

DISPONIBILIDAD DE MAGNESIO Y AZUFRE EN ALGUNOS SUELOS DE LA CUENCA MEDIA DEL RIO SUAREZ (SANTANDER Y BOYACA)

Luis E.Castillo P.; Rodrigo Lora S.*

RESUMEN

En cinco suelos clasificados como Vertic Eutropept, Typic Arguidoll.Oxic Dystropept, Aquic Humitropept y Typic Eutropept, procedentes de los municipios de Barbosa y Güepesa (Santander) y Santana (Boyacá), en la cuenca media del río Suárez, se determinó el contenido total y disponible de los nutrimentos magnesio y azufre. Para evaluar el efecto de la aplicación de magnesio y azufre sobre el rendimiento de materia seca y absorción de los mismos nutrimentos en el sorgo (*Sorghum migare L. Moench*) HR-1 Tolima, se efectuó un ensayo de invernadero en el cual los tratamientos fueron: niveles de O, 30, 60, 90 y 120 kg/ha de S en forma de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ incorporado homogéneamente en el suelo; niveles de O, 30 y 60 kg/ha de Mg a partir de MgO incorporado homogéneamente en el suelo y aplicado en forma localizada alrededor de la semilla; las mismas dosis de Mg como $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ localizado alrededor de la semilla; tres aspersiones foliares de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ al 0.5% y de $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ al 0.44% aplicadas a los 15, 25 y 35 días después de la germinación. El contenido de azufre total en los suelos varió entre 712 y 1315 ppm. El azufre disponible extraído con una solución de $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0.008M osciló entre 8.6 y 18.0 ppm. El magnesio intercambiable varió entre 0.4 y 1.2 meq/100 mL y el total entre 0.12 y 0.19%. Por su parte la relación Ca:Mg presentó un rango de 19 a 70, lo cual indica posibles deficiencias de Mg. La respuesta en materia seca y absorción de magnesio y azufre por la planta fue significativa en el conjunto de suelos. Los mejores efectos sobre las variables en estudio se encontraron con el tratamiento de aspersiones foliares de sulfato de magnesio. La aplicación localizada de MgO resultó ser una adecuada alternativa que siguió en eficiencia a la aplicación foliar de sulfato de magnesio para incrementar el rendimiento de materia seca y la absorción de Mg por la planta. Por otra parte, se encontraron correlaciones positivas y altamente significativas entre el rendimiento, concentración de magnesio y azufre de la planta con el magnesio y azufre extraídos del suelo con acetato de amonio y fosfato monocalcico respectivamente, lo cual indica que los extractantes utilizados son adecuados para evaluar la disponibilidad de los nutrimentos en estudio. Se encontró que la relación más adecuada N:S en el tejido fue 11:1, con la cual se obtuvieron los rendimientos más altos de materia seca.

Palabras Claves Adicionales: *Sorghum vulgare*, magnesio total, azufre total. Métodos analíticos, suelos de ladera.

ABSTRACT

Magnesium and Sulphur Availability in Some Soils from Middle Basin of the Suárez River
(Santander and Boyacá).

The total and available content of sulphur and magnesium was determined in five soils proceeding from Barbosa and Güepesa (Santander) and Santana (Boyacá) located at the middle basin of the Suarez river. The soils were classified as Vertic Eutropept, Typic Arguidoll. Oxic Dystropept, Aquic Humitropept and Typic Eutropept. In order to assess the effect of sulphur and magnesium

*Agrólogo, M.S. Laboratorio de Suelos, ICA Palmira. Ingeniero Químico, M.S. Laboratorio de Suelos, ICA T; -baitatá. Instituto Colombiano Agropecuario. Apartado Aéreo 233 Palmira y Apartado Aéreo 151123 (El Dorado) Bogotá.

application on the yield of dry matter and on the same nutrients absorption by sorghum (*Sorghum vulgare* L. Moench) HR-1 Tolima, a biological greenhouse experiment was performed using the following treatments: O, 30, 60, 90 and 120 kg/ha of sulphur as mixed $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ with the soil; O, 30 and 60 kg/ha of magnesium as mixed MgO with the soil and the same levels but located around the seed, using MgO and $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; three foliar aspersions at 0.5% of $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ and 0.44% of $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; these solutions were applied 15, 25 and 35 days after germination. The total sulphur content varied among 712 and 1315 ppm. The available extracted sulphur with $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0.008M oscillated between 8.6 and 18.0 ppm. The total magnesium content; w-o ranged between 0.12 and 0.19%. The available extracted magnesium with neutral N ammonium acetate varied between 0.4 and 1.2 meq/100 mL. The Ca:Mg relation was in range of 19 to 70 indicating possible deficiencies of magnesium. Positive and significant response on yield of dry matter and sulphur and magnesium absorption by the plant was found for the soils as a whole. The better effects on the researched variables were found with the foliar aspersions of magnesium sulphate. The MgO located showed to be an adequate option to increase the yield of dry matter and magnesium absorption by the plant; this treatment produced similar results to them obtained with foliar magnesium sulphate. Furthermore, positive and highly significant correlations were found among the yield, the plant sulphur and magnesium content with the extracted sulphur and magnesium with monocalcic phosphate and ammonium acetate solutions respectively, indicating that they are adequate to value the sulphur and magnesium availability in the studied soils. The more adequate N:S relation in the plant tissue was 11:1; the greater yield of dry matter was obtained with this relation.

