans limits the nutritional balance in onion because the above mentioned elements regulate the expression of farming productive potential and the quality of harvested product. The present research was carried out in a soil of District of Irrigation of the Upper Chicamocha River (DRAC), classified taxonomically as Sulfic Endoaquept, very thin, organic, caolinitic, isomesic (acid phase moderately deep). The results indicated favorable responses to the complementary fertilization with 70 kg·ha⁻¹ MgO (granulated micromagnesium 40% MgO) due to production increased by more than 50%, a notable improvement in specific gravity as compared with NPK application only, and well calibrated Mg/P relation in foliar tissue. In reference to the micronutrients, a positive interaction Mn·Zn with 4 kg·ha⁻¹ Mn (Microman-Manganese Sulfate, granular 20% Mn) and 3,5 kg·ha⁻¹ Zn (Microzinc-Zinc Sulfate, granular 22% Zn) was shown due to increase in first production on more than 18% ($P < 0,01$). With regard to NPKMg management, the positive response was observed directly in the quality component (equatorial diameter and specific gravity), characteristics that optimize the profitability of culture; equally, a P/Zn relation important for the development, production and the nutritional management of culture was established. Boron did not present a significant effect on the evaluated variables due to its high concentrations native to acid solutions of this type of soils.

Key words: nutrition, bulb onion, interaction, micronutrients, fertilization.

Fecha de recepción: abril 20 de 2007. Aceptado para publicación: octubre 1 de 2007

* Este trabajo hace parte de la investigación que adelanta Microfertisa S.A. sobre el Manejo de Micronutrientes en Suelos del Trópico y fue realizado en cooperación con el Grupo Interinstitucional de Investigación en Suelos Sulfatados Ácidos (GISSAT), Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja.

¹ Director de Investigación Microfertisa S.A., Bogotá. migomez@microfertisa.com.co

² Profesor asociado, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), Tunja. hcastrofranco@yahoo.com.mx

³ Ingenieros agrónomos, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC), Tunja. oferneygl@hotmail.com / igomez@unal.edu.co

Introducción

La fertilización de la cebolla en Colombia generalmente se realiza sin un diagnóstico integral previo (históricos de rendimientos, aplicación de fertilizantes, síntomas de deficiencia, análisis suelos, análisis foliares) y se basa casi exclusivamente en la aplicación empírica mediante prueba y error de algunas enmiendas calcáreas y orgánicas, y elementos mayores (N-P-K) de forma edáfica, factor que conlleva a que el cultivo no exprese en su totalidad los potenciales genéticos de rendimientos porque se subestima la importancia fisiológica para el normal crecimiento, desarrollo y producción del cultivo de elementos como el Mg y micronutrientes como Mn, Zn y B (Gómez, 2006). Por eso, dicha fertilización debe estar asociada a la aplicación integral y balanceada por sitio de los demás elementos que necesita la planta, ya sea por vía foliar o edáfica.

En el país se desconoce cuantitativamente la respuesta agronómica del magnesio, boro, zinc y manganeso en el cultivo de cebolla. La ausencia de estos elementos posiblemente está relacionada con desórdenes fisiológicos aún no entendidos plenamente como la pobre conversión de sólidos al bulbo, distorsión en la maduración, malformaciones del bulbo, entorchamiento de hojas y punteo; estos factores afectan negativamente las producciones promedio con efectos en la calidad y rentabilidad de cosecha.

Al realizar un diagnóstico de la condición de fertilidad química de los suelos de DRAC, son contrastantes las características de acidez generada por procesos de sulfatación y redox, los cuales se asocian a contenidos nativos bajos en Mg y de Mn por excesos de Fe, abundante en medios sulfatados. Otro factor que afecta considerablemente los elementos a estudiar (Mg, Mn, Zn y B) es el desbalance que ocasiona las excesivas aplicaciones de carbonatos, óxidos e hidróxidos de cal en su proceso de recuperación (mayor a 20 t/ha) como fuente solo de Ca, esto repercute en desbalances con Mg (Gómez y Castro, 2003). El excesivo enclamiento dificulta la absorción de todos los micronutrientes metálicos (Mn, Zn) dada la disminución de su solubilidad. En el caso del boro, los contenidos nativos son medios a altos, pero pueden afectarse por la presencia de manejo inadecuado de enmiendas básicas (Loué, 1988; Fageria *et al.*, 2002; Yamada, 2003). Las bajas concentraciones nativas de estos elementos en la zona de estudio, aunadas a desbalances por enclamiento que amplían la relación Ca/Mg y Ca/K, son factores que limitan la disponibilidad del Mg.

La aplicación de micronutrientes a medida que avanza la explotación intensiva de los suelos con el esquema de fer-

tilización excesiva y desbalanceada que solo considera, en la mayoría de los casos, la aplicación de NPK y la siembra de los cultivos exigentes en nutrición, se convierte en una práctica necesaria para obtener altos rendimientos y buena calidad en la cosecha, aún más considerando la función fisiológica (proceso de fotosíntesis, división celular, inducción de hormonas, asimilación del N y P) y la extracción de micronutrientes para 80 t·ha⁻¹ en el orden de 414 g B; 110 g Cu; 225 g Zn; 370 g Mn y 6.800 g Fe (Bertsch, 2003).

La importancia del manejo de micronutrientes en cebolla, como Zn, se manifiesta en investigaciones realizadas por Gupta *et al.* (1985), donde se consiguieron incrementos en rendimientos en el orden de 30 a 67% del peso de bulbo con respecto al testigo, al aplicar Zn en dosis de 5 y 10 mg·kg⁻¹ de suelo respectivamente. Lal y Maurya (1983), en un ensayo de dos años con cebolla cv. Poona Red sembrada en arena, encontraron que el mayor peso tanto en seco como en fresco fue obtenido en las plantas que recibieron 3 mg·kg⁻¹ de Zn. Murphy y Walsh (1972) recomiendan aplicar entre 3,4-4,5 kg de Zn en banda cada 3-4 años y luego 1 kg·ha⁻¹ anualmente; además, señalan como dosis recomendable de ZnSO₄ 4,5-9,0 kg·ha⁻¹ aplicados al voleo de acuerdo al análisis de suelo o foliar. Las dosis de zinc como quelato están por el orden de 3 a 5 kg·ha⁻¹ aplicada en banda (ICA, 1992).

