

APLICACIÓN DE S Y Mg EN BRÓCOLI *Brassica oleracea* var. *italica* EN DOS ÓRDENES DE SUELO ANDISOL

S AND Mg APPLICATION ON BROCCOLI *Brassica oleracea* var. *italica* IN TWO ORDERS OF ANDISOL SOIL

Andrés Lasso L.¹; Miguel Álvarez T.²; Hugo Ruiz E.³

Fecha de recepción: Agosto 02 de 2013 Fecha de aceptación: Diciembre 04 de 2013

RESUMEN

El cultivo del brócoli *Brassica oleracea* var. *italica*, presenta carencias en el manejo de la fertilización, en los suelos del departamento de Nariño, en donde son reportadas bajas disponibilidades de azufre y magnesio. La presente investigación evaluó fuentes de azufre y magnesio en diferentes niveles (0, 30, 60, 90 kg/ha en dos localidades, Gualmatán y La Laguna (Nariño). Se utilizó un diseño de parcelas divididas donde la parcela principal correspondió a las fuentes kieserita y sulphomag, y las sub parcelas correspondieron a los niveles 0, 30, 60 y 90kg/ha los tratamientos se distribuyeron en 3 bloques. Las variables evaluadas fueron; diámetro de la pella, peso fresco y seco, rendimiento, y viabilidad económica. Los resultados 90 días después de la siembra, indicaron que la fertilización con sulphomag en nivel de 90kg/ha permitió obtener los pesos fresco y seco más altos en las dos localidades; 311,15 g; 419,20 g, para peso fresco y 45,30 g; 53,98 g para peso seco, respectivamente para La Laguna y Gualmatán. Siendo estadísticamente superiores a los demás niveles; alcanzando rendimientos máximos de 24,15 kg/ha y 17, 29 kg/ha. El análisis de retorno indicó que sulphomag 90 kg.ha⁻¹, presentó retornos del 70.1% y 40,1% en la localidad de La Laguna y Gualmatán respectivamente, siendo económicamente viable en cada una de las localidades.

Palabras clave: Fertilización, interacción, producción, hortalizas.

1 Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia.

2 Estudiantes Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, Pasto , Colombia. anmao6@hotmail.com.

3 Docente Tiempo Completo. I.A Ph.D. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto-Colombia. hugoruize@yahoo.com

ABSTRACT

Broccoli crop *Brassica oleracea* var. *italica* presents fertilization management deficiencies in soils of the department of Nariño, where low availability of sulfur and magnesium is reported. This research evaluated sulfur and magnesium sources at different levels (0, 30, 60, 90 kg/ha) in two locations, Gualmatán and La Laguna (Nariño). A split plot design was used, in which the main plot corresponded to kieserite and sulphomag sources and the subplots corresponded to levels at 0, 30, 60 and 90 kg/ha, and treatments were distributed in three blocks. The variables evaluated were: floret diameter, fresh and dry weight, performance, and economic viability. Results at day 90 after planting indicated that fertilization with sulphomag at level 90 kg/ha yielded higher fresh and dry weights in the two localities, 311.15 g, 419.20 g for fresh weight and 45.30 g, 53.98 g for dry weight, in Gualmatán and La Laguna, respectively. At 90 kg/ha, maximum yields of 24,15kg/ha and 17.29 t.ha⁻¹ were obtained in Gualmatán and La Laguna, being statistically higher in comparison to the other levels of the two sources. The return-based analysis indicated that sulphomag at 90 kg/ha showed 70.1% and 40.1% returns in the towns of La Laguna and Gualmatán, respectively, being economically viable in each of the localities.

Keywords: Fertilization, interaction, production, vegetables

INTRODUCCIÓN

El brócoli *Brassica oleracea* var. *italica* está dentro de un grupo importante de hortalizas, que es reconocido por su alto valor nutricional que le permite ocupar un sitio de preferencia en el ámbito alimenticio del consumidor (Jaramillo *et al.*, 2002). El departamento de Nariño se destaca por su área sembrada y el alto valor de la producción de esta crucífera. Según el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Nariño para el año 2009, presentó un total de 46 ha sembradas con un rendimiento promedio de 14,04 t/ha, para una producción total de 646 toneladas. De ese total cerca del 70% se encuentra localizada en la zona comprendida en los corregimientos de Gualmatán y La Laguna del municipio de Pasto.

Los procesos de apertura de nuevos mercados internacionales y formas asociativas de

productores de hortalizas, son unas de las principales razones para el aumento de los rendimientos de este cultivo en el departamento de Nariño, que son del orden del 25.4% (Secretaría de Agricultura de Nariño y Medio Ambiente, 2008). Debido a este contexto los productores están interesados cada día en aumentar los rendimientos y la rentabilidad de este cultivo, para lo cual es necesario, entre otros factores, una adecuada fertilización (Puenayán y Córdoba, 2008).

Según Ibarra y Moncayo (1998), en el cultivo del brócoli, existen carencias marcadas en cuanto al manejo agronómico, debido a la escasa aplicación de tecnología, especialmente en lo relacionado a los procesos de fertilización, trayendo consigo la pérdida de la calidad del producto y la baja compensación económica en los costos de inversión.

Aspectos nutricionales del brócoli en Nariño, demuestran que la fertilización con elementos mayores (Nitrógeno, Fósforo, Potasio), son importantes en la producción, siendo estos elementos nutricionales, determinantes en aspectos como el diámetro de la pella, peso de la pella y rendimiento. Sin embargo, hasta el momento se carece de planes de fertilización de esta hortaliza ajustados a la zona (Puenayán y Córdoba, 2008).

