

**FERTILIZACIÓN CON AZUFRE Y MAGNESIO EN CULTIVO DE BRÓCOLI  
(*Brassica oleracea* VAR. *Itálica*) SOBRE SUELOS VITRIC HAPLUSTAND Y TYPIC  
DYSTRANDEP DEL ALTIPLANO DE PASTO.**

**ANDRÉS MAURICIO LASSO LEITON  
MIGUEL BAYARDO ÁLVAREZ TEZ**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA  
SAN JUAN DE PASTO  
2011**

**FERTILIZACIÓN CON AZUFRE Y MAGNESIO EN CULTIVO DE BRÓCOLI  
(*Brassica oleracea* VAR. *Itálica*) SOBRE SUELOS VITRIC HAPLUSTAND Y TYPIC  
DYSTRANDEP DEL ALTIPLANO DE PASTO.**

**ANDRÉS MAURICIO LASSO LEITON  
MIGUEL BAYARDO ÁLVAREZ TEZ**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniero  
Agrónomo**

**Asesor:  
Hugo Ruiz Erazo IA. PhD.**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA  
SAN JUAN DE PASTO  
2011**

## **NOTA DE RESPONSABILIDAD**

Las ideas y conclusiones aportadas en el siguiente trabajo son responsabilidad exclusiva del autor.

Artículo 1<sup>o</sup> del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966 emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

**Nota de aceptación:**

---

---

---

---

---

---

---

Firma del Presidente de tesis

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

San Juan Pasto, Noviembre de 2011

## **DEDICACION**

**Miguel Álvarez a:**

**JEHOVA DIOS....**

**Mi madre Rosa Lina**

**Mis hermanas Lucy, Angela y Rosa Ema**

**Amis sobrinos y a todos los que de una u otra forma hicieron parte de este proceso.**

**Andrés Mauricio Lasso L.**

**A DIOS**

**A MIS PADRES Y ABUELOS Y DEMAS FAMILIARES.**

**FERTILIZACIÓN CON AZUFRE Y MAGNESIO EN CULTIVO DE BRÓCOLI**  
*Brassica oleracea* VAR. *Itálica* **SOBRE SUELOS VITRIC HAPLUSTAND Y TYPIC**  
**DYSTRANDEP DEL ALTIPLANO DE PASTO.\***

**FERTILIZATION WITH SULFUR AND MAGNESIUM IN BROCCOLI** *Brassica*  
*oleracea* VAR. *Itálica* **CROPS ON VITRIC HAPLUSTAND AND TYPIC**  
**DISTRANDEP SOILS OF THE LIGHLAND REGION OF PASTO.**

Andrés Lasso<sup>1</sup>, Miguel Álvarez<sup>1</sup>, Hugo Ruiz.<sup>2</sup>

**RESUMEN**

El cultivo del Brócoli (*Brassica oleracea var. Itálica.*), 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 en dos localidades, Gualmatán y La Laguna (Nariño). Se utilizó un diseño de bloques al azar con arreglo factorial combinatorio 2\*4 en donde los factores fueron: fuente (kieserita y sulphomag) y nivel (0, 30, 60 y 90 kg.ha<sup>-1</sup>); se tuvieron ocho tratamientos distribuidos 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 90 kg.ha<sup>-1</sup> 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 éstos a los demás niveles; alcanzando rendimientos máximos de 19, 45 y 26,2 t.ha<sup>-1</sup>. El análisis económico mostró que la tasa de retorno marginal para sulphomag 90 kg.ha<sup>-1</sup>, presentó valores del 7017% y 4006 % en la localidad de La laguna y Gualmatán respectivamente, siendo económicamente viable en cada una de las localidades.

**Palabras clave:** fertilización, interacción, producción, hortalizas.

---

\* Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el título de Ingeniero Agrónomo 2011. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, Pasto– Colombia.