Rao y Deshpande (1973) encontraron que los efectos del boro sobre el crecimiento y rendimiento de cebolla, no fueron evidentes, sin embargo, consiguieron una interacción positiva entre el Cu y B, obteniéndose los más altos rendimientos (15.000 kg·ha⁻¹) como respuesta a la aplicación de 13,4 kg de Cu y 1,8 kg·ha⁻¹ de B, Jayamohanrao (1974) encontró que estas mismas dosis mejoraban la composición mineral de los bulbos sobre todo los niveles de Ca, P y Fe, los cuales alcanzaron su máximo con esas dosis. Lorenz y Maynard (1988) y Peña *et al.* (1999) reportaron que la respuesta relativa de la cebolla al boro es baja, y alta a las aplicaciones de zinc en producción y calidad.

Esta investigación se convierte en una de las primeras referencias sobre el manejo de magnesio y micronutrientes en cebolla, donde se pretendió profundizar en estudios que permitan comprobar la importancia del balance nutricional dentro de la fertilización integral del cultivo a través del manejo con Mg, B, Zn y Mn, teniendo en cuenta tanto su especificidad como su interacción y su efecto en la optimización en producción, calidad de cosecha y eficiencia del NPK. Además se evalúa la disponibilidad de estos nutrientes mediante el análisis de tejido y se comprueba el uso práctico de algunas relaciones iónicas (P/Zn; Mg/P).

Materiales y métodos

La experimentación se realizó en el segundo semestre de 2006 en el Distrito de Riego del Alto Chicamocha en la Unidad Ministerio, Vereda Patrocinio Bajo, a una altura sobre el nivel del mar de 2.560 msnm, temperatura °C media de 14 °C; precipitación media anual de 1.200 mm bajo un régimen bimodal de lluvias. El suelo donde se estableció el estudio se clasifica taxonómicamente a nivel de familia como un Sulfic Endoaquepts, familia muy fina sobre orgánica, caolinítica, semiactiva, isomésica (fase moderadamente profunda) (GISSAT, 2004; Soil Survey Staff, 2003); donde los análisis de suelos y foliares se efectuaron de acuerdo con la estandarización metodológica establecida por el CALS (IGAC, 1990).

Son lotes que vienen de cultivos anteriores de cebolla, con recuperación gradual de las condiciones sulfatadas ácidas con uso frecuente de enmiendas calcáreas. De acuerdo con la tabla 1, el suelo presenta una reacción extremadamente ácida y una saturación de aluminio baja (menores a 10 %) que disminuye la toxicidad por este elemento; los contenidos nativos de Mg son bajos y deficientes por el desbalance con Ca; la disponibilidad de P y potasio es limitada por este medio, las concentraciones de azufre son altas (> 200 mg·kg⁻¹), ligeramente salino sódico. Los microelementos a evaluar, como Mn, presentan bajos contenidos nativos y desbalances por excesos de hierro (Fe), la disponibilidad de Zn se encuentra limitada por las altas concentraciones de Fe y desbalances por altos contenidos de P en el suelo (P/Zn < 10), los niveles de B son altos (> 1,0 mg·kg⁻¹) pero

con posibles desbalances por efectos de antagonismo con aniones sulfatos.

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar con nueve tratamientos (tabla 2) y cuatro repeticiones, cada unidad experimental fue de 30 m² para un área total experimental de 1.080 m². Se realizó análisis de varianza, y diferencias mediante análisis de comparación de Tukey ($P < 0,05$) entre los parámetros: rendimiento de cosecha (clase primera, segunda y tercera), calidad en poscosecha (diámetro ecuatorial, Norma Técnica Colombiana –NTC– 1221) y gravedad específica de acuerdo con el método de doble pesada en el laboratorio establecido por Thompson (1998). Para el análisis de la interacción B, Zn, Mn se realizó análisis factorial 2x2x2 con prueba de contrastes ortogonales, con el fin de demostrar el efecto y las diferencias entre las interacciones respecto al efecto de las variables anteriores.

Para la evaluación de la concentración foliar de nutrientes se tomó un análisis de tejido por tratamiento y se correlacionaron estadísticamente las concentraciones foliares de nutrientes con los parámetros evaluados. Los niveles o rangos de las relaciones foliares, por su parte, se establecieron a partir del análisis de regresiones estadísticas de tipo polinomial.

Las dosis de micronutrientes Zn y Mn se establecieron teniendo en cuenta el análisis de suelos, relaciones iónicas y dosis medias, y por experimentaciones y respuestas previas hechas en otros cultivos hortícolas (Gómez, 2006). Para la selección de la dosis de B, aunque el nivel del suelo es

TABLA 1. Análisis de suelo (cultivo cebolla bulbo, finca Prolelia, municipio de Tibasosa, departamento de Boyacá).

Lote	Textura				pH	Al (cmol·kg ⁻¹)	C.E. (dS·m ⁻¹)	% C.O.	P (mg·kg ⁻¹)	S (mg·kg ⁻¹)	N.T. (%)	
	% arena	% limo	% arcilla	Clasificación								
-	30	64	6	Franco limoso	4,22	1,8	1,65	4,58	72,9	296,9	0,40	
Bases intercambiables (cmol·kg ⁻¹)				C.I.C.E. (cmol·kg ⁻¹)	Elementos menores (mg·kg ⁻¹)					N-NH ₄ (mg·kg ⁻¹)	N-NO ₃ (mg·kg ⁻¹)	
Calcio	Magnesio	Potasio	Sodio		Cobre	Hierro	Zinc	Manganeso	Boro			
23,34	1,36	0,86	1,14	28,52	2,1	431,3	5,7	10,7	1,18	N.A.	N.A.	
Relaciones iónicas						Saturación de cationes						D.A. (g·cm ⁻³)
Ca/Mg	Ca/K	Mg/K	(Ca+Mg)/K	Ca/B	P/Zn	Fe/Mn	%Ca	%Mg	%K	%Na	%Al	
17,10	27,21	1,59	28,80	3.960,11	12,78	40,18	81,82	4,79	3,01	3,98	6,40	0,93

Fuente: Laboratorio de análisis químico de suelos, tejido, aguas y fertilizantes, Microfertisa. Bogotá, 2006
N.A.: no determinado; D.A.: Densidad aparente; N.T.: Nitrógeno total.

TABLA 2. Descripción de tratamientos y dosis.