Por otra parte, existen carencias en la disponibilidad de elementos nutricionales en los suelos del altiplano de Pasto, en el caso del azufre, la fracción disponible es baja (menor de 10 ppm), lo que puede ocasionar en las plantas cultivadas desórdenes metabólicos entre los cuales se destacan; disminución de la síntesis de proteínas, presencia de altas relaciones nitrógeno soluble/nitrógeno proteico, disminución en la fijación de nitrógeno y merma en la actividad respiratoria y el proceso de fotosíntesis (Burbano, 1979; Mosquera, 1975).

Por otra parte, en los suelos del altiplano de Pasto también se reportan deficiencias de magnesio, una alta relación calcio/magnesio, que contribuye a la deficiencia de este elemento en estos suelos (García y Pantoja 1993), esto se ve reflejado en la disminución en la tasa de fotosíntesis y la alteración de la eficiencia fotosintética de las hojas, puesto que se presenta clorosis, trayendo consigo la supresión de los rendimientos. La importancia nutricional del magnesio se relaciona con la activación del ATP y ADP, influyendo en la síntesis de proteínas y compuestos orgánicos.

En presencia de magnesio, el fósforo es absorbido al máximo y la falta de magnesio inhibe la fijación de CO₂; el magnesio es

constituyente de la molécula de clorofila y es requerido en reacciones de fosforilación y otras reacciones de la fase oscura, por tanto las deficiencias de magnesio repercuten directamente sobre los rendimientos al afectar el proceso de fotosíntesis (Malavolta, 2006).

La importancia nutricional del azufre, se fundamenta en la actividad enzimática celular, especialmente en el metabolismo de los carbohidratos, lípidos y proteínas, al igual que en el proceso de aceptores de electrones en la fotosíntesis y en la síntesis de clorofila, por tanto las deficiencias de azufre se reflejan en la tasa de disminución de síntesis de proteínas, lo que afecta gravemente los procesos de crecimiento y desarrollo de la planta (Wainwright, 1984).

A pesar de que existen investigaciones relacionadas con elementos mayores, no se reportan ensayos en el cultivo de brócoli, con la interacción S y Mg, con base a lo anteriormente expuesto, la presente investigación tuvo como objetivo conocer la respuesta en variables de tipo agronómicas utilizando fuentes como la kieserita y sulphomag, para generar recomendaciones puntuales en las zonas de evaluación, sobre la utilización del azufre y del magnesio en el cultivo del brócoli en los suelos del altiplano de Pasto.

METODOLOGÍA

Localización.

La investigación se desarrolló, en dos localidades del municipio de Pasto, en el corregimiento de Gualmatán, ubicado a 1°13'16"N y 77°17'2"O a 2800 msnm a una temperatura promedio de 13 °C, con un suelo Typic Dystrandep, y en La Laguna, con una altitud de 2800 msnm y un suelo Vitric Haplustand (IGAC, 2004).

Material Vegetal.

Se utilizaron plántulas de brócoli *Brassica oleracea* var. *italica* - Híbrido Legacy - las cuales se tomaron de las bandejas de germinación y se trasplantaron a los lotes definitivos de ensayo, cuando estas presentaron entre 3 y 4 hojas verdaderas. Se sembraron a una distancia de 0,4m x 0,4m, obteniéndose una densidad de siembra de 62500 plantas.ha⁻¹.

Fuentes de Azufre y Magnesio.

Se utilizaron como fuentes de Azufre y Magnesio, los fertilizantes; kieserita (MgSO₄. 75,4%;K₂O 22%; CaSO₄.4 %), y sulphomag (MgO. 18,0 %. Stotal 21,5 %) (Tab. 2).

Variables agronómicas evaluadas:**Peso de la cabeza o pella (fresco y seco).**

Noventa días después de la siembra (90 dds), se procedió a la recolección de las cabezas o pellas de 15 plantas correspondientes al área útil en cada unidad experimental, para un total de 360 plantas seleccionadas, las cuales fueron llevadas a una balanza analítica donde se pesaron (Peso fresco) y posteriormente secadas a una temperatura de 70 °C por 72 horas y pesadas nuevamente para obtener el peso seco.

Diámetro de la pella.

Noventa días después de la siembra (90 dds), y en el momento de la recolección de las cabezas o pellas del brócoli, se procedió a toma de la medida utilizando una cinta métrica en la parte superior de la cabeza, se efectuaron 360 mediciones que correspondieron a las plantas evaluadas en cada área útil, el valor de diámetro (d), se obtuvo mediante la fórmula: $d = L / \pi$. Donde: **d**= diámetro de la pella (cm), **L**= longitud de la pella al contorno o perímetro (cm), $\pi = 3.1416$. Siguiendo la metodología propuesta por (Cuatín y Lucero, 1998).

Rendimiento por hectárea.

El rendimiento fue determinado 90 dds, mediante el cálculo del peso fresco de la pella obtenido en las plantas del área útil y teniendo en cuenta la densidad de siembra respectiva de 62500 plantas.ha⁻¹, se proyectaron los resultados de rendimiento en t.ha⁻¹ en los diferentes tratamientos.

Diseño Experimental.

Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con un arreglo en parcelas divididas, la parcela principal estuvo constituida por dos fuentes de azufre y magnesio, mientras que las sub-parcelas estuvieron constituidas por cuatro niveles de fertilizante de dichas fuentes que fueron: 0, 30, 60, 90 kg.ha⁻¹ de Kieserita o sulphomag, distribuido en tres repeticiones (Tab. 2). Dichos tratamientos y repeticiones fueron montados al mismo tiempo en dos localidades: La Laguna y Gualmatán, que son zonas de gran importancia en la producción del cultivo de brócoli, dichos ensayos fueron analizados independientemente.

Análisis estadístico.