Additional Index Words: *Sorghum vulgare*, total magnesium, total sulphur, analytical methods, slope soils.

La región de la cuenca media del río Suárez representa una extensa área agrícola de los departamentos de Santander y Boyacá, dentro de los cuales incluye aproximadamente 109.700 hectáreas en el piso térmico medio, dedicadas en su mayoría a cultivos de caña de azúcar para producción de panela, café, maíz, yuca, frijol, frutales y algunas áreas ganaderas (1).

El contenido de magnesio disponible en los suelos de la cuenca media del río Suárez se considera limitante para la producción de los cultivos de la región. Manrique (18), con base en 212 análisis de caracterización de suelos de algunos municipios de la zona de estudio, reporta bajos contenidos de magnesio y relaciones de Ca:Mg mayores que 4 para el 83% de las muestras analizadas. En cuanto al azufre no se dispone de los análisis suficientes que permitan hacer un diagnóstico, pero los pocos análisis previos al presente estudio, revelan posibles deficiencias de este nutriente.

Las plantas absorben la mayor parte del azufre como ion sulfato ($\text{SO}_4 =$). Reisenauer y colaboradores (21) señalan que los aspectos más importantes relacionados con la disponibilidad del ion sulfato para las plantas son: a) La retención de sulfatos aumenta al disminuir el pH y para valores de pH 6 a 7 no es significativo, b) Los óxidos hidratados de aluminio y hierro y los materiales alofánicos tienen marcada tendencia a retener los sulfatos. Las arcillas de relación 1:1 retienen más sulfato que las de tipo 2:1. c) La adsorción depende también de la concentración de sulfatos en la solución del suelo, d) La retención de los sulfatos, cuando éstos se agregan al suelo como sales, es influenciada por los cationes asociados y por los cationes intercambiables del suelo.

Además de los factores mencionados, la disponibilidad de azufre para las plantas depende también de los factores del medio edáfico que afectan los procesos de mineralización del azufre orgánico, y la oxidación química de compuestos sulfurados como la pirita. Para el caso de la mineralización del azufre orgánico, estos factores son principalmente: la temperatura cuyo óptimo para los microorganismos oxidantes del azufre está en 30°C; la humedad cuyo nivel más favorable es cercano a la capacidad de campo; la adición de materiales orgánicos con relaciones N/S y C/S altas que favorecen la inmovilización del azufre; el encalamiento que mediante la modificación de pH favorece la mineralización (7,23).

Entre las causas que pueden originar que el suelo sea deficiente en magnesio para las plantas están las siguientes: saturación y contenidos bajos de magnesio intercambiable en el suelo; relaciones inapropiadas con otras bases del suelo y antagonismos con otros iones del suelo.

Un exceso de calcio que propicie una relación Ca/Mg alta en el suelo, puede disminuir la absorción de magnesio por las plantas, debido a la limitación de formas solubles.

Varios investigadores (15, 17, 22) consideran que una relación adecuada Ca:Mg intercambiables para la mayoría de los cultivos debe ser 3-2:1. Aunque la mayoría de las plantas parecen crecer normalmente cuya relación se encuentra entre 1 y 10, tienden a reprimir la absorción de magnesio cuando esta relación es muy amplia (22).

Se conoce también que la relación Mg/K afecta la disponibilidad de magnesio para las plantas. Aunque se considera que la relación Mg/K más adecuada para la mayoría de los cultivos está entre 2 y 4, se debe ser cuidadoso en su interpretación, lo cual exige que se tenga conocimiento de las exigencias nutricionales de Mg/ K. por parte de las diferentes especies (6, 19).

El diagnóstico sobre la disponibilidad de azufre para las plantas, es útil determinar el S total para hacer predicciones sobre la capacidad de suministro de azufre de los suelos. Este parámetro tiene mejor aplicación y se facilita su interpretación cuando ocurren correlaciones positivas y de significancia estadística con el azufre aprovechable (5).

La tendencia más generalizada por muchos investigadores es utilizar los sulfatos solubles más adsorbidos como índice de disponibilidad del azufre. Para extraer estas dos fracciones se utilizan soluciones de fosfato de calcio y de potasio (5). Hunter (12) propone una solución de $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 0.008M para extraer los sulfatos solubles y adsorbidos. Este extractante ha sido adoptado por el ICA, aceptándose como nivel crítico general 10 ppm (9).

