

## Evolución del contenido de elementos nutrientes en suelos cultivados con cebolla de bulbo

### Evolution of nutrients element content in soils dedicated to onion crop

Nelson V. Piraneque G.,<sup>1</sup> Sonia E. Aguirre F.,<sup>2</sup> Juan C. Menjivar F.<sup>3</sup>

RECIBIDO: AGOSTO 30/06. ACEPTADO: FEBRERO 15/07

<sup>1</sup> Ing. Agr. Facultad de Agronomía. Universidad de Tunja. npiraneque@palmira.unal.edu.co

<sup>2</sup> Ing. Agr. M.Sc. Facultad de Agronomía. Universidad de Tunja. sonia@unad.edu.co

<sup>3</sup> Ing. Agr. Ph.D. Universidad Nacional de Colombia. AA 237. Palmira, Valle. Autor para correspondencia. jcmenjivarf@unal.edu.co

#### RESUMEN

El objetivo del estudio fue determinar la evolución del contenido de nutrientes en suelos destinados al cultivo comercial de cebolla de bulbo (*Allium cepa*) en el municipio de Tibasosa, Boyacá. En un suelo *sulfic endoaquepts* se establecieron tres tratamientos: Sin fertilización (T1), con fertilización convencional de la zona (T2) y fertilización con base en el análisis de suelos (T3). Se recolectaron muestras para análisis 20 días antes de la siembra y a los 45, 90 y 120 días después de la siembra (DDS). Los contenidos de macroelementos se presentaron en el orden N>Ca>K>Mg>S>P y los de micronutrientes Mn>Fe>Zn>Cu>B existiendo interacciones positivas entre N/Fe, P/K, P/Ca, P/Mg, K/Mg, K/S, Mg/S, B/Zn y Cu/Mn y negativas entre N/K, N/S, P/Fe, K/Fe, Mg/Fe, B/Fe, S/Fe, Cu/Zn y Zn/Mn afectando su concentración y disponibilidad. Los análisis permitieron inducir que un contenido adecuado de nutrientes incrementa el rendimiento en la zona.

Palabras claves: *Allium cepa*, *Sulfic endoaquepts*, Fertilidad.

#### SUMMARY

To determine the evolution of nutrient content in soils dedicated to commercial onion crop (*Allium. cepa*) in the municipality of Tibasosa, Boyacá, Colombia, in a *Sulfic endoaquepts* soil, three treatments established: Without fertilization (T1), conventional fertilization used in the area (T2) and fertilization according to analysis of soils (T3). Samples were collected for analysis 20 days before plantation and 45, 90 and 120 days after sowing. The of contents macroelements showed the following order N>Ca>K>Mg>S>P and those of micronutrients, Mn>Fe>Zn>Cu>B. There were positive interactions among N/Fe, P/K, P/Ca, P/Mg, K/Mg, K/S, Mg/S, B/Zn and Cu/Mn and negative interactions among N/K, N/S, P/Fe, K/Fe, Mg/Fe, B/Fe, S/Fe, Cu/Zn and Zn/Mn affecting their concentration and availability. The results evidence that a balanced content of nutrients can increase the yield.

Key words: *Allium cepa*, *Sulfic endoaquepts*, Fertility.

#### INTRODUCCIÓN

La intensificación de la agricultura no ha entendido la importancia del manejo eficiente de la fertilidad del suelo y de la nutrición vegetal para la salud y la sobrevivencia de las especies (Brady y Weil, 1999, Havlin *et al.*, 2005). En Colombia las investigaciones sobre fertilidad en especies hortícolas son escasas (Castro, 1998). El departamento de Boyacá es el principal productor de cebolla de bulbo (*Allium cepa*) en el país, distinguiéndose las provincias de Ricaurte, Centro y el distrito de riego del alto Chicamocha donde

se siembran alrededor de 2.000 ha en monocultivo o en rotación (Rincón, 2005; Gissat, 2004; GMBC, 2002; Ramírez) en suelos con fertilidad limitada por la presencia de azufre e inadecuado manejo, con alto uso de agroquímicos (Aguirre *et al.*, 2006).

Ante esta situación se consideró oportuno determinar la evolución del contenido de nutrientes en suelos destinados al cultivo comercial de cebolla de bulbo en el municipio de Tibasosa, Boyacá, identificando la influencia sobre la producción. Con los resultados se pretende aportar herramientas que

contribuyan al manejo racional y conservación del suelo en la zona.