Se realizó un análisis de varianza con una significancia del 95%. Para las variables que presentaron diferencias estadísticas significativas se procedió a realizar la prueba de comparación de medias, utilizando la prueba de Tukey ($p < 0,05$), los datos fueron analizados haciendo uso del software estadístico INFOTAT. V.2008. Para rendimiento, se utilizaron estadígrafos y tablas de frecuencia para describir el comportamiento en relación a la densidad de siembra. En la tabla 1, se pueden observar los resultados del análisis de suelos para cada localidad, realizados en el laboratorio de suelos de la Universidad de Nariño. Los resultados de estos análisis fueron la base para determinar las dosis a aplicar por cada fuente utilizada y para cada tratamiento propuesto.

Tabla 1. Análisis de suelos para las localidades de Gualmatán y La Laguna.

PARÁMETRO	MÉTODO	TÉCNICA	UNIDA DE MEDIDA	MUESTRA GUALMATÁN	MUESTRA LA LAGUNA
pH	NTC. 5264	Potenciométrica		4,3	5,4
Materia orgánica	Walkey y black. colorimter	Espectrofotometría uv-vis	%	13,2	12,8
Fósforo disponible	Bray II y kurtz NTC 5350	Espectrofotometría uv-vis	ppm	34,23	33,6
CIC	CH ₃ COONH ₄ 1NpH7	Volumétrica		32,6	43,6
Calcio de cambio				5,08	31,42
Magnesio de cambio	CH ₃ COONH ₄ 1NpH7 NTC 5349	Espectrofotometría de absorción atómica		0,72	3,52
Potasio de cambio			Cmolc/kg	0,834	4,30
Acidez de cambio	Extracción KCL NTC 5263	Volumétrica		2,37	1,34
Aluminio de cambio				1,73	0,98
Hierro				154	77
Manganeso	DTPA – NTC 5526	Espectrofotometría de absorción atómica		13,63	10,23
Cobre				3,15	7,48
Zinc			ppm	1,66	5,13
Boro	Agua caliente NTC-5404	Espectrofotometría uv-vis		0,846	0,46
Nitrógeno total	Con base en la materia	cálculo	%	0,47	0,46
Carbono orgánico	Walkey y black. Colorimétrico NTC 5404	Espectrofotometría uv-vis	%	7,63	7,40
Azufre disponible	Ca(H ₂ PO ₄) ₂ H ₂ O. 0,008M. NTC 5402	Espectrofotometría uv-vis	ppm	36,1	25,2

Fuente: Laboratorio de suelos. Universidad de Nariño. 2010.

Tabla 2. Niveles, dosis y cantidades aplicadas por tratamiento para las fuentes kieserita y sulphomag en diferentes niveles para las localidades de Gualmatán y La Laguna.

DOSIS / ha / nivel*	CANTIDAD / PLANTA	CANTIDAD / TRATAMIENTO (5.6 m ²)	TOTAL CANTIDAD FUENTE
00000 g	0,00g	00,0g	000,0g
30000 g	0,48 g	16,6 g	100,8 g
60000 g	0,96 g	33,6 g	201,6 g
90000 g	1,44 g	50,4 g	302,4 g

*El nivel O es T(absoluto), 30, 60, 90 kg.ha⁻¹ niveles bajo, medio y alto respectivamente de los dos productos comerciales kieserita y sulphomag, aplicados en cada tratamiento.

La aplicación de las cantidades respectivas de cada dosis en los tratamientos dispuestos, se realizó 15 días después de la siembra, se dispuso los fertilizantes en forma de corona, a una distancia de 0,10 m de la planta y a una profundidad de 0,02 m, realizándose un aporque para tapar el abono y brindar anclaje a la planta.

Tabla 3. Análisis de varianza para variable diámetro de la pella, peso fresco y seco en brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) Hibrido Legacy en las localidades de La Laguna y Gualmatán.

La Laguna				
F.V	G.L	CM		
		Diámetro	Peso fresco	Peso seco
Nivel	3	24,16 *	11124,52*	92,71*
Fuente	1	19,78 *	20034,64*	131,41*
Nivel*fuentes	3	7,41 ns	9357,22**	77,72*
Error	16	3,42	15,70	10,25
Total	23			
Gualmatán				
F.V.	G.L	Diámetro	Peso fresco	Peso seco
Nivel	3	39,11**	29456,83**	264,38**
Fuente	1	90,64**	39107,23**	551,71**
Nivel*fuentes	3	29,28**	12776,39**	151,52**
Error	16	5,05	2390,19	11,83
Total	23			

*: Diferencias estadísticas (p < 0,05); ns: no hay diferencias.

Análisis Económico.

Para la realización del análisis económico del rendimiento, se utilizó la metodología planteada por Perrin *et al.*(1976), para tal efecto se tomó en cuenta el precio de venta del brócoli para la época de cosecha (septiembre 2011, \$800 kg) y los costos de producción por hectárea.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Diámetro de la pella.

En la tabla 3, se presentan los valores de los cuadrados medios y su grado de significancia. Para las localidades se observan diferencias estadísticas significativas en los factores fuente y nivel para el diámetro de la pella en La Laguna, mientras que en Gualmatán el diámetro varía por la interacción de los dos factores estudiados (Fuente y Nivel).