<sup>1</sup>Estudiantes Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, Pasto – Colombia. Email: [anmao6@hotmail.com](mailto:anmao6@hotmail.com) - [mibaltears@hotmail.com](mailto:mibaltears@hotmail.com)

<sup>2</sup> Profesor Asistente I.A Ph.D. Facultad de Ciencias Agrícolas Universidad de Nariño. Pasto-Colombia. Email:

## ABSTRACT

The broccoli crop (*Brassica oleracea var. Itálica.*), show deficiency in the handling of fertilization, in the soils of the department of Nariño, where a lack of sulfur and magnesium are reported. This investigation evaluated the sources of sulfur and magnesium in different levels, in two places: Gualmatán and La Laguna (Nariño). A design of randomized block design with factorial arrangement combinatorial was used. Factors were the source (kieserita y sulphomag), the level (0, 30, 60 y 90 kg.ha<sup>-1</sup>). There were eight treatments distributed in three blocks. The evaluated variables were: diameter of the pella, fresh and dry weight, output and economic feasibility. The results 90 days after sowing or planting showed that the fertilization with sulphomag in the level of 90 kg.ha<sup>-1</sup> allowed us to get highest fresh and dry weights in the both places; 311.15 g, 419.20 g, for fresh weight and 45,30 g, 53.98 g for dry weight respectively for La Laguna and Gualmatán. These values were higher in the relation with the other levels. These levels reached the highest performance or output of 19.45 t.ha<sup>-1</sup> and 26.2 t.ha<sup>-1</sup>. The economic analysis showed that the returning marginal rate for sulphomag 90 kg.ha<sup>-1</sup>, showed values de 7017% and 4006 % in the La Laguna y Gualmatán respectively, which is economically feasible in each one of the places.

**Key words:** fertilization, interaction, production, vegetables.

## INTRODUCCIÓN

Teniendo en consideración el área sembrada y el valor de la producción, las crucíferas (*Brassicaceae* sp.), entre las que se encuentra el Brócoli (*Brassica oleracea var. Itálica*) son un importante grupo de las hortalizas, reconocidas por su alto valor nutricional y medicinal características que le permiten a este género, ocupar un sitio de preferencia en el ámbito alimenticio del consumidor (Jaramillo, *et al* 2002).

Según el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, Nariño para el año 2009 presentó un total de 46 has sembradas con un rendimiento promedio de 14,04 t.ha<sup>-1</sup>, para una producción total de 646 t, cerca del 70% del área sembrada como de la producción se encuentra localizada en la zona comprendida por los corregimientos de Gualmatán y La Laguna, pertenecientes al municipio de Pasto.

Incrementos en los rendimientos del cultivo del Brócoli son reportados por la Secretaria de Agricultura de Nariño (2008), llegando al 25.4% en contraste al año inmediatamente anterior. Los procesos de apertura de nuevos mercados internacionales y formas asociativas de productores han influenciado en dicho incremento en la producción con miras a suplir demandas internacionales del producto, sin embargo, en relación a la tendencia del incremento de la demanda, los productores están interesados cada día en aumentar los rendimientos y la rentabilidad de estos cultivos, para lo cual es necesario, entre otros factores, una adecuada fertilización (Córdoba y Puenayan, 2008).

Según Ibarra *et al*, (1998), en el cultivo del brócoli, existen carencias marcadas en cuanto al manejo, debido a la escasa aplicación de elementos técnicos, especialmente en lo relacionado a los procesos de fertilización, trayendo consigo 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 influye directamente sobre la producción de brócoli. Puenayan y Córdoba, (2008) mencionan que la aplicación de elementos mayores de fósforo y potasio, en ausencia de nitrógeno, disminuyen variables como el diámetro de la pella, peso de la pella y rendimiento. Sin embargo, existe un efecto significativo y complementario en la respuesta del brócoli a la fertilización de N con P y K, que se manifiesta en el aumento de variables como diámetro y peso de la pella influyendo en el rendimiento total.

Por otra parte, existen carencias en la disponibilidad de elementos nutricionales en los suelos del altiplano de Pasto, como es caso del azufre, cuya fracción disponible es baja (Menor de 10 ppm), lo que puede ocasionar en las plantas cultivadas desordenes 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 (Blasco y Burbano, 1976., Mosquera, 1976., Burbano, 1979., Burbano 1989).

Deficiencias de magnesio son reportadas por García y Pantoja (1993), quienes manifiestan que existe una relación calcio/magnesio alta en los suelos del altiplano de Pasto, relación que presiona a que el magnesio sea deficiente en estos suelos, viéndose reflejada 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 CO<sub>2</sub>. El magnesio es constituyente de la molécula de clorofila y es exigido 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. (Lourenço *et al*, 1968).