Hewitt y Smith (11) establecen que el contenido de azufre en el follaje de plantas normales varía entre el 0.1% y 0.3%. Para el caso particular el sorgo, bajo condiciones de invernadero, Eaton (3) considera que si este cultivo presenta contenidos de azufre menores de 0.13% a los 60 días, pueden estar ocurriendo deficiencias. Las deficiencias serán muy visibles si el contenido de azufre está por debajo de 0.04%.

La relación N:S en el tejido, ha sido utilizada para diagnosticar deficiencias de azufre. En varios cultivos se requiere una parte de azufre por cada 15 partes de nitrógeno en la fracción de proteínas de la planta. Así una relación N:S mayor de 15:1 indica una posible deficiencia (9).

A nivel general para los suelos de Colombia, se considera que contenidos de magnesio intercambiable entre 1.5 y 2.5 meq/100 g de suelo y porcentaje de saturación entre 15% y 25%, son indicativos de una adecuada disponibilidad del elemento para la mayoría de las plantas. En cuanto a la relación de Mg/K se propone como nivel adecuado para la mayoría de los cultivos valores entre 2 y 4 (6,17). Conceptualmente se estima que la relación Ca:Mg:K es normal cuando es de 3:1:0.25 (17).

El maíz y el sorgo, bajo cultivo en campo, pueden mostrar deficiencias de magnesio si la concentración en el follaje es menor de 0.13% (4).

Para la realización del presente trabajo se consideraron los siguientes objetivos:

1. Evaluar el efecto de la aplicación de azufre al suelo sobre el rendimiento de materia seca del sorgo (*Sorghum vulgare* L. Moench), híbrido Tolima R-1, en condiciones de invernadero.
2. Evaluar el efecto de diferentes dosis, fuentes y métodos de aplicación de magnesio sobre el rendimiento de materia sea del mismo cultivo, en condiciones de invernadero.
3. Analizar el efecto de los tratamientos aplicados sobre la concentración y absorción de Mg y S por la planta.

MATERIALES Y MÉTODOS

Suelos

Se estudiaron cinco suelos de diferentes paisajes fisiográficos de los municipios de Barbosa y Güepsa (Santander) y Santana (Boyacá). De cada paisaje se tomaron muestras en diferentes sitios a profundidad de 0-25 cm, las cuales fueron bien mezcladas para obtener una gran muestra destinada a los ensayos biológicos de invernadero.

La identificación de los suelos y su clasificación taxonómica aparecen en la Tabla 1. La textura y algunas características químicas se muestran en la Tabla 2.

Algunos aspectos

la identificación los suelos bajo estudio (1).

Localidad	Paisaje fisiográfico	Rango de altitud m.s.n.m.	Material parental	Clasificación taxonómica
Güepsa	Ladera estructural coluvial	1372-1412	Lutitas y calizas entremezcladas.	Vertic Eutropept
Güepsa	Ladera estructural coluvial	1315-1355	Arenisca de grano fino y caliza.	Typic Argiudoll
Güepsa	Ladera coluvio erosional	1490-1525	Areniscas y lutitas intercaladas.	Oxic Dystropept
Barbosa	Depresión coluvio erosional	1495-1550	Lutitas y areniscas entremezcladas.	Aquic Humitropept
Santana	Ladera coluvio erosional	1258-1291	Areniscas y lutitas entremezcladas.	Typic Eutropept

TABLA 2. Textura y características químicas de cinco suelos de la cuenca media del río Suárez.

Características	Suelos				
	Vertic Eutropept	Typic Argiudoll	Oxic Dystropept	Aquic Humitropept	Typic Eutropept
% Arcilla	48.4	50.4	34.4	38.4	34.4
% Limo	30.0	30.0	32.6	34.6	32.0
% Arena	21.6	19.6	33.0	27.0	33.6
Textura	Ar*	Ar	FAr	FAr	FAr
pH	6.3	6.8	5.3	5.8	6.9
Materia orgánica (%)	6.0	5.3	3.5	6.2	5.4
P (ppm)	11.0	9.0	6.0	4.0	8.0
Al (meq/100 mL)	0.3	0.2	0.6	0.4	0.1
Ca (meq/100 mL)	23.4	30.1	11.2	18.0	28.0
Mg (meq/100mL)	1.2	0.7	0.5	0.7	0.4
K (meq/100mL)	0.28	0.32	0.24	0.22	0.23
Na (meq/100mL)	0.2	0.2	0.1	0.2	0.3
CIC (meq/100 mL)	23.4	28.8	16.3	19.3	18.0
Suma de bases (meq/100)	25.08	31.32	12.04	19.12	28.93
Ca/Mg	19.5	43.0	22.4	25.7	70.0
Ca + Mg/K	87.9	96.3	48.8	85.0	123.5
S-extractable (ppm)	18.0	11.3	8fi	9.4	8.7
CO=3 (prueba cualitativa)	+ (ligera)	++ (moderada)	— (no hay)	— (no hay)	+++ (fuerte)

Ar — Arcillosa; FAr — Franco arcillosa

Métodos Analíticos

Para obtener los resultados de la Tabla 2, el pH se determinó por el procedimiento potenciométrico en una suspensión suelo-agua en relación de 1:2.5, el carbón orgánico por combustión húmeda según el método de Walkley y Black modificado, el fósforo disponible por el método de Bray II, la CIC con acetato de amonio normal y neutro, calcio, magnesio, potasio y sodio por extracción con acetato de amonio normal y neutro y cuantificación por absorción atómica, la acidez intercambiable por extracción con KCl y titulación con NaOH y la textura por el método de Bouyoucos; estas determinaciones se efectuaron siguiendo los procedimientos analíticos empleados por el ICA (13).