### MATERIALES Y MÉTODOS

Los datos sobre localización del experimento, propiedades físicas y químicas de los suelos, manejo del sistema, diseño del experimento y tratamientos se enunciaron en un artículo previo (Aguirre *et al.*, 2006). Con la información obtenida se realizó análisis de varianza y prueba de amplitudes múltiples de Duncan (con el ánimo de determinar diferencias y similitudes entre los tratamientos), estadística descriptiva de cada variable (media, coeficiente de variación,...), análisis de correlación simple y múltiple. Identificado el tratamiento con mayor rendimiento se tabularon los contenidos de elementos nutrientes y posteriormente se determinaron las relaciones de nutrientes y su nivel de asociación mediante análisis de correlación múltiple de Pearson.

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### Análisis de la evolución de las propiedades del suelo.

En cuanto a pH se presentaron valores extremos de pH entre 7.65 (Alcalino) y 4.54 (extremadamente ácido), con diferencias altamente significativas entre épocas (Tabla 1). En términos generales se observó tendencia

al descenso a medida que transcurrió el tiempo; con el descenso aumentó la disponibilidad de Fe, B, Zn, Mn y Cu y disminuyó la de N, P, K, Ca, Mg, S y B.

Los resultados obtenidos son el producto de diferentes reacciones que originan iones H<sup>+</sup>, que reducen el pH (Brady y Weil, 1999), y por otro lado existen varios procesos químicos que ocurren en la vecindad de las raíces que afectan la absorción de nutrimentos por parte de las plantas. Igualmente la planta genera compuestos vía rizosfera hacia el suelo y estimula el crecimiento de microorganismos, algunos de ellos benéficos como los hongos micorrízicos y las bacterias fijadoras de N<sub>2</sub>. Estos exudados o productos de la rizodeposición pueden generar variaciones de pH y el potencial redox del suelo, afectando la absorción de nutrientes (Hinsinger y Jailard, 1993; Marschner, 2003).

El contenido de materia orgánica presentó diferencias altamente significativas entre épocas probablemente debido a la alta heterogeneidad del terreno; en términos generales se presentaron valores que oscilaron entre 7.4 y 15.6% en la primera profundidad (0 – 10 cm) y de 8.2 a 15.5 en la segunda, valores que incrementan la superficie específica y por tanto la CIC de los suelos (Castro, 1998).

El nitrógeno presentó diferencias altamente significativas entre el muestreo inicial y las épocas 45, 90 y 120DDS. Los extremos se encontraron en 3.7% (3130.68 kg . ha<sup>-1</sup>) y 7.8% (6543.60 kg ha<sup>-1</sup>), los

Tabla 1. Indicadores estadísticos y prueba de significancia por fuente de variación.

Variable	Unidad	Máximo	Mínimo	Media	R <sup>2</sup>	C.V.	Pr>F por fuente de variación			
							Lote	Trat	Prof	Época
pH	Un	7.65	4.54	5.81	0.77	9.28	0.083	0.69	0.81	<0.0001
MO	g.kg <sup>-1</sup>	155.80	74.54	113.54	0.5	20.4	0.69	0.77	0.86	0.0013
N		7.79	3.73	5.68	0.5	20.14	0.69	0.77	0.86	0.0013
P	mg.kg <sup>-1</sup>	375.96	29.39	135.82	0.45	57.7	0.38	0.48	0.19	0.048
K	cmol(+)	4.77	0.92	2.55	0.29	36.32	0.012	0.79	0.86	0.87
Ca	kg <sup>-1</sup>	29.35	9.38	16.61	0.83	14.11	0.086	0.68	0.63	<0.0001
Mg		3.87	0.94	2.72	0.28	27.25	0.27	0.76	0.86	0.22
Na		1.99	0.00	0.72	0.49	89.8	0.101	0.9	0.86	0.0014
B		10.29	1.13	4.08	0.59	31.74	0.12	0.0449	0.55	0.0047
S		955.00	91.40	284.90	0.5	66.5	0.84	0.64	0.336	0.0011
Fe	mg kg <sup>-1</sup>	193.03	0.82	22.04	0.41	134.2	0.09	0.66	0.234	0.088
Cu		78.37	0.02	13.80	0.98	29.6	0.045	0.08	<0.0001	0.044
Zn		146.16	0.12	19.90	0.74	77.1	0.382	0.0188	0.47	<0.0001
Mn		78.81	17.32	35.23	0.78	25.4	0.0064	0.375	0.0094	<0.0001