En la figura 1, se observan los resultados obtenidos de la prueba de comparación de medias de Tukey, en la cual el mayor diámetro de la pella, se obtuvo cuando se aplicó la fuente sulphomag en niveles de 90 kg.ha⁻¹, con un valor de 21,18 cm, presentando diferencias estadísticas significativas con respecto al tratamiento con 0 kg.ha⁻¹ de sulphomag y kieserita en niveles de 0 y 30 kg.ha⁻¹. Este aumento del diámetro con la utilización de sulphomag en el nivel de 90 kg.ha⁻¹ posiblemente está influenciado por

el mejoramiento de los componentes de crecimiento y desarrollo debido a la mayor presencia de Mg lo que influyó directamente en la relación Ca/Mg, situación que se corrobora por las relaciones obtenidas en la presente investigación que fueron muy altas con valores de 6,9/1 y 7,2/1, para las zonas de La Laguna y Gualmatán respectivamente, resultados similares donde la relación amplia de Ca/Mg, influye en el rendimiento de los cultivos son discutidos por (Brady y Weil, 2002) y (García y Pantoja, 1993), en el altiplano de Pasto.

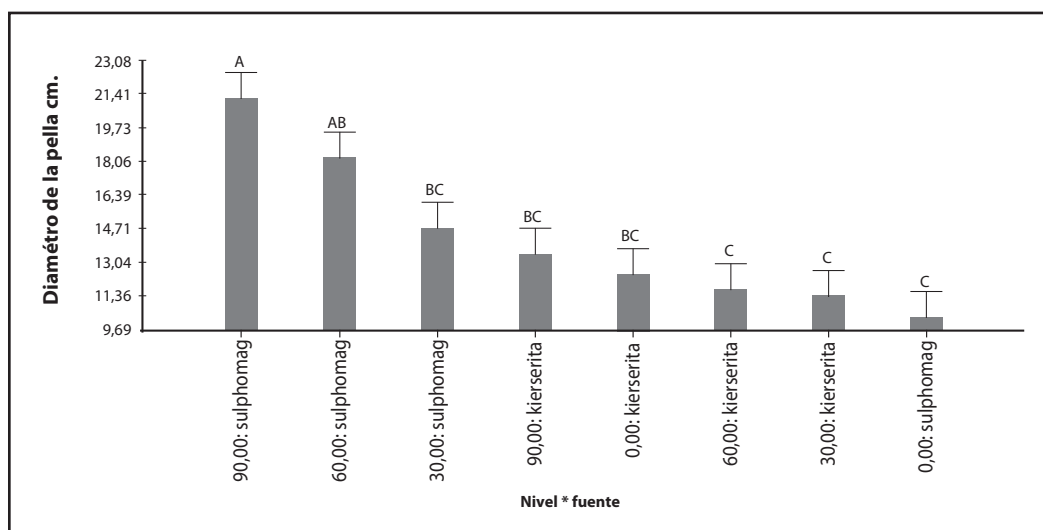


Figura 1. Efecto de la fertilización de S y Mg, sobre el diámetro de la pella en brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*) Híbrido Legacy localidad del Gualmatán. Promedios con letras distintas indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

De la misma manera, estos incrementos también pueden ser explicados en relación a la fertilización con azufre, ya que el S es un potenciador en la utilización del N por parte de la planta, lo cual coincide con el planteamiento de Sexton *et al.* (1997), quienes mencionan que en el metabolismo de las plantas, el N y S están vinculados y por tanto, el diagnóstico de la deficiencia de S se basa en la relación N/S, dicha relación deberá ser aproximada a 24/1, si es superior

se verá afectada la disponibilidad de azufre trayendo consigo deficiencias en crecimiento y desarrollo Dev y Saggar (1974); Gutiérrez *et al.* (1999). Puesto que las relaciones obtenidas de N/S en esta investigación fueron de 54,7/1 y 76,8/1, en La Laguna y Gualmatán, respectivamente, siendo muy amplias, estas pueden estar afectando la disponibilidad de azufre en dichas localidades, las aplicaciones de azufre en este caso sulphomag, en el nivel de 90 kg.ha⁻¹, implican mayor disponibilidad y

probablemente un aumento en el crecimiento de la planta. (Reneau, 1983).

Peso fresco y seco.

En la tabla 3, se presentan los cuadrados medios y su grado de significancia, se observaron diferencias estadísticas significativas en los factores Fuentes, Niveles y en la interacción Nivel * Fuente, los cuales afectaron las variables peso fresco y seco en cada una de las localidades.

En la figura 2, se muestran los resultados obtenidos de la prueba de comparación de Tukey, en la cual los mejores valores de peso fresco y seco en la localidad de La Laguna, se obtuvieron cuando se aplicó sulphomag 90 kg.ha⁻¹, cuyo valor de peso fresco fue de 311,15 g, y 45,30 de peso seco, siendo estos valores estadísticamente superiores cuando se realizaron las aplicaciones de sulphomag 0 kg.ha⁻¹ y kieserita 0 y 30 kg.ha⁻¹.