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 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 con elementos como azufre y magnesio. Con base a lo anteriormente expuesto, la presente investigación tuvo como objetivo conocer la respuesta de variables de tipo agronómicas a la fertilización con fuentes de azufre y magnesio (kieserita y sulphomag) en diferentes dosis, para generar recomendaciones puntuales 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 y una temperatura promedio de 13° C con un suelo Typic Dystrandep, y en el corregimiento de La Laguna, con una altitud de 2800 msnm y un suelo Vitric Haplustand (IGAC, 2004).

## **Material Vegetal.**

El ensayo fué realizado con plántulas de brócoli (*Brassica oleracea* var. *Itálica*) - 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 0.4 m x 0.4 m, obteniéndose una densidad de siembra de 62.500 plantas.ha<sup>-1</sup>.

## **Fuentes de Azufre y Magnesio:**

Se utilizaron como fuentes de Azufre y Magnesio, los fertilizantes; kieserita (MgSO<sub>4</sub> 75.4%; K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, CaSO<sub>4</sub> 4 %), y sulphomag (MgO 18.0 %; azufre total (S) 21.5 %; K<sub>2</sub>O 22%); acompañando la fertilización completa de arranque al momento de la siembra teniendo en cuenta el análisis de suelo (Tabla 1). Para lo cual se utilizó un fertilizante de formulación 15-15-15 granulado.

## **Características químicas y físicas de los suelos.**

- **Análisis de suelos.**

El suelo de la localidad de La laguna presentó; un pH medio, contenidos altos de M.O, altos contenidos de S, P, Ca, Mg, K, Fe, Zn, Cu, medios de Mn, bajos de B, y alta capacidad de intercambio Catiónico. (Tabla 1.)

Mientras que el suelo de la localidad de Gualmatán presento: un pH bajo, contenidos altos de M.O, altos contenidos de S, P, Ca, K, Fe, Zn, Cu, Mn, bajos contenidos de Mg. Zn, medios de B, y alta capacidad de intercambio Catiónico. En general se observa que los niveles de nutrientes para las dos zonas es adecuado, siendo las relaciones Ca/Mg, altas en relación con la ideal (3/1), además en las dos zonas se encontró altos contenidos de S disponible.

En la tabla1, se observan los resultados obtenidos de los análisis de suelos para las localidades, según criterios establecidos por Castro (1996), y Bertsch (1998).

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

PARAMETRO	METODO	TECNICA	UNIDAD DE MEDIDA	MUESTRA GUALMATAN	MUESTRA LA LAGUNA
pH	NTC. 5264	Potenciometrica		4,3	5,4
Materia orgánica	Walkey y black. colorimter	espectrofotometría uv-vis	%	13,2	12,8
Fosforo disponible	Bray II y kurtz NTC 5350	espectrofotometría uv-vis	Ppm	34,23	33,6
CIC	CH3COONH4 1NpH7	Volumétrica	cmolcarga/kg	32,6	43,6
Calcio de cambio	CH3COONH4 1NpH7 NTC 5349	espectrofotometría de absorción atómica		5,08	31,42
Magnesio de cambio				0,72	3,52
Potasio de cambio				0,834	4,30
Acidez de cambio	Extracción KCL NTC 5263	Volumétrica		2,37	1,34
Aluminio de cambio				1,73	0,98
Hierro	DTPA - NTC 5526	espectrofotometría de absorción atómica	Ppm	154	77
Manganeso				13,63	10,23
Cobre				3,15	7,48
Zinc				1,66	5,13
Boro				Agua caliente NTC-5404	espectrofotometría uv-vis
Nitrógeno total	Con base en la materia	Calculo	%	0,47	0,46
Carbono orgánico	Walkey y black. Colorimetrico NTC 5404	espectrofotometria uv-vis	%	7,63	7,40
Azufre disponible	Ca(H2PO4)2HO. 0,008M. NTC 5402	espectrofotometria uv-vis	Ppm	36,1	25,2

**Fuente:** laboratorio de análisis de suelos. Universidad de Nariño. 2010.

### Diseño Experimental.

Se utilizó un diseño experimental de bloques al azar con arreglo factorial combinatorio 2 \* 4, en donde los factores fueron: fuentes de azufre y magnesio (kieserita y sulphomag) y dosis (0, 30, 60, 90 kg.ha<sup>-1</sup>). Cada tratamiento contó con 36 plantas; de éstas se tomaron 15 (área útil) con tres repeticiones para las evaluaciones. Se realizaron dos ensayos independientes, correspondiendo a las localidades de La Laguna y Gualmatán con un área experimental 134.4 m<sup>2</sup> (16 m x 8.4 m).