valores fueron altos (superior a 0.3%) en todos los tratamientos, lotes y épocas comparado con el valor reportado de 0.15% de mineralización del nitrógeno en clima frío (Castro, 1998), que afecta enormemente su disponibilidad para las plantas. La distribución del N en la superficie del suelo va de la mano con contenidos de materia orgánica (Brady y Weil, 1999). Así, en los lotes en estudio, a pesar de los altos valores, éstos pueden estar como moléculas orgánicas y cerca del 99% del mismo no disponible para las plantas. Teniendo en cuenta lo anterior, es necesario el suministro de N con el fin de evitar deficiencias en el periodo vegetativo del cultivo.

El fósforo presentó diferencias significativas entre el muestreo inicial y los restantes. Se comportó de manera similar al pH; los valores extremos se situaron entre 29.39 mg kg<sup>-1</sup> (27.03 kg . ha<sup>-1</sup>) y 375.96 mg kg<sup>-1</sup> (330.84 kg . ha<sup>-1</sup>) y el contenido en todos los tratamientos, lotes y épocas fue muy alto (superior a 21 mg kg<sup>-1</sup>), concentraciones que pueden provenir de complejos hierro-fosfato, que en condiciones de acidez precipitan afectando la disponibilidad para las plantas debido a la insolubilidad del elemento. La acidez de los suelos sulfatoácidos contribuye a la disolución de óxidos e hidróxidos de hierro, que al precipitar, taponan los poros del suelo (GISSAT, 2004).

En estos suelos la presencia de arcillas, entre ellas la caolinita, puede estar fijando iones fosfato en su superficie. La mayor proporción de fósforo fijado en suelos ácidos probablemente se presenta cuando los iones H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> reaccionan o son adsorbidos a las superficies de óxidos insolubles de hierro, aluminio y manganeso, tales como gibsitita (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.3H<sub>2</sub>O) y goethita (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.3H<sub>2</sub>O), que se presentan como partículas cristalinas, no cristalinas y como cutanes sobre la interlámina y superficie externa de las arcillas (Brady y Weil, 1999). De acuerdo con lo anterior, y si se tienen en cuenta los resultados del análisis petrográfico (el cual reportó caolinita, goethita y limonita), la disponibilidad de fósforo para las plantas puede verse afectada por fijación y precipitación del elemento. Así mismo, las altas concentraciones del elemento pueden estar asociadas con formas orgánicas predominantes en este tipo de suelos por el origen lacustre.

El potasio mostró diferencias significativas entre lotes, con valores extremos entre 0.92 cmol(+)/kg<sup>-1</sup> (330.1 kg ha<sup>-1</sup>) y 4.77 cmol(+)/kg<sup>-1</sup> (1.730 kg ha<sup>-1</sup>), niveles elevados asociados con illita, arcilla que fija grandes cantidades de potasio en los espacios intralaminares (Castro, 1998; Brady y Weil, 1999; Marschner, 2003). Cuando se reduce el pH el contenido de potasio aumenta; esto se puede explicar desde el punto de vista de mayor cantidad de iones H<sup>+</sup> y/o de hidroxialuminio, que restringe el asocio de iones K<sup>+</sup> con las superficies coloidales, disminuyendo la fijación. Los valores reportados excedieron los límites

superiores en todos los tratamientos, aunque se presentó fijación del elemento, existen suficientes cantidades disponibles para las plantas.