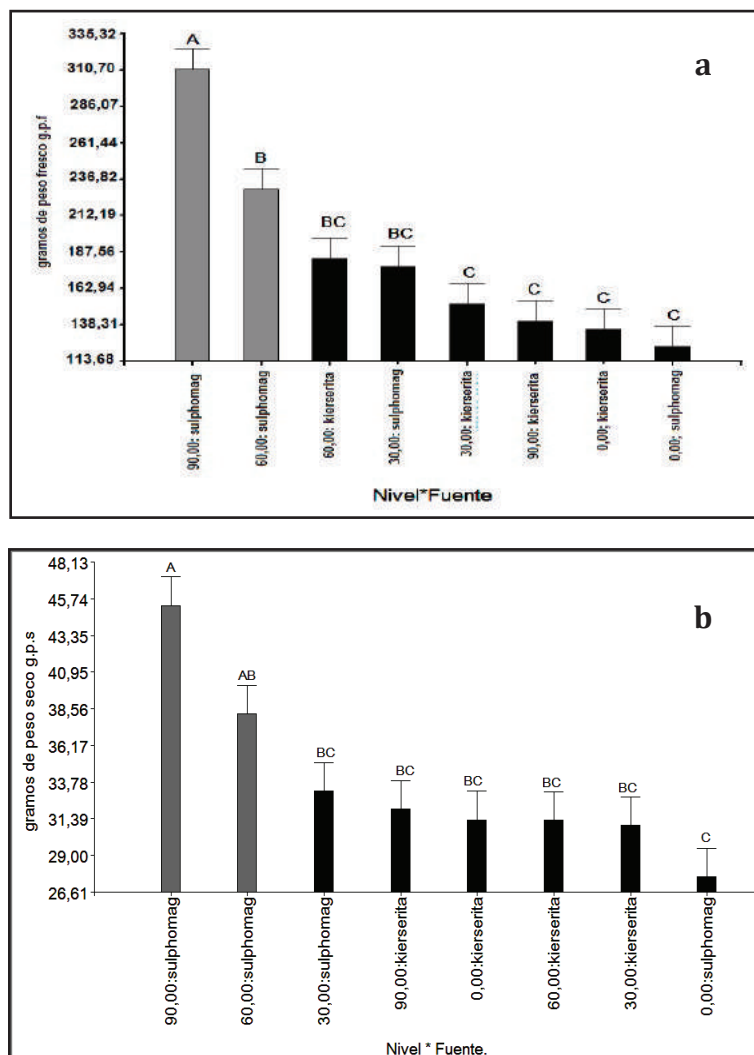


Figura 2. Efecto de la fertilización de S y Mg, sobre el peso fresco (a) y seco (b) del brócoli *Brassica oleracea* var. *italica* Hibrido Legacy localidad de La Laguna. Promedios con letras distintas indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

Contrastando los resultados de los incrementos del peso fresco en el cultivo de brócoli encontrados en esta investigación con los niveles de 90 kg.ha⁻¹ y 0 kg.ha⁻¹ aplicados por medio fuente sulphomag, indicaron que dichos incrementos de peso fueron superiores en 134.3% y 215% más, cuando se utilizó 90kg.ha⁻¹ en La Laguna y Gualmatán respectivamente.

Estos resultados son similares a los reportados por Cortés *et al.* (2002) y Reneau (1983), quienes encontraron incrementos en los contenidos de masa total en el maíz luego de la aplicación de diversas fuentes de azufre, al igual que investigaciones realizadas en otros cultivos en respuesta a la fertilización con Mg, tal es el caso de Malavolta (2006), quien encontró incrementos del orden del 200 % en el peso de racimo de banano *Musa L.* al realizar aplicaciones de Magnesio en MgO, y en café *Coffea arabica L.*, del orden de 39% en la cantidad de café limpio con aplicaciones de magnesio en sulfato de magnesio, de la misma manera Gómez *et al.* (2007), encontraron una relación positiva y significativa de la aplicación de Mg en cebolla *Allium cepa L.* en relación al rendimiento total. Las anteriores observaciones, permiten manifestar que los resultados obtenidos muestran la importancia del azufre en la nutrición de la planta y de cómo este elemento que se mueve por flujo de masa y que generalmente según varios autores no tiene consumo de lujo en la planta y su absorción es activa, potencia el resultado final de producción predominantemente por su sinergia marcada con el nitrógeno, así como la formación directa de aminoácidos sulfurados en ese proceso.

Los incrementos obtenidos de los pesos fresco y seco cuando se realizaron las

aplicaciones de sulphomag 90 kg.ha⁻¹, son una muestra de cómo la sinergia ocasionada por las aplicaciones de Mg pueden potenciar de una manera contundente la absorción de N y P, principalmente, además la presencia de S en la fuente utilizada igualmente contribuirá con un sinergismo muy importante entre N y S, todo esto se percibió en los resultados finales y se pueden corroborar con resultados similares encontrados por autores como Marschner y Horts (1995), en relación a que las aplicaciones con fuentes de Mg favorecen ostensiblemente la eficiencia de absorción de otros nutrientes como N, K y P, especialmente la de fósforo y teniendo en cuenta que P y 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 que a mayores niveles de aplicación de Mg se presenta una absorción excesiva de P que permite obtener rendimientos óptimos y este a su vez se asocia a un balance nutricional deseado.

Por otra parte, trabajos realizados en la dinámica del MgO compuesto presente en la fuente Sulphomag muestran que existe una alta eficiencia de este elemento en la forma MgO en relación a las cantidades de extracción y rendimiento total.

En ese sentido Bertsch (2003), argumenta que la alta respuesta y absorción del Mg como MgO, se debe además de los bajos contenidos edáficos indicados en la 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⁺⁺⁺). Situación que mejora

significativamente la disponibilidad del Mg y por tanto los efectos fisiológicos favorables en el crecimiento y desarrollo al igual que en los rendimientos (Gómez, 2006), hecho que explicaría los incrementos de los pesos en fresco y seco en las localidades, utilizando la fuente sulphomag, ya que está presente en su composición MgO 18%.

En la figura 3, se dan a conocer los resultados obtenidos de la prueba de comparación de Tukey, en la cual los mejores valores de peso fresco y seco en Gualmatán se obtuvieron cuando se aplicó sulphomag 90 kg.ha⁻¹, los valores correspondieron a 419,20 g en peso fresco y 53,98 g en peso seco, estos valores fueron estadísticamente superiores con respecto al testigo.