Número	Tratamientos	Secundarios	Micronutrientes kg·ha ⁻¹				Fuentes (g/parcela 30 m ²)		
			MgO*	B	Zn	Mn	B** (10%)	Zn*** (22%)	Mn**** (20%)
0	NPK	0	0	0	0	0	0	0	
1	NPK + Mg	70	0	0	0	0	0	0	
2	B	70	2	0	0	6	0	0	
3	Zn	70	0	3,5	0	0	11	0	
4	Mn	70	0	0	4	0	0	12	
5	B+Zn	70	2	3,5	0	6	11	0	
6	B+Mn	70	2	0	4	6	0	12	
7	Zn+Mn	70	0	3,5	4	0	11	12	
8	B+Zn+Mn	70	2	3,5	4	6	11	12	

* Fuente: óxido de magnesio granulado (MgO 40%): 175 kg·ha⁻¹

** Fuente: boro granulado (Boratos): 20 kg·ha⁻¹

*** Fuente: microzinc (sulfato de zinc granulado): kg·ha⁻¹

**** Fuente: microman (sulfato de manganeso granulado): 20 kg·ha⁻¹.

alto, se aplicó una dosis media de 2 kg·ha⁻¹ como fuente de boratos para evaluar la posible respuesta, por existir altos niveles de Ca y para comprobar el verdadero efecto por la aplicación frecuente de este elemento por parte del agricultor de la región. Todos los tratamientos de menores (tabla 2) llevaron el plan NPK + Mg; las recomendaciones de NPK consignados en la tabla 3 se hicieron a partir del diagnóstico integral del tipo de suelos, procesos edáficos, cuantificación de elementos del análisis de suelos, condiciones óptimas edáficas, balance iónico y extracción nutricional por parte del cultivo (Bertsch, 2003). La recomendación de Mg (70 kg·ha⁻¹ MgO) se hizo después de observadas las deficiencias a nivel del suelo, la extracción del cultivo (30-40 kg·ha⁻¹) y factores de baja disponibilidad, teniendo en cuenta el desbalance con Ca y el medio ácido, por ello se aplicó una fuente de reacción básica de Mg (óxido de Mg granulado).

TABLA 3. Fraccionamiento y dosis de NPK.

NPK*	Primera abonada (kg·ha ⁻¹)	Segunda abonada (kg·ha ⁻¹)	Total (kg·ha ⁻¹)
N	102,0	100	202
P ₂ O ₅	130,0	0	130
K ₂ O	67,3	120	187

* Fuentes de NPK: (14-30-10), (26-0-0) y (0-0-60); 1,8 kg·30 m⁻².

La aplicación del magnesio y microelementos en su totalidad se realizó a los 30 días después del trasplante en la primera abonada del cultivo, mediante el método voleo incorporado; junto con la primera fracción de NPK. Se hizo una segunda abonada con NPK a los 45 días después del trasplante, teniendo en cuenta la recomendación integral de fertilización (tabla 3).

Resultados y discusión

Efecto de la aplicación de magnesio en la producción y calidad de cebolla

Los resultados de la tabla 4 ilustran la respuesta altamente significativa ($P < 0,001$) que presenta la aplicación del Mg en dosis de 70 kg·ha MgO como complemento a la aplicación de NPK, evaluado en el rendimiento total, rendimiento de primera y gravedad específica (tabla 4 y 5). Aunque para el diámetro ecuatorial no se analizaron diferencias estadísticas significativas, se observó mayor porcentaje de bulbos en las clases extra y primera; respecto al tratamiento sin aplicación de Mg (tabla 5), la calidad por mayor promedio de diámetro la mostró el complemento del Mg junto con Zn y Mn con diferencias altamente significativas ($P < 0,001$) y diámetros mayores a 85 mm (figura 1). Las implicaciones de esta interacción se discutirá en la sección siguiente. En relación con el rendimiento, se muestra una respuesta positiva y altamente significativa del Mg, respecto a la clasificación de primera (29,1 t·ha⁻¹; $P < 0,004$) con un incremento de 9,73 t·ha frente a la sola aplicación de NPK (19,4

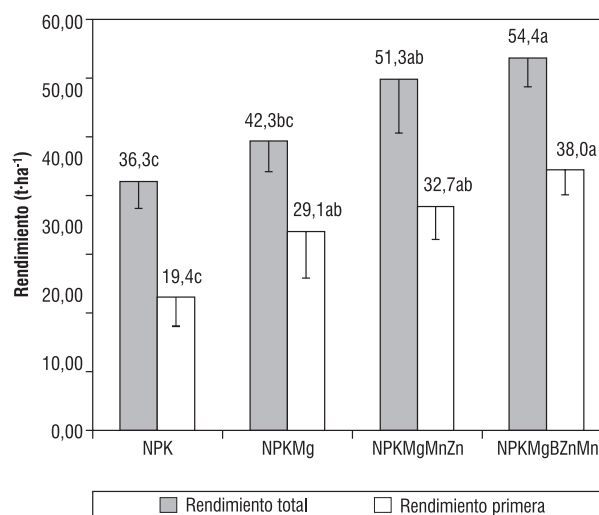


FIGURA 1. Respuesta del Mg y el balance nutricional completo en el rendimiento total y de primera en cebolla bulbo. Promedios con letras distintas, dentro de la misma columna, son estadísticamente diferentes, según prueba la de Tukey ($P < 0,05$).

TABLA 4. Efecto del Mg y micronutrientes (B, Zn y Mn) en rendimiento de cebolla de bulbo.