De calcio se registraron valores extremos de 9.38 cmol(+)/kg<sup>-1</sup> (1725.92 kg ha<sup>-1</sup>) y 29.35 cmol(+)/kg<sup>-1</sup> (5.165.6 kg . ha<sup>-1</sup>) con diferencias significativas entre épocas. Este catión dominó en el complejo de cambio del suelo, ocupando la mayoría de los sitios de intercambio. Los valores reportados superaron los niveles óptimos del elemento (6 cmol(+)/kg<sup>-1</sup>), e incluso puede interferir en la disponibilidad de K<sup>+</sup> y Mg<sup>++</sup>. El Ca<sup>++</sup> obedece a relaciones directas con el pH en este suelo. La adición de fertilizantes con magnesio puede estar desplazando iones Ca<sup>++</sup> a la solución; estos, por un lado, son tomados por la planta, pero también se presenta salida del catión del sistema, situación que puede explicarse por las condiciones de humedad existentes en los primeros 45 días. El aumento en la humedad del suelo puede generar H<sup>+</sup> que desplazan cationes de los sitios de intercambio. Altos volúmenes de agua en el perfil pueden traducirse en mayores cantidades de iones H<sup>+</sup> y por lo tanto el suelo tiende a acidificarse (Havlin *et al.*, 2005). El análisis preliminar mostró valores elevados de Calcio (4.070.6 kg ha<sup>-1</sup>), lo que hace suponer una labor de encalado no informada por el dueño del predio.

Los valores extremos de magnesio se encontraron entre 0.94 cmol(+)/kg<sup>-1</sup> (103.78 kg ha<sup>-1</sup>) y 3.87 cmol(+)/kg<sup>-1</sup> (390.1 kg ha<sup>-1</sup>), sin diferencias significativas en las fuentes de variación (Tabla 1). Los valores fueron elevados; sin embargo, las cantidades de Ca<sup>++</sup> y K<sup>+</sup>, pueden afectar la disponibilidad, ya que la reducción en las concentraciones de Ca<sup>++</sup> concordó con el incremento de Mg<sup>++</sup>, especialmente en los periodos 0 – 45 DDS en el lote P y luego de los 90 DDS en el lote A. La aplicación de fertilizantes que contienen Mg mejoraron las relaciones con Ca<sup>++</sup>, y K<sup>+</sup>. La absorción de este elemento por parte de las plantas depende del porcentaje dentro de la CIC y del Mg<sup>++</sup> intercambiable (Havlin *et al.*, 2005). Durante el ensayo el porcentaje de saturación de Mg fue menor del 15%, sugiriendo una limitación para la planta. Los mismos autores anotan que este elemento se encuentra presente en minerales arcillosos tipo Illita, dominante en este suelo.

En azufre se presentaron diferencias altamente significativas entre épocas con valores extremos entre 91.4 mgkg<sup>-1</sup> (85 kg ha<sup>-1</sup>) y 955 mgkg<sup>-1</sup> (888.15 kg ha<sup>-1</sup>). El comportamiento del elemento presentó relación inversa con el pH. El pH bajo coincidió con altas concentraciones de S, condición normal en suelos sulfatoácidos. La adsorción del ión sulfato es menor a mayor pH y aumenta en la medida en que dominan las arcillas 1:1 e hidróxidos de hierro y aluminio (Havlin *et al.*, 2005; Brady y Weil, 1999). Dependiendo del tipo

de arcilla, cuando se saturan con ión  $H^+$ , la adsorción sigue el siguiente orden: caolinita>illita>bentonita. La oxidación del S y del  $H_2S$ , así como la oxidación del nitrógeno, es un proceso de acidificación. Por varios átomos de azufre oxidado, se forman dos iones  $H^+$ .

El contenido del elemento es alto ( $> 200 \text{ mg kg}^{-1}$ ), concentración proveniente de los materiales originarios, la topografía (plano-cóncavo) y deficiente drenaje, lo que contribuye en la formación de compuestos de baja solubilidad y en la oxidación de otros ricos en azufre, como la pirita en las épocas secas (Rincón, 2005), lo que se manifestó en mayores concentraciones del elemento al final del ensayo. El drenaje eficiente de suelos con altos contenidos de azufre puede traducirse en mayor disponibilidad del elemento (Havlin *et al.*, 2005), especialmente para los requerimientos de ajo y cebolla (Bolck, 1991). Los compuestos azufrados tipo tiols y sulfóxidos (disulfuro de dialil y di-n-disulfuro propil entre otros) estimulan la germinación de *S. cepivorum* (Coley-Smith, 1999), patógeno que limita los rendimientos de la especie en la zona. El origen del azufre en forma orgánica en este tipo de suelos puede atribuirse a la mineralización anaeróbica o aeróbica de la materia orgánica con producción de sulfatos o sulfuros (Brady y Weil, 1999).