Para la determinación del S-total del suelo se empleó el método de Chaudry y Cornfield (2); los sulfatos solubles y adsorbidos se determinaron con una solución de Ca (H₂PO₄)₂.H₂O 0.008M y cuantificación calorimétrica, aplicando el método turbidimétrico (12). También se determinó el contenido de magnesio total por fusión con carbonato de sodio, conforme a la técnica descrita por Kanehiro y Shermang (16) y posterior cuantificación por absorción atómica.

La concentración de S-total en las plantas se determinó mediante digestión húmeda, y posterior lectura turbidimétrica de los sulfatos (12). Para la determinación de magnesio y nitrógeno totales las muestras se trataron con ácido sulfúrico, metanol y agua oxigenada y posterior cuantificación por absorción atómica para el magnesio y colorimétrica para el nitrógeno (13).

Ensayo de Invernadero

El ensayo biológico de invernadero se realizó en el Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias Tibaitatá, situado en el municipio de Mosquera (Cundinamarca) a 2.640 m.s.n.m. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con 14 tratamientos y 3 replicaciones.

Se aplicaron dosis de azufre de 0, 30, 60, 90 y 120 kg/ha de S a partir de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, el cual se incorporó al suelo homogéneamente, en el momento de la siembra.

En cuanto al magnesio se aplicaron dosis de 0, 30 y 60 kg/ha de Mg a partir de MgO incorporado y homogenizado con el suelo, en el momento de la siembra. Estas mismas dosis, a partir de MgO y de $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ se aplicaron separadamente en forma localizada alrededor de la semilla, en el momento de la siembra.

Se aplicaron además dos tratamientos de 3 aspersiones foliares de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ al 0.5% y $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ al 0.44% a los 15, 25 y 35 días después de la germinación.

Todos los suelos se fertilizaron con 75 kg/ha de N a partir de NH_4NO_3 , 75 kg/ha de P_2O_5 y 49.6 kg/ha de K_2O a partir de KH_2PO_4 . Los suelos con los tratamientos de magnesio, excepto el tratamiento de aspersiones foliares de sulfato de magnesio recibieron 60 kg/ha de S en el momento de la siembra; los suelos con el tratamiento foliar de $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ recibieron 40 kg/ha de S.

Se utilizó como planta indicadora el sorgo (*Sorghum vulgare L.* Moench) híbrido HR-1 Tolima. La cosecha se hizo a los 60 días después de la siembra.

Análisis Estadísticos

Para evaluar el efecto de los tratamientos aplicados sobre la producción de materia seca y la absorción foliar de magnesio y azufre por la planta, se utilizó el análisis de varianza y la prueba de Duncan.

Para evaluar las técnicas de extracción del azufre y magnesio se utilizaron criterios de correlación entre la cantidad de azufre y magnesio extraída del suelo y la concentración en la planta.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis Granulométrico y Químico de los Suelos

Textura: Los análisis de la Tabla 2, indican que la arcilla es la fracción de mayor proporción en el componente textural de los suelos, lo cual es explicable por tratarse de suelos derivados de rocas sedimentarias de grano fino (lutitas y/o areniscas de grano fino con matriz arcillosa).

Ph: El suelo de reacción más ácida es el Oxic Dystrypept con pH de 5.3, el cual puede ser el más afectado por el fenómeno de adsorción de sulfatos. Por otra parte es posible que la disponibilidad de magnesio para las plantas sea más limitada cuando el pH de suelo es menor de 5.5 (14).

Materia orgánica: Con excepción del Oxic Dystrypept que presenta un contenido medio de materia orgánica, en los demás suelos la materia orgánica es alta para el piso térmico medio (14). Esta característica es un factor importante de tener en cuenta para evaluar la capacidad de suministro de azufre de los suelos y por su contribución al azufre total.

Fósforo aprovechable: En todos los suelos el contenido de fósforo aprovechable es bajo, lo cual puede estar afectando el aporte de sulfatos que hace la materia orgánica, puesto que en los suelos pobres en fósforo, la mineralización del azufre orgánico es baja (9, 14).

Calcio y magnesio intercambiables: Todos los suelos presentan altos contenidos de calcio y bajos de magnesio. Además la relación Ca/Mg es muy amplia en todos los suelos, lo cual es un indicativo de posibles deficiencias de magnesio (14).