No.	Tratamiento	Mg	B	Mn	Zn	Rendimientos de cosecha (t·h ⁻¹)				Incremento
		kg·ha ⁻¹				Primera	Segunda	Tercera	Total	Rendimiento total (%)
0	NPK	0	0,0	0,0	0,0	19,37 c	12,00 a	4,92 a	36,29 c	0,0
1	NPKMg	70	0,0	0,0	0,0	29,10 ab	11,67 a	1,56 a	42,25 bc	16,4
2	NPKMgB	70	2,0	0,0	0,0	23,29 bc	12,04 a	1,96 a	37,29 c	2,8
3	NPKMgZn	70	0,0	0,0	3,5	26,30 bc	13,37 a	1,61 a	41,27 bc	13,7
4	NPKMgMn	70	0,0	4,0	0,0	23,30 bc	9,90 a	1,56 a	34,76 c	-4,2
5	NPKMgBZn	70	2,0	4,0	0,0	21,96 bc	12,92 a	1,48 a	36,36 c	0,2
6	NPKMgBMn	70	2,0	0,0	3,5	25,66 bc	12,70 a	1,31 a	39,69 bc	9,4
7	NPKMgMnZn	70	0,0	4,0	3,5	32,71 ab	17,21 a	1,41 a	51,33 ab	41,4
8	NPKMgBZnMn	70	2,0	4,0	3,5	38,00 a	13,13 a	3,30 a	54,40 a	49,9
Diferencias significativas tratamientos (<i>P</i> < 0,05)						0,0004	0,4861	0,2623	0,0001	
Diferencias significativas bloques (<i>P</i> < 0,05)						0,2905	0,1786	0,0299	0,14	
Coeficiente de variación (CV)						18,39	31,33	97,12	11,92	
Coeficiente de repetitividad (R)						0,672	0,352	0,473	0,75	

* Promedios con letras distintas, dentro de la misma columna, son estadísticamente diferentes, según la prueba de Tukey (*P* < 0,05).

t·ha⁻¹) (figura 1). Esta variable tiene una relación directa y positiva con el aumento en la gravedad específica y mayor conversión de sólidos del bulbo, efecto que se comprueba con las diferencias altamente significativas de la gravedad específica por efecto del manejo de Mg como complemento del NPK (tabla 5 y figura 2).

Considerando lo anterior, el balance nutricional con Mg incrementa el rendimiento de primera, total y gravedad específica (figuras 1 y 2), porque se mejora los procesos funcionales de síntesis de clorofila, transformación de

asimilados y transferencia de energía; esto se relaciona con eficiencia en el proceso de llenado del bulbo. La mayor fotosíntesis neta del cultivo por efecto del balance con Mg estimula el inicio de la bulbificación y el transporte equilibrado de carbohidratos al bulbo, debido a que en la fisiología de rendimiento del bulbo se establece una marcada competencia por los carbohidratos entre el estado vegetativo y el llenado de los bulbos (Mengel y Kirkby, 2000).

Efecto del Mg sobre la absorción de nutrientes en el tejido foliar de cebolla

Otra ventaja observada del manejo con Mg es la eficiencia de absorción de otros nutrientes como N, K y P (Marschner y Horts, 1995); respecto a P, junto con el Mg desempeñan un papel importante en la transferencia de energía, donde el Mg forma un puente entre la estructura del pirofosfato del ATP, o del ADP y se activa la ATPasa por el Mg (Mengel y Kirkby, 2000). Esta relación se ve reflejada en el establecimiento de un rango óptimo para P/Mg (figuras 3 y 4), donde aplicaciones de Mg en todos los tratamientos evaluados mejoran la absorción de P foliar; considerando que la aplicación de P fue constante (100 kg/ha), esta tendencia sigue un modelo polinomial de segundo grado significativa, donde se establece un rango crítico para P foliar en cebolla de 0,15-0,22 (figura 3) y Mg/P entre 0,65-0,8 bajo las condiciones de estudio (figura 4); los niveles mayores a estos rangos indican una absorción excesiva de P que deprimen el rendimiento óptimo y se asocia al balance nutricional determinado por los tratamientos de Mg y MgB; mientras tanto, el manejo con solo NPK presenta los niveles más bajos de P foliar y se relaciona con los menores rendimientos,

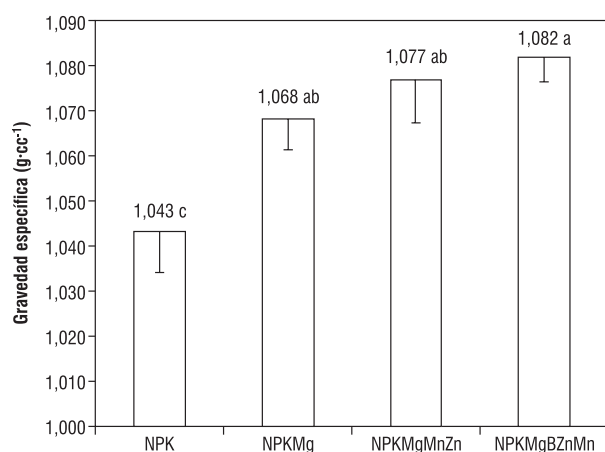


FIGURA 2. Respuesta del Mg y el balance nutricional completo en la gravedad específica. Promedios con letras distintas, son estadísticamente diferentes, según la prueba de Tukey (*P* < 0,05).

TABLA 5. Efecto del plan nutricional en las variables diámetro ecuatorial, gravedad específica y porcentaje de diámetro ecuatorial en parámetros de calidad.

No.	Tratamiento	Mg	B	Mn	Zn	Diámetro ecuatorial (mm)		Gravedad específica	Calidad diámetro ecuatorial (%)		
		kg·ha ⁻¹				Primera	Segunda	g·cc ⁻¹	Extra	Primera	Segunda
0	NPK	0	0,0	0,0	0,0	78,67 b*	56,36 ab	1,043 c	0,00	35,00	65,00
1	NPKMg	70	0,0	0,0	0,0	81,83 b	58,28 ab	1,068 ab	7,50	45,00	47,50
2	NPKMgB	70	2,0	0,0	0,0	81,22 b	61,42 ab	1,056 bc	2,50	60,00	37,50
3	NPKMgZn	70	0,0	0,0	3,5	79,09 b	60,07 ab	1,062 abc	0,00	60,00	40,00
4	NPKMgMn	70	0,0	4,0	0,0	83,15 ab	57,39 ab	1,057 bc	10,00	52,50	37,50
5	NPKMgBZn	70	2,0	4,0	0,0	80,42 b	56,17 ab	1,061 abc	6,50	66,50	27,00
6	NPKMgBMn	70	2,0	0,0	3,5	80,32 b	56,64 ab	1,064 abc	3,00	57,00	40,00
7	NPKMgMnZn	70	0,0	4,0	3,5	88,81 a	59,8 ab	1,077 ab	20,00	38,75	41,25
8	NPKMgBZnMn	70	2,0	4,0	3,5	87,84 a	62,20 a	1,082 a	16,00	37,50	46,50
Diferencias significativas tratamientos (<i>P</i> < 0,05)						0,0001	0,0222	0,0004			
Diferencias significativas bloques (<i>P</i> < 0,05)						0,1659	0,0218	0,9130			
Coeficiente de variación (CV)						2,9106	5,1890	0,9090			
Coeficiente de repetitividad (R)						0,7679	0,5891	0,6570			

* Promedios con letras distintas, dentro de la misma columna, son estadísticamente diferentes, según prueba de Tukey (*P* < 0,05).

lo cual demuestra la baja eficiencia de absorción con solo aplicación de mayores.