### Modelo estadístico.

$$X_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + E_{ijk}$$

En donde:

$X_{ijk}$  = Variable de respuesta.

$\mu$  = Media general.

$\alpha_i$  = Efecto principal del factor A.

$\beta_j$  = Efecto principal del factor B.

$(\alpha\beta)_{ij}$  = Efecto de la interacción AB..

$E_{ijk}$  = Error experimental.

### Dosis.

En la tabla 2 se muestran las dosis de Mg y S aplicadas en el ensayo previo al análisis de suelos obtenido de las dos localidades. Se procedió a obtener los cálculos de las cantidades de cada nivel a aplicar de kieserita y sulphomag, tanto para los tratamientos como para cada planta.

**Tabla 2. Dosis y cantidades aplicadas para las fuentes kieserita y sulphomag en diferentes niveles para las localidades de Gualmatán y La Laguna.**

Dosis / ha de kieserita y sulphomag	CANTIDAD POR PLANTA	CANTIDAD POR TRATAMIENTO (5.6 m <sup>2</sup> )	TOTAL CANTIDAD FUENTE
30 kg	0.48 g	16.6 g	100.8 g
60 kg	0.96 g	33.6 g	201.6 g
90 kg	1.44 g	50.4 g	302.4 g

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 10 cm de la planta y a una profundidad de 2 cm, realizándose un aporque para tapar el abono y brindar anclaje a la planta.

### Análisis estadístico.

El análisis de varianza se realizó con una significancia del 95%. Para las variables que presentaron diferencias significativas se procedió a realizar la prueba de comparación de medias de Tukey (P<0.05), los datos fueron analizados haciendo uso del software estadístico SAS versión 2008.

### **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 se secaron a una temperatura de 70°C por 72 horas y pesadas nuevamente para obtener el peso seco (Puenayan y Córdoba, 2008).

- **Diámetro de la pella**

90 dds y en el momento de la recolección de las cabezas o pellas del brócoli, se procedió a la toma de la medida utilizando una cinta métrica al contorno 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 Cuatin y Lucero (1998).

- **Análisis de rendimiento**

El rendimiento se calculó teniendo en cuenta el peso fresco total del área útil (2.4 m<sup>2</sup>) 90 dds y se proyectaron los resultados de rendimiento en t.ha<sup>-1</sup> para los diferentes tratamientos.

### **Análisis Económico.**

Para la realización del análisis económico del rendimiento obtenido, 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 variables 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 observa que, en La Laguna hay diferencias significativas en los

factores fuente y nivel para el diámetro de la pella, peso fresco, peso seco y rendimiento; mientras que para la interacción (Nivel \* Fuente) hay diferencias altamente significativas para peso fresco y rendimiento, diferencias significativas para peso seco y no se encontró diferencias para la variable diámetro de la pella. Para Gualmatán en las variables diámetro, peso fresco, peso seco y rendimiento, se encontraron diferencias altamente significativas, tanto para niveles y fuentes como para la interacción.

**Tabla. 3. Cuadrados medios para variable diámetro de la pella, peso fresco y seco en brócoli (*Brassica oleracea* Var. *Italica*) híbrido Legacy en las localidades de la Laguna y Gualmatán.**

F.V	G.L	La Laguna			
		CM			
		Diámetro	Peso fresco	Peso seco	Rendimiento
<b>Bloque</b>	2	6,82	801,02	20,38	3,125
<b>Nivel</b>	3	24,16 *	11124,52*	92,71*	43,46*
<b>Fuente</b>	1	19,78 *	20034,64*	131,41*	78,26*
<b>Nivel*fuentes</b>	3	7,41 ns	9357,22**	77,72*	36,55**
<b>Error</b>	16	3,42	15,70	10,25	2,33
<b>C.V.</b>		13,84	13,44	9,49	10.40
<b>Total</b>	23				
<b>Gualmatán</b>					
<b>Bloque</b>	2	6,60	325,50	16,73	1.275
<b>Nivel</b>	3	39,11**	29456,83**	264,38**	114,96**
<b>Fuente</b>	1	90,64**	39107,23**	551,71**	152,76**
<b>Nivel*fuentes</b>	3	29,28**	12776,39**	151,52**	49,87**
<b>Error</b>	16	5,05	2390,19	11,83	9,34
<b>C.V.</b>		15,85	19,44	9,05	12.35
<b>Total</b>	23				

\*\* = diferencias altamente significativo

\* = diferencias significativas.

ns.= diferencias no significativas.