Los valores extremos de boro se situaron entre  $1.13 \text{ mg}^{-1}$  ( $1.04 \text{ kg ha}^{-1}$ ) y  $10.29 \text{ mg kg}^{-1}$  ( $8.64 \text{ kg ha}^{-1}$ ) con diferencias significativas entre tratamientos y altamente significativas entre épocas. En términos generales, el contenido de boro en todas las épocas fue elevado ( $>0.40 \text{ mg kg}^{-1}$ ), variando entre los tratamientos posiblemente por la aplicación de agroquímicos que lo contenían. El T3 presentó el mayor promedio con  $4.19 \text{ kg ha}^{-1}$  seguido del T1 con  $3.5 \text{ kg ha}^{-1}$ . Lo anterior repercute en la mayor concentración del elemento ( $4.47 \text{ kg ha}^{-1}$ ), que se presentó al final del ensayo. Las plantas pueden tolerar altas cantidades de B en el suelo cuando se presentan altos contenidos de calcio (Havlin *et al.*, 2005).

Los valores extremos de hierro se encontraron entre  $0.82 \text{ mg kg}^{-1}$  ( $0.72 \text{ kg ha}^{-1}$ ) y  $193.03 \text{ mg kg}^{-1}$  ( $177.59 \text{ kg ha}^{-1}$ ), sin diferencias estadísticas significativas en las fuentes de variación. La presencia de minerales como goethita y limonita (ricos en hierro), puede explicar los contenidos en el suelo. La reducción gradual del pH y las condiciones físicas hacen posible la solubilidad de este elemento y por consiguiente la disponibilidad para las plantas.

Se presentaron valores extremos de cobre entre  $0.02 \text{ mg kg}^{-1}$  ( $0.02 \text{ kg ha}^{-1}$ ) y  $78.37 \text{ mg kg}^{-1}$  ( $68.97 \text{ kg ha}^{-1}$ ) sin diferencias significativas entre lotes y altamente significativas en profundidad y época. En la época de lluvia aumentó la aplicación de productos fitosanitarios,

entre ellos los que contienen Cu, lo que puede explicar las altas concentraciones del elemento, principalmente en los primeros centímetros durante el primer periodo de crecimiento de la planta. Igualmente la prueba múltiple de comparación de medias de Duncan mostró mayor concentración del elemento en superficie ( $14.8 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Las mayores concentraciones de Cu se presentan hacia los 45DDS, época donde el pH osciló entre 5 y 5.5 en todos los tratamientos. El T3 presentó el mayor promedio con  $13.3 \text{ kg ha}^{-1}$ , mientras que el T1 reportó los menores con  $10.535 \text{ kg ha}^{-1}$ . La concentración de Cu decrece con el incremento del pH debido a que disminuye la solubilidad y se incrementa la adsorción en la superficie de las arcillas, materia orgánica y/u óxidos de hierro, aluminio o manganeso (Havlin *et al.*, 2005). Los niveles de cobre aumentaron hacia los 45 DDS y decrecieron con el tiempo y a partir de los 90DDS fueron deficientes en el suelo ( $<1 \text{ mg kg}^{-1}$ ).

En zinc se presentaron diferencias significativas entre tratamientos y altamente significativas entre épocas, con valores extremos entre  $0.12 \text{ mg kg}^{-1}$  ( $0.11 \text{ kg ha}^{-1}$ ) y  $146.16 \text{ mg kg}^{-1}$  ( $122.77 \text{ kg ha}^{-1}$ ). El encharcamiento es uno de los factores que afectan la disponibilidad del elemento (Havlin *et al.*, 2005). En suelos ácidos en condiciones reductoras el descenso de la concentración de zinc coincidió con el aumento en el pH. El comportamiento inverso del zinc y del fósforo se evidencia con claridad al final del ensayo.