Las respuestas positivas del Mg en cebolla asociado al rendimiento y gravedad específica se ve corroborada también con el incremento en la concentración del magnesio en el tejido foliar de 200 mg·kg⁻¹, respecto a al tratamiento NPK, este aumento se observó en todos los tratamientos que contenían este elemento en forma de óxido de magnesio, lo cual indica una eficiencia en la fuente utilizada por la mayor extracción encontrada en el tejido foliar.

Lo anterior comprueba la esencialidad que ejerce este elemento, demostrado por las extracciones que se encuentran alrededor de 40 kg·ha⁻¹ de acuerdo con trabajos realizados por Bertsh (2003), además la alta respuesta y absorción de la fuente aplicada se debe al bajo contenido edáfico nativo mostrado en el análisis de suelos (tabla 1), a la reacción básica de la fuente en el medio sulfatado ácido, la cual mejora el balance frente a la alta saturación de calcio y contrarresta la presencia de aluminio intercambiable (Al⁺⁺⁺). Los anteriores factores deprimen notablemente en este medio la absorción del Mg por el cultivo (Gómez, 2006).

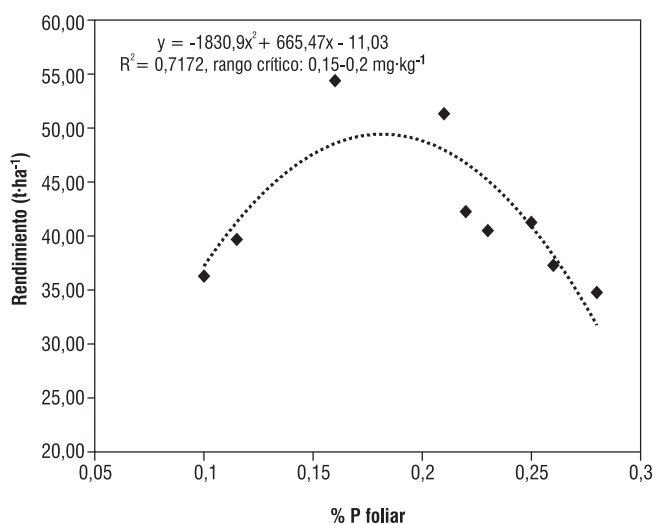


FIGURA 3. Variación del P en el tejido foliar en cebolla bulbo, como respuesta en rendimiento al balance nutricional con Mg, B, Zn y Mn.

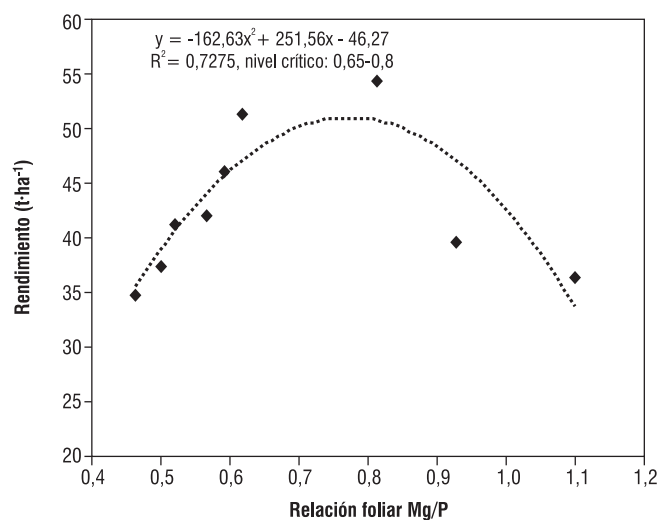


FIGURA 4. Variación Mg/P en el tejido foliar de cebolla bulbo, como respuesta en rendimiento al balance nutricional con Mg, B, Zn y Mn.

Efecto de la aplicación de micronutrientes (B, Zn y Mn) en la producción y calidad de cebolla

De acuerdo con el análisis factorial, prueba de contrastes y a la significancia (tablas 6 y 7), se demuestra que el mejor efecto de micronutrientes lo reporta la interacción de Mn·Zn con 4,0 y 3,5 kg·ha⁻¹ respectivamente, con un efecto positivo y altamente significativo reflejado en mayores rendimientos de primera (35,36 t·ha⁻¹) y total (52,87 t·ha⁻¹), diámetros de primera (88,32 mm) y segunda (59,31 mm), y mayor gravedad específica (1,079 g·cc⁻¹) con respecto a la evaluación de estas variables en ausencia de estos micronutrientes en los planes de fertilización NPKMg (Z0Mn0) (tabla 8). Lo anterior indica una alta relación y consistencia de los parámetros evaluados con el efecto fisiológico que

ejerce Mn y Zn en el cultivo de cebolla y alta respuesta agronómica bajo las condiciones del Sulfic Endoaquepts de estudio.

El incremento en rendimiento de bulbo que ejerce la interacción Mn·Zn como complemento a la fertilización NPK Mg es de 32,76% en Sulfic Endoaquepts y se relaciona directamente con la calidad expresada en mayor significancia en diámetro ecuatorial promedio de 88,32 mm, respecto a 81,52 mm del testigo. Este efecto comprueba la importancia del balance nutricional en el manejo de cultivos, mejorando aún más la brecha entre el rendimiento promedio y el potencial genético que mostró la sola aplicación de Mg.

TABLA 6. Diferencias significativas entre la interacción de los nutrientes B·Zn·Mn en la variable rendimiento.