Las observaciones de los datos en las, las tablas de interacción y el análisis de varianza para fuentes y dosis, indican efectos interactivos; es decir, las fuentes se comportan de manera diferente; sulphomag tiene respuestas significativas a medida que la dosis aumenta.

En la tabla 4, se expresan los resultados obtenidos de la prueba de comparación de medias de Tukey para la zona de Gualmatán, en la cual el mayor diámetro de la pella, se obtuvo cuando se aplicó la fuente sulphomag en niveles de 90 kg.ha<sup>-1</sup>, con un valor de 21,18 cm, siendo estadísticamente significativo respecto a kieserita 0 kg.ha<sup>-1</sup>, sulphomag 0 kg.ha<sup>-1</sup> y kieserita 30 kg.ha<sup>-1</sup>. Mientras que para la zona de La Laguna la interacción (fuente\* nivel) no presentó diferencias significativas.

El aumento del diámetro con la utilización de sulphomag, en el nivel de 90 kg.ha<sup>-1</sup>, interacción que mostró el mejor diámetro, pueden ser explicados según Brady y Weil (2002), quienes mencionan que el incremento en los niveles de fertilización de Mg en suelos donde las relaciones Ca/Mg son muy amplias, se genera un mayor incremento en los componentes de crecimiento y desarrollo de las plantas. Las relaciones Ca/Mg obtenidas en esta investigación según el análisis de suelos, fueron de: 6.9/1 y 7.2/1 en La Laguna y Gualmatán respectivamente; catalogándose como relaciones amplias las cuales son características de los suelos del altiplano de Pasto (García y Pantoja 1993), viéndose afectada la disponibilidad de magnesio y por tanto el estado nutricional de las plantas, situación que puede influir negativamente en el diámetro de la pella.

**Tablas 4 .Prueba e Tukey para la interacción entre las variables diámetro de la pella en la zona de Gualmatán.**

FUENTE	DOSIS				PROMEDIO FUENTE
	0	30	60	90	
kieserita	12,43 a	11,37ab	11,67bc	13,93c	12,22
sulphomag	10.3 a	14,73ab	18,24bc	21,18c	16,10
PROMEDIO DOSIS	11,36	13,05	14,95	17,30	

Letras diferentes indican diferencias estadísticas (*P* 0,05) según la prueba de Tukey.

De la misma manera, estos incrementos pueden ser explicados en relación a la fertilización con azufre, puesto que según lo planteado por Sexton *et al.*, (1997), quienes mencionan que en el metabolismo de las plantas están vinculados el N y S, y que la deficiencia de S se basa en la relación nitrógeno/azufre. Dicha relación se considera ideal cuando se aproxima a 24/1; si es superior se verá afectada la disponibilidad de azufre trayendo consigo deficiencias en crecimiento y desarrollo (Dev y Sagggar, 1974; Gutiérrez Boem *et al.*, 1999).

Puesto que las relaciones obtenidas de N/S en esta investigación fueron amplias - 54,7/1 y 76,8/1, en La laguna y Gualmatán, respectivamente - estas pueden estar afectando la disponibilidad de azufre en dichas localidades.

Las aplicaciones de azufre con la fuente sulphomag, en nivel de 90 kg.ha<sup>-1</sup>, implican mayor disponibilidad de este nutriente generando probablemente un aumento en el crecimiento de la planta (Reneau.,1988).

### **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 las tablas 5 y 6 se muestran los resultados obtenidos de la prueba de comparación de Tukey, en la cual los valores altos de peso fresco y seco encontrados en la localidad de La Laguna se obtuvieron cuando se aplicó sulphomag 90 kg.ha<sup>-1</sup>, cuyo valor de peso fresco fue de 311,15 g, y 45,30 g de peso seco. De igual manera, en las tablas 7 y 8 se presentan los valores más altos de peso fresco y seco, correspondientes a 419,2 g y 53,98 g respectivamente, para la localidad de Gualmatán; que se lograron también con la aplicación sulphomag 90 kg.ha<sup>-1</sup> presentando diferencias estadísticas significativas en ambas zonas respecto a las aplicaciones de sulphomag 0 kg.ha<sup>-1</sup>, kieserita 0 y 30 kg.ha<sup>-1</sup>.