Potasio aprovechable: Se encuentra en el nivel medio en todos los suelos (0.20-0.40 meq/100 g). Por su parte la relación Ca + Mg/K es amplia en todos los suelos, lo cual afecta la disponibilidad de potasio para las plantas (14).

Azufre extractable: Se observa que con excepción del Vertic Eutropept, los demás suelos presentan valores de azufre extractable (sulfatos solubles + adsorbidos) por debajo o ligeramente superior al nivel crítico de 10 ppm establecido para el método de extracción con fosfato monocálcico (10).

Contenidos Totales de Azufre y Magnesio

En la Tabla 3, se presenta la información obtenida de S-total y Mg total y el aporte de la fracción disponible al total, en los suelos estudiados.

El Mg-total está dentro del rango de 0.12% a 0.19% con un promedio de 0.15%. La fracción disponible contribuye al Mg-total en 3.69 a 7.58%. De acuerdo con Estrada (6), valores de Mg-total menores de 0.32% (27.01 meq/100 g) indican una baja reserva del elemento, lo cual puede repercutir en una baja disponibilidad del nutriente para los cultivos.

Los contenidos de S-total varían entre 712 y 1315 ppm con un promedio de 1072 ppm. El promedio encontrado es superior a los promedios reportados por otros investigadores para suelos de los Llanos Orientales y el Sur del Huila (9,8). Aunque los contenidos totales de azufre indican que la reserva del nutrimento es adecuada, esta situación no se refleja en la fracción disponible que representa valores de participación muy bajos.

TABLA 3. Contenido de Mg (%) y S (ppm) totales y el aporte de la fracción disponible al total en cinco suelos de la cuenca media del río Suárez.

Suelos	Mg-total	S-total	Aporte de la fracción disponible al total (%)	
			Mg	S
Vertic Eutropept	0.19	1128	7.58	1.60
Typic Argiudoll	0.17	915	4.94	120
Oxic Dvstropept	0.12	712	5.00	1.26
Aquic Humitropept	0.14	1315	6.00	068
Typic Eutropept	0.13	1290	3.69	0.70
Promedio	0.15	1072		5.44
1.09				

Efecto deltas Tratamientos Sobre el Rendimiento de Materia Seca.

Los rendimientos promedios de materia seca del sorgo por tratamientos para cada suelo y para los suelos en conjunto se encuentran en las Tablas 4 y 5.

Los resultados indican que en todos los suelos hubo una tendencia general a responder positivamente a la aplicación de azufre y magnesio para incrementar la producción de materia seca del sorgo.

Dentro de cada suelo se observa que el mayor rendimiento de materia seca se obtuvo con el tratamiento de aspersiones foliares de sulfato de magnesio. El efecto positivo de este tratamiento se confirma con la prueba de Duncan de la Tabla 5, que muestra diferencias significativas con los testigos a azufre y magnesio para el conjunto de suelos.

Por lo general, las aspersiones foliares de sulfato de magnesio son recomendadas pensando más en corregir deficiencias de magnesio que de azufre. Sin embargo existen evidencias de que la planta es capaz de absorber el azufre foliarmente y translocarlo de las hojas viejas a las más jóvenes (20).

De los resultados de la Tabla 5, se destaca además que la aplicación edáfica localizada de magnesio como MgO puede ser una adecuada alternativa para corregir deficiencias de este nutrimento.

Efecto de los Tratamientos Sobre la Absorción de Azufre y Magnesio por la Planta.

En la Tabla 6, se presenta la información sobre los contenidos promedios de azufre y magnesio absorbidos por las plantas de sorgo y las respectivas pruebas de Duncan. Al igual que lo ocurrido con la variable rendimiento de materia seca, la mayor absorción de azufre y magnesio se presentó cuando se aplicaron foliarmente usando una solución de sulfato de magnesio y complementando el tratamiento con aplicación edáfica de S.

El menor contenido foliar de azufre se presentó en el testigo a azufre, el cual presentó diferencias significativas con todos los demás tratamientos. Situación similar ocurrió para el magnesio en cuanto que las plantas del testigo a magnesio presentaron el menor contenido de magnesio, registrándose diferencias significativas con todos los demás tratamientos excepto con el testigo a azufre.

Por otra parte se observó que aparte del tratamiento foliar de azufre y magnesio, los mejores resultados sobre absorción foliar de S se obtuvieron con el nivel de 90 kg/ha de S.

De los resultados de la Tabla 6, se destaca además que los tratamientos de aplicación localizada de magnesio a partir de MgO mostraron un efecto positivo sobre la absorción del elemento por las plantas, en

TABLA 4. Rendimiento promedio de materia seca (gramos/pote) del sorgo (*Sorghum vulgare* L.Moench.) HR-1 Tolima .con diferentes tratamientos de azufre y magnesio en cinco suelos de la cuenca media del n'o Suárez.