Los valores extremos de manganeso se encontraron entre  $17.32 \text{ mg kg}^{-1}$  ( $16.11 \text{ kg ha}^{-1}$ ) y  $78.81 \text{ mg kg}^{-1}$  ( $72.51 \text{ kg ha}^{-1}$ ), con diferencias altamente significativas para lotes, profundidad y época. Las concentraciones en todos los casos (tratamientos, lotes y épocas) excedieron los límites superiores ( $>10 \text{ mg kg}^{-1}$ ), pero los altos contenidos de hierro, cobre y Zn pueden estar restringiendo la absorción del Mn. De manera similar que el hierro y el cobre, el Mn dependió del pH, en la época de mayor humedad descendió la concentración, posiblemente debido al consumo por la planta o porque parte de éste sale del sistema. Las mayores concentraciones del elemento se presentaron a la profundidad 10-20 cm, sugiriendo contenidos importantes en la materia orgánica y los óxidos de hierro. La concentración de Mn en el lote A después de los 45DDS indicó aporte importante del subsuelo.

A nivel edáfico los contenidos de macroelementos se presentaron en el orden  $N > Ca > K > Mg > S > P$  y los de micronutrientes así:  $Mn > Fe > Zn > Cu > B$  donde el mayor rendimiento lo reportó el tratamiento 3 del lote P (Tabla 2), con valores promedio superiores y diferentes a los reportados por Guerrero (1998), Castro (1998), y Osorio (1992).

Tabla 2. Evolución del contenido de nutrientes en los lotes de mayor rendimiento (T3 lote P) durante tres épocas de muestreo.

Prof cm	DDS*	pH	MO	N	P	K	Ca	Mg	Na	B	S	Fe	Cu	Zn	Mn
		Un	g kg <sup>-1</sup>	mg kg <sup>-1</sup>	cmol(+) kg <sup>-1</sup>			mg kg <sup>-1</sup>							
0 - 10	0	7.65	90.10	4.51	126.09	3.02	29.35	2.68	1.99	4.09	113.50	0.82	0.02	2.64	24.03
	45	5.71	119.00	5.95	128.50	2.96	13.94	3.08	0.97	4.60	172.50	10.94	78.37	0.24	24.21
	90	5.50	106.91	5.35	59.93	3.09	12.70	2.61	1.25	3.70	158.87	17.51	0.67	28.61	51.74
	120	4.91	145.07	7.25	105.23	2.26	13.83	2.11	0.00	7.32	481.13	25.21	0.72	69.46	29.14
10 - 20	0	7.09	82.20	4.11	122.64	2.31	19.92	2.26	1.08	4.23	91.40	4.17	0.15	13.41	59.01
	45	5.78	112.30	5.62	93.20	3.01	13.62	2.99	1.23	4.23	223.91	8.32	52.12	0.43	21.36
	90	5.43	85.62	4.28	137.26	2.71	15.52	3.34	0.00	6.23	321.74	9.79	0.94	58.24	35.75
	120	4.71	153.87	7.69	47.87	1.57	14.21	2.04	0.00	4.15	593.18	27.97	0.26	30.09	29.73

\*Días después de la siembra

### Relaciones de nutrientes

El análisis de las interacciones entre los diferentes nutrientes establece claramente interacciones positivas entre N/Fe, P/K, P/Ca, P/Mg, K/Mg, K/S, Mg/S, B/Zn y Cu/Mn. Por otro lado se presentaron interacciones negativas entre N/K, N/S, P/Fe, K/Fe, Mg/Fe, B/Fe,

S/Fe, Cu/Zn y Zn/Mn (Tabla 3), valores que permiten establecer que en el movimiento y/o dinámica de los elementos influyen no solo estas interacciones, sino el pH, el contenido de materia orgánica y la humedad (Hinsinger y Jailard, 1993).

Tabla 3. Relaciones significativas entre elementos obtenidos por el tratamiento de mayor rendimiento (PT3) en tres épocas de muestreo.