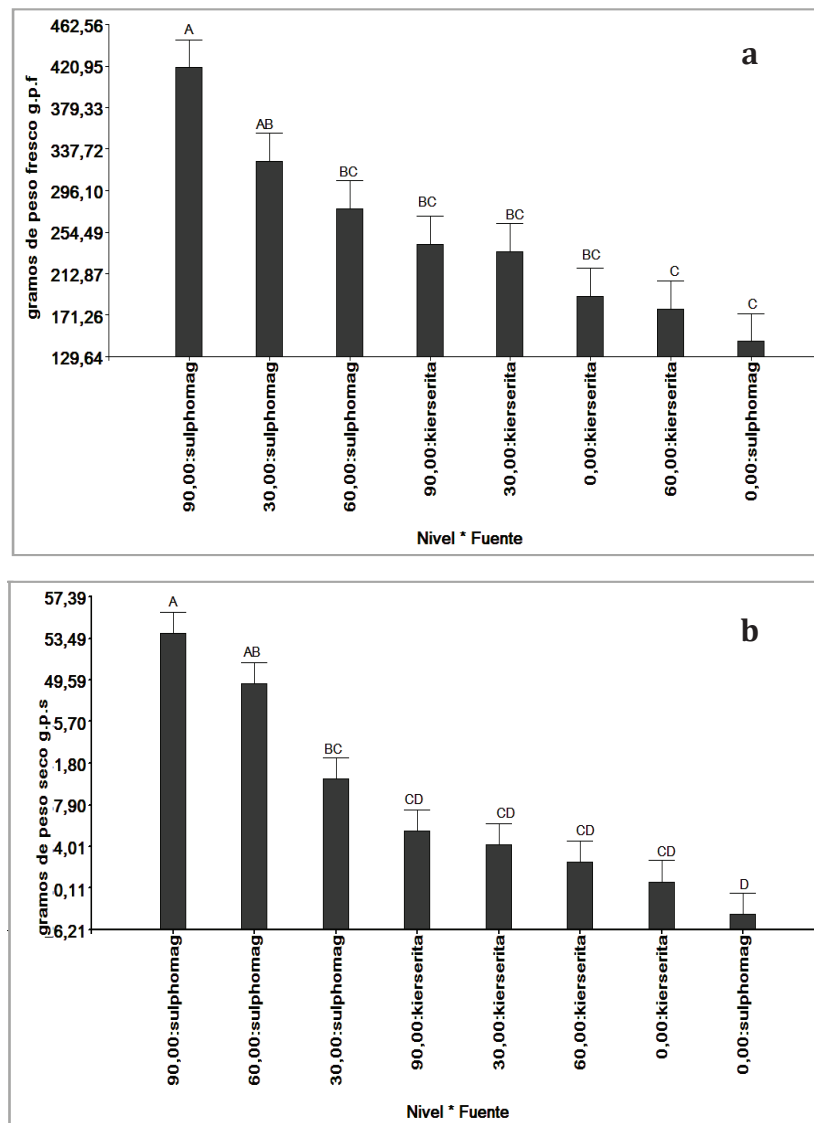


Figura 3. Efecto de la fertilización de S y Mg, sobre el peso fresco (a) y seco (b) del brócoli *Brassica oleracea* var. *italica* Hibrido legacy localidad de Gualmatán. Promedios con letras distintas indican diferencia significativa según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

Por otra parte, el efecto generado en el incremento del diámetro y los pesos fresco y seco del brócoli brinda características de buena calidad a la pella, con la adición de sulphomag $90\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ como fuente de Mg y S. Investigaciones realizadas en el género Brassica por Malavolta (2006), indican que el Mg, además de estar relacionado directamente con los procesos de fotosíntesis, es altamente demandado por órganos como las flores e inflorescencias.

Igualmente, el Mg ejerce influencia al disminuir el envejecimiento prematuro aumentando la resistencia a efectos fitopatológicos, haciendo que la planta tenga un crecimiento y desarrollo normal, logrando mejor calidad en la fructificación. De la misma manera, existe un efecto similar generado por el azufre, según el mismo autor sugiere que el azufre interviene de manera directa en el metabolismo de las proteínas y en la generación de materia verde, siendo transportado hacia los órganos jóvenes como los meristemos apicales e inflorescencias, por lo que además del incremento de los pesos, este elemento regula funciones de maduración y fructificación, y características organolépticas como el olor y el sabor del brócoli. En consecuencia, las dos anteriores situaciones explicarían aún más que la adición de Mg y S en la fuente sulphomag $90\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, presenta un efecto positivo en el incremento de los pesos y por tanto en los rendimientos.

El incremento en la absorción del azufre en una mayor cantidad es explicado igualmente por la presencia del ion acompañante para el azufre, el calcio o magnesio, el azufre presenta una mayor absorción por parte de la planta, por tanto se estima que a mayores

cantidades de magnesio aplicado al suelo, mayor será la absorción del azufre y por tanto el efecto nutricional será más marcado, de tal manera que las aplicaciones de sulphomag $90\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, como fuente de magnesio, pueden estar generando una mayor tasa de absorción por parte de la planta, trayendo consigo los incrementos en los pesos fresco y seco ya mencionados en las dos localidades.

Teniendo en cuenta, los desbalances inicialmente planteados, en las relaciones Ca/Mg y N/S, y los resultados del incremento del diámetro, y de la misma manera los incrementos obtenidos en los pesos fresco y seco para las localidades de La Laguna y Gualmatán, se evidencia que el nivel de $90\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, de sulphomag, como fuente de azufre y magnesio brinda una mejoría significativa en dichas relaciones, aumenta las disponibilidades de estos elementos, mejorando los procesos de crecimiento y desarrollo, incrementando los rendimientos y la calidad del brócoli cosechado.