Tratamientos*	Suelos				
	Vertic Eutropept	Typic Argiudoll	Oxic Dystropept	Aquic Humitropept	Typic Eutropept
1.	1.75b**	1.70b	1.40c	2.03 abe	1.28b
2.	1.80b	2.35 ab	1.50c	2.18ab	1.37 ab
3.	2.14 ab	2.47a	1.65 be	2.10 ab	1.40 ab
4.	2.33a	2.38 ab	1.97 ab	2.20a	1.58a
5.	1.98 ab	2.17 ab	1.93 ab	1.72c	1.32 b
6.	1.80b	2.10 ab	1.98 ab	1.83 be	1.32b
7.	2.00ab	2.03ab	2.05ab	2.07ab	1.50 ab
8.	2.00ab	2.07 ab	2.05ab	2X)7ab	1.35 ab
9.	2.30a	2.37 ab	1.97 ab	2.28 a	1.50 ab
10.	2.30a	2.13ab	1SOab	2.10ab	1.45 ab
11.	2.36a	2.10 ab	1.97 ab	2.00 abe	1.35 ab
12.	2.12a	2.27ab	1.90 ab	1.97 abe	1.40 ab
13.	2.37a	2.55a	2.17a	2.29a	1.60a
14.	2.10 ab	2.07 ab	1.95 ab	2.05 abe	1.48 ab

* Tratamientos: 1, 2, 3, 4 y 5, respectivamente 0, 30, 60, 90 y 120 kg/ha de S; 6, 7 y 8, respectivamente 0, 30 y 60 kg/ha de Mg a partir de MgO incorporado; 9 y 10, corresponden a 30 y 60 kg/ha de Mg como MgO localizado; 11 y 12 a 30 y 60 kg/ha de Mg como MgC[^]iHjO localizado; 13 y 14, corresponden a 30 y 60 kg/ha de Mg como MgSO₄.7H₂O respectivamente 3 aspersiones foliares de y MgCl₂.6H₂O.

**Las letras al lado de los promedios, indican la prueba de Duncan. Promedios con una letra en común, no son diferentes estadísticamente; en caso contrario presentan diferencia significativa al 5%.

TABLA 5. Rendimiento promedio de materia seca (gramos/pote) del sorgo (*Sorghum vulgare* L. Moench.) HR-1 Tolima para los suelos en conjunto, con diferentes tratamientos de azufre y magnesio.

•atamientos	
Rendimiento	
1.	0 kg/ha de S
2.	30 kg/ha de S
3.	60 kg/ha de S
4.	90 kg/ha de S
5.	120 kg/ha de S

6.	0 kg/ha de Mg	1S1
7.	30 kg/ha de Mg (MgO-Incorporado)	133
8.	60 kg/ha de Mg (MgO-Incorporado)	131
9.	30 kg/ha de Mg (MgO-Localizado)	2.10
10.	60 kg/ha de Mg (MgO-Localizado)	2.08
11.	30 kg/ha de Mg (MgCl ₂ .6H ₂ O-Localizado)	1.97
12.	60 kg/ha de Mg (MgCl ₂ .6H ₂ O-Localizado)	1.93
13.	3 aspersiones foliares de MgSC ₂ >4.7H ₂ O	2.15
14.	3 aspersiones foliares de MgCl ₂ .6H ₂ O	1.93

Tratamientos ordenados por promedios:

13 9 10 4 11 3 7 12 14 8 2 5 6 1
a ab ab ab bc bc bc bc bc bc c c c d

Las letras debajo de los tratamientos indican la prueba de Duncan. Promedios con una letra en común, no son diferentes estadísticamente; en caso contrario presentan diferencia significativa al 5%.

TABLA 6. Absorción promedia de azufre y magnesio (miligramos/pote) por plantas de sorgo (*Sorghum vulgare* L. Moench. HR-1 Tolima para el conjunto de suelos, con diferentes tratamientos de azufre y magnesio.

Absorción

Magnesio

Tratamientos

Azufre

1.	0 kg/ha de S	1.565 g	4.290 gh
2.	30 kg/ha de S	2.061 def	5.115 def
3.	60 kg/ha de S	2.360 be	5.402 cd
4.	90 kg/ha de S	2.558a	5.595 c
5.	120 kg/ha de S	2.129 def	4.896 ef
6.	0 kg/ha de Mg	2.063 def	4.222h
7.	30 kg/ha de Mg (MgO-Incorporado)	2.162 de	5.153 de
8.	60 kg/ha de Mg (MgO-Incorporado)	2.216 cd	5.329 cd
9.	30 kg/ha de Mg (MgO-Localizado)	2.415ab	5.985b
10.	60 kg/ha de Mg (MgO-Localizado)	2.500 ab	5.866 b
11.	30 kg/ha de Mg (MgCl ₂ .6H ₂ O-Localizado)	2.305 be	5.398 cd
12.	60 kg/ha de Mg (MgCl ₂ .6H ₂ O-Localizado)	2.239cd	5.308 cd
13.	3 aspersiones foliares de MgSO ₄ .7H ₂ O	2.559a	6.256 a
14.	3 aspersiones foliares de MgCl ₂ .6H ₂ O	2.162 de	5.365cd