Tablas 5 y 6. Prueba de Tukey para la interacción para las variables peso seco (a) y fresco (b) en la zona de La Laguna.

FUENTE	DOSIS				PROMEDIO
	0	30	60	90	FUENTE
kieserita	135,37 c	152,54 c	182,84 ab	140,62a	152,84
sulphomag	123,75c	177,51bc	230,106b	311,15 a	210,624
<b>PROMEDIO DOSIS</b>	29,16	37,25	40,89	44,72	<b>(a)</b>

FUENTE	DOSIS				PROMEDIO
	0	30	60	90	FUENTE
kieserita	31,33 a	30,96 ab	31,28 ab	32,04 b	31,40
sulphomag	27,56 a	33,22 ab	38,22 bc	45,3 c	36,076
<b>PROMEDIO DOSIS</b>	29,44	32,09	34,75	38,67	<b>(b)</b>

Letras diferentes indican diferencia estadísticas ( $P < 0,05$ ) según la prueba de Tukey

Tablas 7 y 8. Prueba de Tukey para la interacción entre las variables peso seco (a) y fresco (b) en la zona de Gualmatán.

FUENTE	DOSIS				PROMEDIO
	0	30	60	90	FUENTE
kieserita	30,7 cd	11,37ab	11,67bc	13,93c	12,22
sulphomag	10.3 a	14,73ab	18,24bc	21,18c	16,10
<b>PROMEDIO DOSIS</b>	11,36	13,05	14,95	17,30	<b>(a)</b>

FUENTE	DOSIS				PROMEDIO
	0	30	60	90	FUENTE
kieserita	189,81ab	234,83ab	177,27 <sup>a</sup>	242,44ab	211,08
sulphomag	144,77a	325,4ab	277,92b	419,20a	291,82
PROMEIO DOSIS	167,29	280,11	227,54	330,82	<b>(b)</b>

Letras diferentes indican diferencia estadísticas ( $P < 0,05$ ) según la prueba de Tukey

Contrastando los incrementos de peso obtenidos en La Laguna y Gualmatán encontrados entre el tratamiento de 90 kg.ha<sup>-1</sup> y 0 kg.ha<sup>-1</sup> de sulphomag, se encontró que hubo un aumento de 134.3% y del 215% para las zonas evaluadas respectivamente.

Estos resultados son similares a los reportados por Cortes *et al* (2002) y Reneau (1988), quienes encontraron incrementos en los contenidos de masa total en 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 (1980), quien encontró incrementos del orden del 200 % en el peso de racimo de banano (*Musa* sp.) al realizar aplicaciones de Magnesio en MgO, y en café (*Coffea arábica*), 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*) en relación al rendimiento total.

Los incrementos obtenidos de los pesos fresco y seco cuando se realizaron las aplicaciones de sulphomag 90 kg.ha<sup>-1</sup>, pueden ser explicados según lo planteado por 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 determinado optimo.

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, puesto que según Bertsh (2003), 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 desactiva el 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%.

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, (1998), indican que el Mg, además de estar relacionado directamente con los procesos de fotosíntesis, es altamente demandado por órganos como las flores e inflorescencias, la última para el caso del brócoli. El Mg, ejerce influencia al disminuir el envejecimiento prematuro aumentando la resistencia a efectos fitopatológicos y 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 S, según Crocomo y Menard., (1961), el S 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, fructificación, y características organolépticas como el olor y el sabor del brócoli. En consecuencia, las dos anteriores situaciones explicarían aun más que la adición de Mg y S en la fuente sulphomag  $90\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ , presentan un efecto positivo en el incremento los pesos y por tanto en los rendimientos.

El incremento en la absorción del azufre en una mayor cantidad es explicado por Simón-Silvestre. (1960) quién menciona que cuando el ion acompañante para el azufre es 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  $90 \text{ kg.ha}^{-1}$ , como fuente de magnesio, puede 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 presentados en el análisis de suelo (Tabla 1), 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  $90 \text{ kg.ha}^{-1}$ , de sulphomag, como fuente de azufre y magnesio brinda una mejoría significativa en dichas relaciones en comparación con kieserita que no mostró ninguna diferencia, al aumentar las disponibilidades de estos elementos, mejorando los procesos de crecimiento y desarrollo, incrementando los rendimientos y la calidad del brócoli cosechado.