Rendimiento

En la figura 4, se muestran los resultados para la variable de rendimiento en t/ha, la cual mostró una tendencia decreciente en la medida en que los niveles de fertilización disminuyen, 90, 60, 30, 0 kg/ha, y las fuentes cambian de sulphomag a kieserita. Los máximos valores obtenidos para el rendimiento calculado a partir de la variable peso fresco y teniendo en cuenta una densidad de siembra de $62500\text{plantas}\cdot\text{ha}^{-1}$, fueron los obtenidos con la utilización de sulphomag $90\text{kg}/\text{ha}$, indicando rendimientos de $26,2\text{kg}/\text{ha}$ para la localidad Gualmatán y $19,44\text{kg}/\text{ha}$ para la localidad de La Laguna, en contraste con los rendimientos reportados por la Secretaría de Agricultura de Nariño (2008) de $14,04\text{t}/\text{ha}$

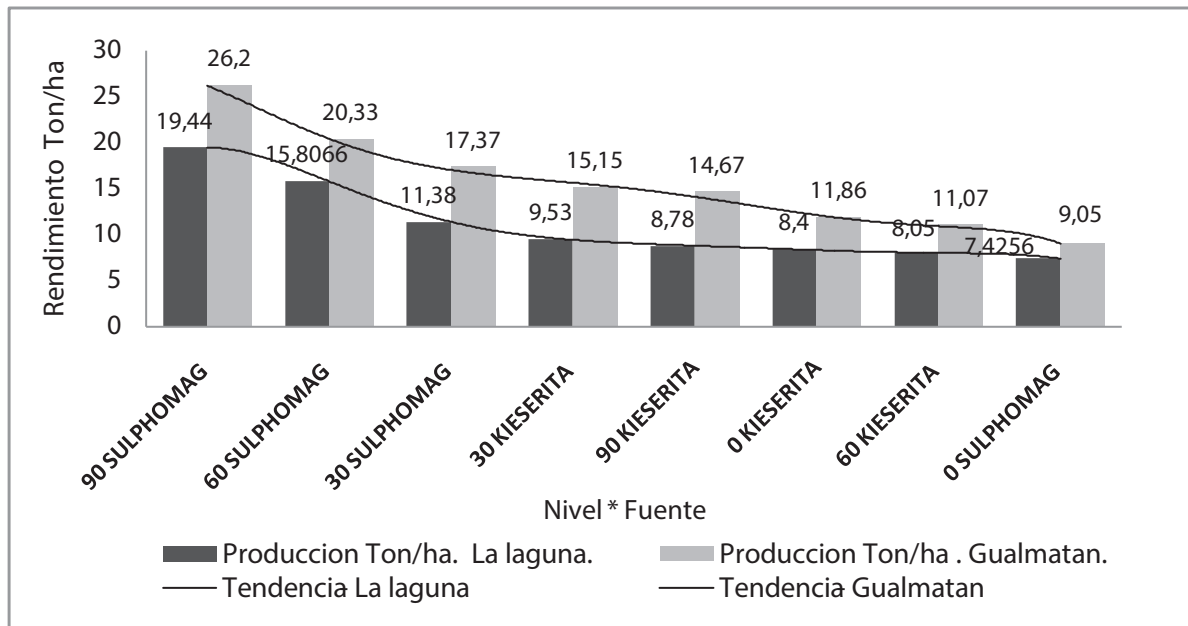


Figura 4. Comportamiento del rendimiento en la fertilización con S y Mg en diferentes dosis y fuentes, en las localidades de la Laguna y Gualmatán.

Tal y como se mencionó anteriormente, los valores más altos obtenidos de rendimiento para las dos localidades, correspondieron al tratamiento sulphomag 90 kg/ha, estos resultados pueden explicarse en la medida en que este tratamiento presentó los mejores valores tanto de diámetro como de peso fresco y seco, por tanto al extrapolar a rendimiento teniendo en cuenta la densidad de siembra planteada, presentó los mejores resultados en las dos localidades, puesto que sulphomag 90 kg.ha⁻¹ como fuente de Mg y S, posiblemente brindó unas mejores posibilidades dentro de la temperatura y régimen de humedad de estos suelos que la kieserita con la cual se obtuvo menores rendimientos y en general se obtuvo resultados diferenciales estadísticamente al mismo nivel de dosificación.

Es importante tener en cuenta que este nivel de investigación es el primero en este tipo de cultivos en estas zonas de suelos andisoles, por lo cual se hace necesario verificar con otros ensayos y regímenes de humedad y temperatura del suelo, las fuentes aquí utilizadas para ir construyendo una buena fundamentación con este tipo de abonos que brindan Mg y S, fundamentales en los cultivos que en últimas brindan un aumento en la disponibilidad de azufre y magnesio para la planta, generando efectos positivos en el crecimiento y desarrollo permitiendo de esta manera mejorar significativamente la producción (Cortes *et al.* 2002; Bertsh, 2003; Sexton *et al.* 1997; Marschner y Horts, 1995).

Tabla. 4. Análisis marginal de la fertilización con sulphomag niveles de 30, 60, 90 kg/ha en el cultivo de brócoli *Brassica oleracea* var. italica. Híbrido Legacy en las localidades de La Laguna y Gualmatán.

Localidad	Tratamiento	Costos variables	Beneficios netos	Beneficio neto marginal	Costo variable marginal	Tasa de retorno marginal (%)
La Laguna	Sulphomag 90 Kg ha	5540750	6722593	3157762	45000	7017,24%
	Sulphomag 60 Kg ha	5495750	3564830.9	2970318	84000	3536,1%
Gualmatán	Sulphomag 90 Kg ha	5540750	10965250	3606000	90000	4006,6
	Sulphomag 30 Kg ha	5450750	7359250	6177156	45000	13228,79

Análisis Económico.

En la tabla 4, se muestra el análisis económico marginal, basado en la metodología planteada por Perrin *et al.* (1976), indicando que para la zona de Gualmatán, la fertilización con sulphomag en niveles de 90 kg.ha⁻¹ y 30 kg.ha⁻¹, superó la tasa de retorno mínima establecida (40%), y de la misma forma para la zona de La Laguna con la aplicación de sulphomag en niveles de 90 kg.ha⁻¹ y 60 kg.ha⁻¹. Por tanto, la investigación demostró que la aplicación de fuentes de Mg y S, para la fertilización del brócoli presenta efectos positivos en los rendimientos y que además son económicamente viables para los agricultores de las zonas de estudio.