Las letras al lado de los promedios indican la prueba de Duncan. Promedios con una letra en común, no son diferentes estadísticamente; en caso contrario presentan diferencia significativa al 5%.

comparación con los tratamientos de la misma fuente y dosis homogenizados con el suelo y con los de aplicación localizada de cloruro de magnesio, posiblemente debido a que el MgO al mezclarse en un menor volumen de suelo en la aplicación localizada, actúa con mayor eficiencia a nivel de zona radicular para corregir desbalances en la relación Ca/Mg. Por otra parte, el MgO es un compuesto muy poco soluble en agua comparado con el cloruro de magnesio cuya solubilidad acuosa es mayor y por lo tanto la más rápida liberación y difusión de los iones magnesio en el suelo en los compuestos más solubles, son factores que favorecen la migración del elemento de la zona radicular que puede afectar su absorción por las raíces debido a una menor concentración.

Posiblemente también el anión cloruro pudo causar un efecto negativo sobre la absorción del magnesio por la planta.

Análisis de Correlación

Los resultados de la Tabla 7, indican que se presentaron correlaciones positivas y altamente significativas para las variables rendimiento y concentración de azufre y magnesio en la planta con el azufre y el magnesio extraídos del suelo después de la cosecha; estas correlaciones muestran que las soluciones de acetato de amonio normal y neutro y fosfato monocálcico 0.008M usadas respectivamente para extraer el magnesio y azufre disponibles para la planta, suministran una información adecuada en los suelos estudiados sobre la disponibilidad de los nutrimentos Mg y S.

TABLA 7. Coeficiente de correlación (r) entre el rendimiento de materia seca, la concentración de azufre y magnesio en la planta y el contenido de azufre y magnesio extractables del suelo después de la cosecha y la relación N-total/S-total.

	S -suelo	Mg-suelo	N-total/S-total (planta)
Peso seco	0.376**	0.608**	-0.478**
S-planta	0.547**	0.483**	-0.153*
Mg-planta	0.458**	0.690**	_____

* Significativo (P<0.05) ** Altamente significativo (p(o.01)

La correlación negativa y altamente significativa entre el rendimiento y la relación N-total/S total corrobora la utilidad de este parámetro como ayuda complementaria para un mejor diagnóstico sobre las deficiencias de azufre en las plantas.

En este estudio se encontró que la relación más adecuada N:S en el tejido fue 11:1 con la cual se obtuvieron los rendimientos más altos de materia seca.

CONCLUSIONES

1. La concentración de azufre total en los suelos varió entre 712 y 1315 ppm con promedio de 1072 ppm. Estos valores se consideran altos e indican que los suelos estudiados poseen una adecuada reserva del elemento para las plantas.
2. La concentración de magnesio total varió entre 0.12 y 0.19% con promedio de 0.15%. Estos valores se consideran bajos como reserva del elemento para las plantas.
3. La concentración de azufre disponible (soluble más el adsorbido) varió entre 8.6 y 18.0 ppm, con predominancia de valores inferiores a 10 ppm lo cual indica deficiencias de este nutrimento.
4. El magnesio disponible varió entre 0.4 y 1.2 meq/100 mL de suelo; este rango corresponde a fracciones entre 3.69% y 7.58% del total. De acuerdo con los niveles críticos utilizados por el ICA, los contenidos de magnesio disponible en los suelos estudiados se consideran bajos.
5. Los diferentes tratamientos de azufre y magnesio aplicados al suelo y en forma foliar produjeron un efecto positivo y significativo sobre el rendimiento de materia seca y la absorción de S y Mg por las plantas de sorgo (*Sorghum vulgare* L. Moench) híbrido HR-1 Tolima, lo que indica deficiencia de estos nutrimentos en los suelos bajo estudio.
6. La aplicación foliar de sulfato de magnesio mostró ser muy promisorio para corregir deficiencias de Mg y S.