Finalmente kieserita no mostró diferencias significativas en ninguna de las dos localidades para las variables estudiadas. Esto podría explicarse si se analiza el aporte nutricional de las fuentes (kieserita  $\text{MgSO}_4$  75.4%;  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{CaSO}_4$  4 %, y sulphomag  $\text{MgO}$  18.0 %; azufre total (S) 21.5 %;  $\text{K}_2\text{O}$  22%). Kieserita no aporta potasio en la misma cantidad que lo hace sulphomag y de acuerdo con planteado por Chirinos y Lazcano (1993) quienes argumentan que la calidad agronómica del brócoli está en función de la fertilización de elementos menores con los elementos mayores entre los que se destaca el potasio, sulphomag aporta mayor cantidad de potasio a la planta y teniendo en cuenta los reportes Puenayan y Córdoba (2008), la fertilización con niveles altos de potasio generan mayores rendimientos en el cultivo de brócoli y mejoran sus cualidades agronómicas.

### Rendimiento de brócoli obtenido.

En las tablas 9 y 10, se muestran los resultados de la interacción entre la variable rendimiento en  $t.ha^{-1}$ , la cual mostró una tendencia decreciente en la medida en que los niveles de fertilización disminuyeron: 90, 60, 30, 0  $kg.ha^{-1}$ , 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 el peso del área útil llevado a  $t.ha^{-1}$ , fueron los obtenidos con la utilización de sulphomag 90  $kg.ha^{-1}$ , indicando rendimientos teóricos de 26,2  $t.ha^{-1}$  para la localidad Gualmatán y 19,44  $t.ha^{-1}$  para la localidad de La laguna, en contraste con los rendimientos reportados por la Secretaria de Agricultura de Nariño (2008) de 14,04  $t.ha^{-1}$ .

**Tablas 9 y 10. Prueba de Tukey para la interacción del rendimiento en la fertilización con S y Mg en diferentes dosis y fuentes, en las localidades de Gualmatán (a) y La Laguna (b).**

DOSIS					
FUENTE	0	30	60	90	ROMEDIO FUENTE
KIESERITA	11,86 bc	14,67 bc	11,13 c	15,15 bc	13,20
SULPHOMAG	9,04 c	20,33 ab	17,36 bc	26,16 a	18,22
PROMEDIO FUENTE	10,45	17,5	14,24	20,65	(a) (b)

DOSIS					
FUENTE	0	30	60	90	PROMEDIO FUENTE
KIESERITA	8,45 c	9,53c	11,42 bc	8,78 c	9,54
SULPHOMAG	7,73 c	11,08 bc	14,37 b	19,44 a	13,15
PROMEDIO DOSIS	8,09	10,30	12,89	14,11	

Tal y como se mencionó anteriormente, los valores más altos obtenidos de rendimiento para las dos localidades, correspondieron al tratamiento sulphomag 90 kg.ha<sup>-1</sup>, 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 en t.ha<sup>-1</sup> teniendo en cuenta el peso del área útil, presentó los mejores resultados en las dos localidades, puesto que sulphomag 90 kg.ha<sup>-1</sup> como fuente de Mg y S, brinda 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), y Reneau (1988).

### **Análisis Económico.**

En la tabla 4, se muestran 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<sup>-1</sup> y 30 kg.ha<sup>-1</sup>, superaron 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<sup>-1</sup> y 60 kg.ha<sup>-1</sup>. Por tanto, la investigación demostró que la aplicación de fuentes de Mg y S, para la fertilización del brócoli presentan efectos positivos en los rendimientos y que además son económicamente viables para los agricultores de las zonas de estudio. Es bueno tener en cuenta que el rendimiento se basó en la extrapolación del peso de la parcela útil de cada tratamiento a t.ha<sup>-1</sup>. Estos rendimientos alcanzaron una tasa interna de retorno con respecto al testigo de 7017% y 4006 % respectivamente para La Laguna y Gualmatán con la aplicación de sulphomag 90 kg.ha<sup>-1</sup>.