CONCLUSIONES

La fertilización con azufre y magnesio, en las localidades evaluadas, genera efectos positivos en los incrementos de las variables agronómicas como: diámetro de la pella, peso fresco y seco, y rendimiento total.

Los mejores resultados en cuanto a la productividad del cultivo de brócoli, se

obtuvieron con la aplicación de la fuente sulphomag en dosis de 90 kg.ha⁻¹. La tasa de retorno es favorable cuando se aplica sulphomag en los niveles de 90, 60 y 30 kg/ha en las localidades evaluadas.

BIBLIOGRAFÍA

- BERTSCH, F. 2003. Absorción de nutrimentos por los cultivos. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. Colorgraf S.A., Costa Rica. 307 p.
- BURBANO, H. 1979. El suelo: una visión sobre sus componentes biográficos. Graficolor. San Juan de Pasto, 361 p.
- BRADY, N y WEIL, R. 2002 Soil acidity: Calcium and Magnesium as plant nutrients Cap 9:11 pg. 404 - 410, Whitehead, D.C. Soil and plant - nutrition. Aspect of the sulphur cycle. Soil and Fertilizer. 27 (1): 1 - 18.
- CORTÉS P., ESCOBAR, R., BARRA, J., SANCHES, P. y ALVARADO, L. 2002. Respuesta en invernadero del maíz al azufre en dos suelos del estado de Puebla, México. Agrociencia. 36:633 - 642.
- CUATIN, A. y LUCERO, E. 1998. Evaluación de diferentes densidades de población en brócoli (*Brassica oleracea* var Italica L. Híbrido Legacy)

- en el altiplano de Pasto. Tesis de Grado Ingeniero Agrónomo, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, Pasto. 110 p.
- DEV, G. y SAGGAR, S. 1974. Effect to sulfur fertilization on the N:S ratio in soybean varieties. *Agronomy Journal*. 66:545 - 456.
- GARCÍA, B. y PANTOJA, C. 1993. Fertilización y manejo de suelos en el cultivo de papa en el departamento de Nariño. ICA, Regional 5. San Juan de Pasto. 55 p. Boletín técnico No. 222.
- GÓMEZ, M. I., CASTRO, H. E., GOMEZ, C. J. y GUTIERREZ, O. F. 2007. 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*. *Agronomía Colombiana*. 25(2):339 - 348.
- GÓMEZ, M.I. 2006. Manual técnico de fertilización de cultivos. Microfertisa S.A. Produmedios, Bogotá. 52 p.
- GUTIÉRREZ, BOEM., SCHEINDER, J.D., KLEPKER, D. y LAVADO, R. 1999. Identifying fertilization needs for soybean using sedes. *Soil Science Society of America Journal*. 68:1445 - 1451.
- IBARRA, A. y MONCAYO, A. 1998. El manejo post-cosecha de la coliflor (*brassica oleracea* var. *botrytis*). Serie de paquetes de compactación sobre el manejo post-cosecha de frutas y hortalizas número 4. SENA. Santa Fe de Bogotá. Colombia. 256 p.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI (IGAC). 2004. Estudio de suelos del departamento de Nariño. IGAC. Tomo III. 72 p.
- INFOSTAT, 2008. Manual del usuario. En: http://intranet.catie.ac.cr/intranet/posgrado/Herramientas_Estadisticas/Manual.pdf; consulta: enero, 2013.
- JARAMILLO, J., HERRERA, C., PINZÓN, H. y SÁNCHEZ, G. 2002. Taller de hortalizas. Productividad y mercadeo. Sede CORPOICA - Tibaitatá - Mosquera. 100 p.
- MALAVOLTA, E. 2006. Manual de nutrição mineral de plantas. Centro de Energia Nuclear na agricultura Universidad de São Paulo, Piracicaba, Brasil. 126 - 402 p.
- MARSCHNER, P. Y G. HORTS. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Second edition Academic Press, San Diego. 313 - 396 p.
- MENGEL, K. y E. KIRKBY. 2000. Principios de nutrición vegetal. International PotashInstitute, MADR, Basel. 245 - 549 p.
- MOSQUERA, C. 1975. Formas y mineralización del azufre en suelos volcánicos de Nariño, Colombia. Tesis Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. 56 p.
- PUENAYÁN, A. y CÓRDOBA, F. 2008. Respuesta del brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica* l.híbrido Legacy) a la fertilización con N-P-K en el municipio de Pasto, departamento de Nariño. Tesis de grado Ingeniero Agrónomo, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto, Colombia. 22 p.
- PERRIN, R., WIKELMAN, D., MOSCARDI, E., y ANDERSON, J. 1976. Formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos: un manual metodológico de evaluación económica. México. CYMMIT. 54 p.
- RENEAU, J.R. 1983. CORN RESPONSE TO SULFUR APPLICATION IN COASTAL. *PlainSolid .AgronomyJournal*. 75:1036 - 1040.
- SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y MEDIO AMBIENTE. 2008. Consolidado Agropecuario, Acuícola y Pesquero. Gobernación de Nariño. 159 p.
- SEXTON, J.P., BATCHELOR, W. y SHIBLES, R. 1997. Sulfur availability, rubisco content and photosynthetic rate of soy vean. *Crop sciencie*. 37:1801 - 1806.
- WAINWRIGHT, M. 1984. Sulfur oxidation in soils. *Advances in Agronomy*. 37:349 - 396.