Fuente	Dosis (kg·ha ⁻¹)			Rendimientos de cosecha							
	B	Mn	Zn	Primera Pr > F		Segunda Pr > F		Tercera Pr > F		Total Pr > F	
B	0,0	0,0	0,0	0,7472	NS	0,8160	NS	0,4136	NS	0,0798	NS
Mn	0,0	4,0	0,0	0,1227	NS	0,5640	NS	0,5661	NS	0,0337	*
Zn	0,0	0,0	3,5	0,0024	**	0,0993	NS	0,6568	NS	0,0010	**
BxMn	2,0	4,0	0,0	0,1716	NS	0,8949	NS	0,4556	NS	0,1335	NS
BxZn	2,0	0,0	3,5	0,1227	NS	0,1703	NS	0,5602	NS	0,5053	NS
MnxZn	0,0	4,0	3,5	0,0019	**	0,3801	NS	0,3234	NS	<0,0001	**
BxMnxZn	2,0	4,0	3,5	0,8347	NS	0,3026	NS	0,2471	NS	0,7967	NS
Bloques	-	-	-	0,5151	NS	0,2051	NS	0,1061	NS	0,1620	NS
	Coeficiente de variación (CV)			18,69		31,52		88,67		12,06	
	Coeficiente de repetitividad (R)			0,79		0,61		0,59		0,86	

* Diferencias significativas ($P < 0,05$).

** Diferencias altamente significativas.

NS: No presenta diferencias significativas.

TABLA 7. Diferencias significativas entre la interacción de los nutrientes B·Zn·Mn en la calidad de cebolla bulbo.

Fuente	Dosis (kg·ha ⁻¹)			Diámetro ecuatorial (mm)					
	B	Mn	Zn	Primera Pr > F	Segunda Pr > F	Gravedad específica Pr > F			
B	0,0	0,0	0,0	0,3766	NS	0,7984	NS	0,9674	NS
Mn	0,0	4,0	0,0	<0,0001	***	0,7922	NS	0,0646	NS
Zn	0,0	0,0	3,5	0,0116	***	0,4297	NS	0,0047	***
BxMn	2,0	4,0	0,0	0,2184	NS	0,4310	NS	0,1509	NS
BxZn	2,0	0,0	3,5	0,3044	NS	0,2623	NS	0,3102	NS
MnxZn	0,0	4,0	3,5	<0,0001	***	0,0051	***	0,0086	***
BxMnxZn	2,0	4,0	3,5	0,9834	NS	0,0010	***	0,3431	NS
Bloques	-	-	-	0,4260	NS	0,0944	NS	0,8942	NS
	Coeficiente de variación (CV)			2,91		5,18		0,89	
	Coeficiente de repetitividad (R)			0,87		0,75		0,75	

* Diferencias significativas ($P < 0,05$).

** Diferencias altamente significativas.

NS: No presenta diferencias significativas.

TABLA 8. Promedio de variables de producción y calidad en la interacción Mn·Zn.

Interacción	Rendimiento (t·ha ⁻¹)		Diámetro (mm)		Gravedad esp. (g·mL ⁻¹)
	Total	Primera	Primera	Segunda	
*Mn ₀ Zn ₀	39,77	26,14	81,52	59,84	1,062
<i>Desv. Estándar</i>	± 6,63	± 5,93	± 3,15	± 2,74	± 0,0082
Mn ₀ Zn _{3,5}	40,48	25,97	79,70	58,89	1,069
<i>Desv. Estándar</i>	± 4,47	± 5,078	± 1,607	± 5,02	± 0,0088
Mn ₄ Zn ₀	35,55	22,63	81,78	58,31	1,059
<i>Desv. Estándar</i>	± 2,34	± 4,63	± 1,852	± 2,93	± 0,011
Mn ₄ Zn _{3,5} **	52,87	35,36	88,32	59,31	1,079
<i>Desv. Estándar</i>	± 6,34	± 4,88	± 2,579	± 3,05	± 0,0079

* Todas estas interacciones llevan 70 kg·ha⁻¹ de MgO

** Diferencias altamente significativas.

La diferencia significativa y positiva en diámetros por la aplicación de los tratamientos con Zn y Mn se debe al crecimiento eficiente obtenido por el bulbo y al mayor número de hojas que se observó para estos tratamientos en el cultivo, las cuales representan una mejor expresión de las catáfilas o capas del bulbo que inducen mayor diámetro ecuatorial y mayor proporción de bulbos de primera (tablas 7 y 8). Los tratamientos con Zn mejoran la gravedad específica porque el llenado del bulbo no sólo depende de la tasa de fotosíntesis catalizada por Mn, sino también por la traslocación de los fotosintatos producidos, en donde el Zn cumple un papel importante (Header, 1975; Marschner y Horts, 1995). La respuesta de estos elementos específicos como Mn y Zn, reflejada en este tipo de suelos, se debe a la baja disponibilidad de Mn por los bajos contenidos encontrados y a la alta relación P/Zn presentes en Sulfic Endoaquepts.

La interacción Mn·Zn no es común en los cultivos y se ha observado que existe más bien un antagonismo por exceso de Mn en suelos moderadamente drenados (Alloway, 2004); en este caso el efecto positivo puede deberse al exceso de Fe en el medio, el cual limita la absorción conjunta de metales como Zn y Mn, además que estos elementos comparten funciones complementarias si están en equilibrio, en los

TABLA 9. Valores promedio del rendimiento, diámetro y gravedad específica como respuesta a los tratamientos con aplicación de Zn y Mn.

Tratamientos	Rendimiento		Diámetro	Gravedad esp. (g·mL ⁻¹)
	Total	Primera	Primera	
Sin Mn	40,13 b	26,09 a	80,61 b	1,063 a
Con Mn	44,22 a	28,99 a	85,05 a	1,069 a
Sin Zn	37,67 b	24,39 b	81,65 b	1,061b
Con Zn	46,68 a	30,67 a	84,65 a	1,071a

procesos de fotosíntesis, el metabolismo de auxinas, metabolismo del nitrógeno en la síntesis de aminoácidos y de ácidos orgánicos (Navarro y Navarro, 2000)

Las aplicaciones conjuntas de solo Mg·Mn restringen considerablemente el rendimiento con respuestas negativas por efecto del Mn y decrementos en el orden del 4% (tablas 4 y 8), debido a sus antagonismos por la inhibición competitiva que ejerce altas concentraciones de Mn, con otros cationes tipo Mg⁺², por su afinidad en el comportamiento respecto a las características químicas de cationes alcalinotérreos y a la similitud en sus funciones fisiológicas (Marschner y Horts, 1995 y Mengel y Kirkby, 2000).