7. La aplicación localizada de magnesio como MgO, resultó ser una adecuada alternativa para corregir deficiencias de magnesio.
8. Las correlaciones positivas y altamente significativas observadas entre las variables peso seco y concentración de azufre en la planta y el azufre extraído del suelo con fosfato monocálcico indican que este extractante es adecuado para evaluar la disponibilidad de este nutrimento en los suelos estudiados. El mismo comportamiento observado para el magnesio, corrobora la eficiencia del acetato de amonio normal y neutro para evaluar el magnesio disponible.
9. La relación N:S en la planta igual a 11:1 mostró ser la más adecuada bajo las condiciones del presente estudio, y puede ser un parámetro complementario útil para el diagnóstico del azufre disponible.
10. Estas conclusiones corresponden a la primera parte de la presente investigación. En la segunda parte se considerará la aplicación conjunta de Mg y S para determinar las interacciones correspondientes.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 **Castillo P., L. E.** 1985. Disponibilidad de micronutrientes en cinco suelos de la cuenca media del río Suárez Santander y Boyacá). Tesis M.Se. Programa de Graduados. Universidad Nacional de Colombia - ICA. Bogotá. 3.40-55.
- 2 **Chaudry, J. A.; Cornfeld, A. H.** 1960. The determination of total sulphur in soil and plant material. *The analyst*. (Inglaterra). 91:528-530.
- 3 Eaton, F.M. 1966. Sulphur. p. 444-476. *In: C. Kapanan, H. D. (Ed.). Diagnostic criteria for plants and soils.* California, University of California.
- 4 Embleton, T. W. 1966. Magnesium. p. 225-264. *In: Chapman, H. D. (Ed.). Diagnostic criteria for plants and soils.* California, University of California.
- 5 **Ensminger, L. E.; Freney, J. R.** 1966. Diagnostic techniques for determining sulphur deficiencies in crops and soils. *Soil Sci.* (Estados Unidos). 101(4):283-288.
- 6 **Estrada, E. G.** 1981. Caracterización del magnesio y de otros factores que afectan su disponibilidad para las plantas en suelos andinos de Cundinamarca. Tesis M.Se. Programa de Graduados. Universidad Nacional de Colombia - ICA. Bogotá. 79 p.
- 7 **Freney, J. R.; Stevenson, F.** 1966. Organic sulphur transformations in soil. *Soil Sci.* (Estados Unidos). 101(4):307-316.
- 8 **Gómez, C. R.; Lora, R.** 1980. Caracterización y disponibilidad del azufre en los suelos del Sur del Huila. *Suelos Ecuatoriales.* (Colombia). 12(11):37-50.
- 9 **González, G. I.** 1983. Caracterización del azufre y su disponibilidad relacionada con los contenidos de óxidos de hierro y aluminio en algunos suelos del Meta (Colombia). Tesis. Facultad de Química. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá. 77 p.
- 10 **Guerrero, R. ; Burbano, H.** 1979. Fracciones de azufre y niveles críticos de disponibilidad para la planta en suelos de los Llanos Orientales y la Sabana de Bogotá. *Suelos Ecuatoriales.* (Colombia). 10(21):232-244.
- 11 **Hewitt, E. J.; Smith, T. A.** 1974. *Plant mineral nutrition.* The English Universities Press, London, p. 100.
- 12 **Hunter, A. H.** 1973. Methods commonly used for routine soil analysis in cooperating countries. North Carolina State University, International Soil Fertility Evaluation and Improvement Project. p. 16.

13. **Instituto Colombiano Agropecuario. Programa Nacional de Suelos.** 1979. Técnicas de laboratorio para análisis de suelos. Bogotá. ICA. p. irr. (Mecanografiado).
14. **Instituto Colombiano Agropecuario. Programa Nacional de Suelos.** 1981. Fertilización en diversos cultivos. Cuarta aproximación. Bogotá, ICA. 56 p. (Manual de Asistencia Técnica, No. 25).
15. **Jacob, A.** 1958. Magnesium. The fifth mayor plant nutrient. Staples Press Limited. London. 159 p.
16. **Kanehiro, Y. ; Shermang, G. D.** 1965. Fusión with sodium carbonate for total analysis. p. 952-958. in: Black, C. A. (ed.) Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and microbiological properties. Madison, Wisconsin, American Society of Agronomy. p. 952-958. (Agronomy Series, No. 9).
17. **Lora, S.R.** 1978. El análisis de suelos y su interpretación, p. 261. *In:* Instituto Colombiano Agropecuario. Programa Nacional de Suelos. El suelo y suelo y su fertilidad. Bogotá, ICA. (Compendio No. 23).
18. **Manrique, E. R.** 1982. Evaluación agroeconómica de dos sistemas de producción de caña de azúcar para panela a la aplicación de nitrógeno (N), fósforo (P_2O_5) y potasio (K_2O) en el Distrito de Barbosa (Santander). Tesis M.Sc. Programa de Graduados. Universidad Nacional de Colombia - ICA. Bogotá. 67 p.
19. **Ospina, L. O.** 1981. El magnesio y su uso agrícola. Magnesios Bolivalle, Medellín. 85 p.
20. **Paul, R.** 1974. Translocation du soufre d'origine atmosphérique dans la plante. Bulletin de la Societé Royale de Botanique de Belgique (Belgica). 109(1):13-23.
21. **Reisenauer, H. M.; Walsh, L. M.; Hoef, R. G.** 1973. Testing soils for sulphur, boron, molibdenum and chlorine. p. 17:173 in: Wals, L. M. (ed.). Soil Testing and plant analysis. Madison, Wisconsin, Soil Sci. Soc. Amer. Inc.
22. **Tisdale, S. L.; Nelson, W. L.** 1970. Soil fertility and fertilizers. 3a. ed. McMillan Publishing Co. Inc., New York, p.470.
23. **Willians, C. H.** 1967. Some factors affecting the mineralization of organic sulphur in soil. Plant and soil. (Holanda). 26(21):205-221.