Expresión <sup>&amp;</sup>	A.S	DDS				r	Signif.	Expresión <sup>&amp;</sup>	A.S	DDS				r	Signif
		45	90	120						45	90	120			
N/P	0.04	0.05	0.09	0.07	-0.42	NS	Ca/Mg	10.95	4.53	4.87	6.55	0.32	NS		
N/K	1.49	2.01	1.73	3.21	-0.58	*	Ca/B	7.18	3.03	3.43	1.89	0.02	NS		
N/Ca	0.15	0.43	0.42	0.52	0.06	NS	Ca/S	0.26	0.08	0.08	0.03	0.02	NS		
N/Mg	1.68	1.93	2.05	3.44	-0.25	NS	Ca/Fe	35.79	1.27	0.73	0.55	-0.40	NS		
N/B	1.10	1.29	1.44	0.99	-0.03	NS	Ca/Cu	1467.50	0.18	18.93	19.21	0.08	NS		
N/S	0.04	0.03	0.03	0.02	-0.60	*	Ca/Zn	11.12	58.08	0.44	0.20	-0.19	NS		
N/Fe	5.50	0.54	0.31	0.29	0.56	*	Ca/Mn	1.22	0.58	0.25	0.47	0.24	NS		
N/Cu	225.50	0.08	7.97	10.07	0.05	NS	Mg/B	0.66	0.67	0.71	0.29	0.38	NS		
N/Zn	1.71	24.79	0.19	0.10	-0.06	NS	Mg/S	0.02	0.02	0.02	0.00	0.50	*		
N/Mn	0.19	0.25	0.10	0.25	0.20	NS	Mg/Fe	3.27	0.28	0.15	0.08	-0.68	*		
P/K	41.75	43.51	19.39	46.56	0.69	*	Mg/Cu	134.00	0.04	3.89	2.93	0.20	NS		
P/Ca	4.30	9.24	4.72	7.61	0.49	*	Mg/Zn	1.02	12.83	0.09	0.03	-0.21	NS		
P/Mg	47.05	41.82	22.96	49.87	0.64	*	Mg/Mn	0.11	0.13	0.05	0.07	0.28	NS		
P/B	30.83	28.00	16.20	14.38	0.35	NS	B/S	0.04	0.03	0.02	0.02	0.14	NS		
P/S	1.11	0.75	0.38	0.22	0.47	NS	B/Fe	4.99	0.42	0.21	0.29	-0.57	*		
P/Fe	153.77	11.77	3.42	4.17	-0.75	**	B/Cu	204.50	0.06	5.51	10.17	-0.34	NS		
P/Cu	6304.50	1.64	89.31	146.15	0.07	NS	B/Zn	1.55	19.17	0.13	0.11	0.49	*		
P/Zn	47.76	536.67	2.10	1.51	-0.09	NS	B/Mn	0.17	0.19	0.07	0.25	-0.22	NS		
P/Mn	5.25	5.32	1.16	3.61	0.25	NS	S/Fe	138.41	15.77	9.07	19.08	-0.71	**		
K/Ca	0.10	0.21	0.24	0.16	0.22	NS	S/Cu	5675.00	2.20	236.77	668.24	0.04	NS		
K/Mg	1.13	0.96	1.18	1.07	0.86	**	S/Zn	42.99	718.75	5.55	6.93	-0.05	NS		
K/B	0.74	0.64	0.84	0.31	0.43	NS	S/Mn	4.72	7.13	3.07	16.51	0.10	NS		
K/S	0.03	0.02	0.02	0.00	0.76	**	Fe/Cu	41.00	0.14	26.09	35.01	0.13	NS		
K/Fe	3.68	0.27	0.18	0.09	-0.85	**	Fe/Zn	0.31	45.58	0.61	0.36	-0.15	NS		
K/Cu	151.00	0.04	4.61	3.14	0.07	NS	Fe/Mn	0.03	0.45	0.34	0.87	0.01	NS		
K/Zn	1.14	12.33	0.11	0.03	-0.07	NS	Cu/Zn	0.01	326.54	0.02	0.01	-0.97	**		
K/Mn	0.13	0.12	0.06	0.08	0.13	NS	Cu/Mn	0.00	3.24	0.01	0.02	0.77	**		
							Zn/Mn	0.11	0.01	0.55	2.38	-0.79	**		

<sup>&</sup>N,P,K,Ca,Mg y S en g.kg<sup>-1</sup>. B, Fe, Mn, Cu y Zn en mg.kg<sup>-1</sup>

A.S: Antes de la siembra. \*Significativo. \*\* Altamente significativo. NS: No significativo. r: coeficiente de correlación.

Aunque existen en el país pruebas de fertilidad en cultivos hortícolas, muchas de ellas no conducen acertadamente a recomendaciones de fuentes, dosis y épocas de aplicación de fertilizantes. La mayoría de trabajos de investigación sobre fertilidad para el altiplano Cundiboyacense son ambiguos e inconsistentes (Castro, 1998). Los datos obtenidos son pioneros y no se conocen otros que otorguen confiabilidad y aplicabilidad para los suelos del departamento de Boyacá, clasificados como *Sulfic endoaquepts*, con condiciones de formación y climáticas propias de la zona de influencia del Distrito de Riego del Alto Chicamocha (Castro y Gómez, 2002; Castro *et al.*, 2002; Gómez *et al.*, 2001).