No se observaron diferencias significativas en la respuesta a boro en Sulfic Endoaquepts (tabla 7), debido a las altas concentraciones encontradas en el suelo de estudio y la menor exigencia que tiene el cultivo de acuerdo a evaluaciones hechas por Peña *et al.* (1999) y Lorenz y Maynard (1988), quienes encontraron que los efectos del boro sobre el crecimiento y rendimiento de la cebolla no fueron evidentes y describieron que la respuesta relativa de la cebolla al boro es baja, y alta a las aplicaciones de Zn. Esto supone que se revalúe las frecuentes aplicaciones de fuentes de B edáficas y foliares aplicadas en los cultivos de cebolla en el DRAC cuando los contenidos son mayores a 1 mg·kg⁻¹ en medios ácidos.

Cabe notar el efecto conjunto altamente significativo que ejercen los tratamientos con Zn en el rendimiento total, de primera, gravedad específica y diámetro de primera (tabla 9), lo cual indica una mayor conversión y acumulación de asimilados en el bulbo y eficiencia en los procesos de crecimiento. Los incrementos en rendimiento total de los tratamientos con Zn son en el orden del 25% frente a los tratamientos sin adición de Zn, a pesar de las altas dosis

encontradas de este elemento en el suelo de estudio ($> 5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) de acuerdo con niveles edáficos generales para este cultivo referenciado por Castro (1998, citado por Gómez, 2006), pero su respuesta es positiva por la alta relación P/Zn de 12 presente en el suelo de estudio (tabla 1), nivel limitante para otros cultivos hortícolas (P/Zn > 10) (Gómez, 2006).

Los efectos positivos del Zn aplicado al cultivo se deben posiblemente al antagonismo que ejerce el exceso de P ($72 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), dominio del Ca ($23,34 \text{ cmol}\cdot\text{kg}^{-1}$) y formas precipitadas de óxidos e hidróxidos de zinc en medios con enclavamiento continuo (Malavolta, 2006), como sucede en los Sulfic Endoaquepts de estudio. Este fenómeno es ampliamente explicado por Malavolta (2006) y Alloway (2004).

La significancia y los incrementos en rendimiento observados en la tabla 9 para los tratamientos con Zn, comprueban las respuestas encontradas por Peña *et al.* (1999), los cuales encontraron diferencias significativas cuando se compararon los tratamientos con y sin aplicaciones de Zn, demostrando que aplicaciones de $7 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de sulfato de zinc tienden a incrementar los rendimientos de cebolla, estos resultados coinciden con Gupta *et al.* (1985), quienes encontraron incrementos del 30 y 67% en los rendimientos del cultivo con aplicaciones de 5 y $100 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de zinc respectivamente. Corroborando lo ya observado por Lorenz y Maynard (1988) con una alta respuesta relativa de la cebolla al Zinc, tanto en rendimiento como en la conversión en materia seca.

La respuesta positiva de Zn obtenida en este estudio con dosis de $3,5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ($11 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ sulfato de zinc granulado) corroboran investigaciones hechas por Murphy y Walsh (1972), donde recomiendan para este cultivo aplicar entre 3,4-4,5 kg de Zn; además señalan como dosis recomendable de ZnSO_4 4,5-9,0 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ aplicados al voleo de acuerdo al análisis de suelo o foliar, valor comparable con los 11 kg de sulfato de Zn granulado aplicado para los Sulfic Endoaquepts de estudio.

El efecto conjunto de los tratamientos con Mn fue significativo para el rendimiento total (tabla 9), el cual incide principalmente en el aumento del diámetro de primera; lo anterior muestra una mejora en los procesos de crecimiento y corrobora las funciones esenciales del Mn como regulador de auxinas y eficiencia en la expansión celular (Navarro y Navarro, 2000). La respuesta positiva del manganeso se puede explicar por los bajos contenidos nativos de este elemento en el suelo y por el antagonismo debido al exceso de Fe.

Efecto del Zn sobre la absorción de nutrientes en el tejido foliar de cebolla

El manejo del Zn se manifiesta en la valoración de la relación P-Zn en el tejido foliar como lo ha investigado Marschner (1995) y Khah y Ajakaiye (1976, citados en CIESA 1994), en cebolla bajo suelos de Nigeria, donde observaron antagonismos de P/Zn en el tejido foliar por excesos de P. Este fenómeno se observó en los tratamientos de estudio con aplicaciones de Zn, los cuales mejoraron la absorción de P foliar con el mejor rendimiento a partir de una relación en el tejido foliar P/Zn a partir de 35, pero niveles altos de P/Zn mayores a 55 deprimen los rendimientos óptimos con los decrecientes debido al exceso de P foliar. Esta curva sigue un modelo polinomial (figura 5). Esto se debe al exceso de P resulta en un desorden metabólico por la inhibición del Zn, al formar componentes de Zn insolubles en la savia y limitar su absorción a larga distancia (Marschner y Horts, 1995).

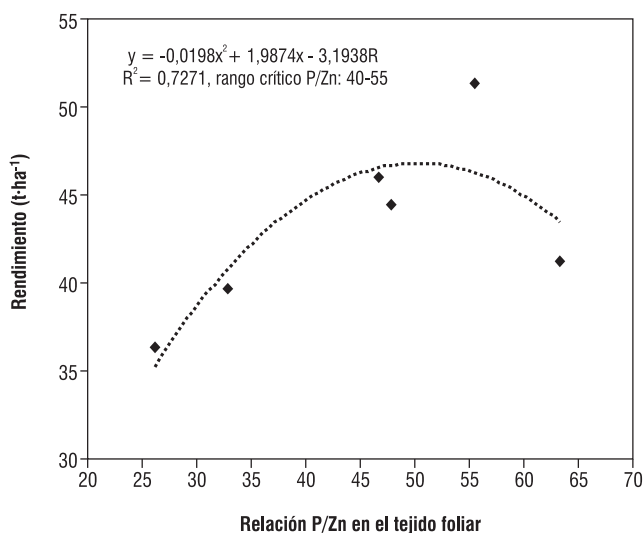


FIGURA 5. Relación P/Zn en el tejido foliar de *Allium cepa* como respuesta al balance nutricional con los tratamientos que contienen Zn.

Conclusiones

Para disminuir la brecha entre el rendimiento promedio de la zona y el rendimiento potencial es fundamental diagnosticar los factores limitantes que en conjunto afecten la disponibilidad y absorción de nutrientes para el cultivo de cebolla en Sulfic Endoaquepts, donde se observa que el manejo de la nutrición y recomendaciones de fertilización además del NPK deben dirigirse en el siguiente orden de mayor a menor $\text{Mg} > \text{Zn} > \text{Mn} > \text{B}$: 1) manejo del Mg por la extracción del cultivo, pH, antagonismo por excesos de

Ca en el suelo y la eficiencia que ejerce en la mejor absorción foliar del P (relación Mg/P); 2) el manejo del Zn, teniendo en cuenta primero el diagnóstico P/Zn en el suelo y tejido foliar; la eficiencia que ejerce en la mejor absorción de P, la exigencia de este elemento por el cultivo, y la incidencia que muestra en la calidad del cultivo; 3) el manejo del Mn por sus bajos contenidos nativos en el suelo, alto hierro y su influencia en variables de calidad poscosecha.

Las fuentes utilizadas: óxido de magnesio (40% MgO), sulfato de zinc granulado (22% Zn) y sulfato de manganeso granulado (20% Mn), presentan una opción importante, pues son eficientes al aportar Mg, Zn y Mn a este tipo de suelos, en consecuencia se recomienda, a partir de estas fuentes, aplicaciones de manera elemental de 70 kg·ha⁻¹ de Mg, 3,5 kg·ha⁻¹ de Zn y 4,0 kg·ha⁻¹ de Mn, las cuales en conjunto presentan una relación beneficio/costo positiva y una alternativa importante para optimizar el rendimiento, la calidad y, por ende, las ganancias al agricultor de la región.

Literatura citada

- Agroinformación. 2003. El cultivo de la cebolla. En: Infoagro, <http://www.infoagro.com/hortalizas/cebolla>. 2 p.; consulta: junio de 2006.
- Alloway, B. 2004. Zinc in soil and crop nutrition. International Zinc Association (IZA), Bélgica. pp. 21-24.
- Bertsch, F. 2003. Absorción de nutrimentos por los cultivos. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. Colorgraf S.A., Costa Rica. 307 p.
- Bruzón, S. 1996. El cultivo de la cebolla cabezona (*Allium cepa* L.) en Colombia. Universidad Nacional de Colombia, Palmira. pp. 1-75.
- Buchanan, G. 2001. Onion production guide. University of Georgia. 44 p.
- CESCA. 1994. Crecimiento y absorción de nutrientes en cebolla. En: www.tdx.cesca.es/TESIS_UdL/AVAILABLE/TDX-0203105-121049//Tab08de16.pdf; 47 p.; consulta: junio de 2006.
- Fageria, N., V. Baligar y R. Clark. 2002. Los micronutrientes en la producción de cultivos. Elsevier Science. pp. 185-286.
- GISSAT. 2004. Caracterización de la problemática de suelos sulfatados ácidos improductivos y evaluación del manejo para su habilitación agrícola. Proyecto Colciencias-UPTC-Uso Chicomocha, Tunja. 23 p.
- Gómez J. 2001. Evaluación de la aplicación de urea, melaza y aminoácidos sobre el crecimiento y rendimiento de la cebolla de bulbo (*Allium cepa* L. grupo cepa) híbrido *yellow granex*, en condiciones de la sabana de Bogotá. Trabajo de grado. Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Gómez, M.I. 2006. Manual técnico de fertilización de cultivos. Microfertisa S.A. Produmedios, Bogotá.
- Gómez, M.I. y H. Castro. 2003. Diagnóstico de la fertilidad en suelos sulfatados ácidos de Boyacá e implicaciones de manejo. GIS-SAT, documento interno. 26 p.
- Gupta, V.K., H. Raj y S.P. Gupta 1985. A note on effect of zinc concentration of onion (*Allium cepa* L.). Haryana J. Hort. Sci. 12(1), 141-142.
- Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). 1992. Fertilización en diversos cultivos. Quinta aproximación. Manual de asistencia técnica N.º 25. Corpoica, C.I. Tibaitatá. 56 p.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). 1990. Métodos analíticos laboratorio de suelos. Bogotá. 499 p.
- Jayamohanrao, V. 1974. Effect of copper and boron on the mineral composition of onion (*Allium cepa* L.). Andhra Agr. J. 15(1), 170-172.
- Lal, S. y A. N. Maurya. 1983. Effects of zinc on onions. Haryana J. Hort. Sci. 10(3), 231-235.
- Lorenz, O. y D. Maynard. 1988. Knott's handbook for vegetable growers. 3rd edition. Wiley, Nueva York.
- Loué, A. 1998. Microelements in the agriculture. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 354 p.
- Malavolta, E. 2006. Relación entre el fósforo y zinc. En: www.ppi-ppic.org/ppiweb/Inpofos. Ecuador. 3 p.; consulta: diciembre de 2006.
- Marschner, P. y G. Horts. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Segunda edición. Academic Press, San Diego. pp. 313-396.
- Mengel, K. y E. Kirkby. 2000. Principios de nutrición vegetal. International Potash Institute. Basel. pp. 245-549.
- Murphy, L.S. y L.M. Wlask. 1972. Correction of micronutrient deficiencies with fertilizers. En: Mortvedt, J.J., P.H. Giordano y N.L. Lindsay (eds.). Micronutrients in Agriculture. Soil Science Society of America, Inc. Madison, Wisconsin.
- Navarro S. y G. Navarro. 2000. Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 487 p.
- Peña C, D. Añez y M. Ávila. 1999. Respuesta de la cebolla a la aplicación de azufre, magnesio, zinc y boro en un suelo alcalino. Revista Forestal Venezuela 43(2), 173-182.
- Rao, V.J.M. y R. Deshpande. 1973. Effect of micronutrients (copper and boron) on the growth and yield of onion (*Allium cepa*). Indian Agr. Res. 5(4).
- Soil Survey Staff. 2003. Keys to soil taxonomy. 7th edition. U.S.D.A. Soil Conservation Service, U.S. Govt. Printing Office, Washington D.C. 306 p.
- Sullivan D. 2001 Nutrient management for onions in the Pacific Northwest. Oregon State University. 28 p.
- Thompson, K. 1998. Tecnología poscosecha de frutas y hortalizas. Primera edición. Convenio Sena-Reino Unido, Armenia. pp. 58-61.
- Yamada, F. 2003. Boro: se están aplicando las dosis suficientes para el adecuado desarrollo de la planta. En: www.ppi-ppic.org/ppiweb/iaecu.nsf/; Inpofos, Ecuador. 8 p.; consulta: diciembre de 2006.