### CONCLUSIONES

Las concentraciones de macroelementos se presentaron en el orden: N>Ca>K>Mg>S>P y los de micronutrientes: Mn>Fe>Zn>Cu>B, existiendo interacciones positivas entre N/Fe, P/K, P/Ca, P/Mg, K/Mg, K/S, Mg/S, B/Zn y Cu/Mn y negativas entre N/K, N/S, P/Fe, K/Fe, Mg/Fe, B/Fe, S/Fe, Cu/Zn y Zn/Mn, afectando su concentración y disponibilidad.

### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a las personas que apoyaron la realización de este estudio, en especial a Hugo Fabio Avella, productor de la zona; a la Universidad Nacional de Colombia, a Octavio Mosquera, Jesús Gálviz y Arnulfo Rodríguez del CIAT.

### BIBLIOGRAFÍA

- Aguirre, S; Menjivar, J.; Piraneque, N.. 2006. Relación entre la nutrición mineral y la severidad del daño ocasionado por pudrición blanca en cebolla de bulbo. *Acta Agronómica* 55 (4): 21-28.
- Bolck, E. 1991. Química del Ajo y la Cebolla. *Cienc e Invest* 104:86-89.
- Brady, N.; Weil, R. 1999. *The nature and properties of soils*. 12th ed. New Jersey: Prentice Hall, 881p.
- Castro, H. 1998. Producción y fertilización de hortalizas en Colombia *En: Fertilización de Cultivos de Clima Frío*. Bogotá: Monómeros Colombo Venezolanos p. 195 -217.
- Castro, H; Gómez, M., 2002. Caracterización fisicoquímica de aguas freáticas superficiales y su relación con la génesis de SSA. Distrito de Riego del Alto Chicamocha. Informe Proyecto UPTC. 21p.
- Castro, 2002. Zonificación preliminar de SSA del Distrito de Riego del Alto Chicamocha a partir de las tendencias reportadas en sus características fisicoquímicas mediante base de datos del laboratorio de suelos UPTC. Informe proyecto UPTC. 30p.
- Coley-Smith, J. R. 1999. Long-term survival of sclerotia of *Sclerotium cepivorum* and *Stromatinia gladioli*. *Plant Pathol* 39, 58-69.
- Grupo Interinstitucional de Investigación en Suelos Sulfatados Ácidos Tropicales. 2004. Caracterización de la Problemática de Suelos Sulfatados Ácidos Improductivos y Evaluación del manejo para su rehabilitación agrícola. Distrito de Riego del Alto Chicamocha – Boyacá. Proyecto Colciencias – UPTC.
- Grupo Manejo Biológico de Cultivos, 2002. Investigación participativa en el manejo ecológico de la cebolla de bulbo en Boyacá. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia-Tunja. Proyecto Colciencias - UPTC.
- Gómez, M., 2001. Localización, caracterización e identificación de un SSA en área del Distrito de Riego del Alto Chicamocha Boyacá. *Suelos Ecuat.* 31(2): 169-174.
- Guerrero, R., 1998. Fertilización de cultivos de clima frío. Monómeros Colombo venezolanos.
- Havlin, L.; Beaton, J.; Tisdale, S.; Nelson, W. 2005. *Soil Fertility and fertilizers an Introduction to nutrient Management* 7th ed New Jersey: Prentice Hall
- Hinsinger, P.; Jailard, B. 1993. Root-induced release of interlayer potassium and vermiculitization of phlogopite as related to potassium depletion in the rhizosphere of ryegrass. *Soil Sci*: 44, 525-534.
- Marschner, H. 2003. *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2nd ed. London: Academic. p. 483-505.
- Osorio, J. 1992. Generalidades de la producción de hortalizas en Colombia. *En: ICA. Curso nacional de hortalizas de clima frío, Tibaibatá*. p. 5.
- Rincón, A. H. 2005. Caracterización física de suelos sulfatados ácidos improductivos en el distrito de riego del alto chicamocha (Boyacá). Trabajo de grado (Ing Agrón) Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. 75 p.