**Tabla 11. Análisis marginal de la fertilización con sulphomag en niveles de 30, 60, 90 kg.ha<sup>-1</sup> 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 <sup>-1</sup>	5.540.750	6722593	3157762	45000	7017.24
	SULPHOMAG 60 kg ha <sup>-1</sup>	5.495.750	3564830.9	2970318	84000	3536.1
GUALMATAN.	SULPHOMAG 90 kg ha <sup>-1</sup>	5.540.750	10.965.250	3.606.000	90.000	4006.6
	SULPHOMAG 30 kg ha <sup>-1</sup>	5.450.750	7.359.250	6.177.156	45.000	1322.879

### Análisis de dominancia

TRATAMIENTO	COSTOS VARIABLES	BENEFICIO NETO
SULPHOMAG 90 Kg.ha <sup>-1</sup>	5540750	6722593 N.D.
SULPHOMAG 60 Kg.ha <sup>-1</sup>	5495750	3564830.9 N.D.
KIESERITA 30 Kg ha <sup>-1</sup>	5450750	594512.5 N.D.

N.D. : Valores dominados.

### Conclusiones.

La fertilización con azufre y magnesio, en las dos localidades produjo incrementos de las variables agronómicas como: diámetro de la pella, peso fresco y seco, y rendimiento total.

Los rendimientos obtenidos con la aplicación de 90 kg.ha<sup>-1</sup>de sulphomag alcanzaron incrementos de 134.3% y 215% para las zonas de La Laguna y Gualmatán respectivamente.

La fertilización con sulphomag en niveles de 60 kg.ha<sup>-1</sup> 90 kg.ha<sup>-1</sup> y 30 kg.ha<sup>-1</sup>, superaron la tasa de retorno mínima establecida (40%).

### **Bibliografía.**

BERTSCH, F. 2003. Absorción de nutrimentos por los cultivos. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo. Colorgraf S.A., Costa Rica. 307 p.

BERTSCH, F. 1998. La Fertilidad de los suelos y su manejo. Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo, AIC (Agricultural Institute of Canada), CIDA (Canadian international Development Agency). 157p.

BURBANO, H. 1979. El suelo: una visión sobre sus componentes biorgánicos. San Juan de Pasto, Graficolor. Pg 361.

BURBANO, H. 1987. El azufre: Dinámica en el suelo. En: Seminario sobre el azufre. Relación suelo – planta- animal. Hernán Burbano O y Gerardo López J. Ed. SCCS Regional Nariño. Pp29 – 56.

BRADY, N and 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. 1964.

CASTRO, H. 1998. Fundamentos para el conocimiento y manejo de suelos agrícolas. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Programa de Ingeniería Agronómica. Tunja. Produmedios, 360p.

CHIRINOS, H. y LAZCANO, I. 1993. Brócoli. Mejores rendimientos balanceando su fertilización N,P,K y Mg. INPOFOS. Informaciones Agronómicas 1 (17): 7 – 9.

CÓRDOBA, F; PUENAYAN, A. 2008. Respuesta del brócoli (*Brassica oleracea var. itálica l. híbrido legacy*) a la fertilización con n-p-k en el municipio de pasto, departamento



de Nariño. Tesis de grado (Ingeniero Agrónomo). Pasto Colombia, Universidad de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas. 22pg.

CORTES P., ESCOBAR R., BARRA J., SANCHES P., ALVARADO L. 2002. Respuesta en invernadero del maíz al azufre en dos suelos del estado de Puebla, México. *Agrociencia* 36: 633-642.

CROCOMO. O. J & N. MENARD. 1961. Distribuição de S aplicado às folhas de plantas de café cultivadas em solução nutritiva. *O Solo* 53 (1): 95-97.

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.

CUASPA, S. y MAGE, N. 1994. Evaluación de cuatro materiales de brócoli (*Brassica oleracea var Italia* L) en diferentes agroecosistemas del municipio de Pasto. Tesis de grado Ingeniero Agrónomo, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, Pasto. 96 p.

DEV. G., SAGGAR, S. 1974. Effect to sulfur fertilization on the N:S ratio in soybean varieties. *Agronom. J.* 66: 545 – 456.

GARCIA, 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.

GOMEZ, M. I.; CASTRO, H.E.; GOMEZ, C. J and 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\*. *Agron. colomb.* Vol.25, n.2, pp. 339-348.

GÓMEZ, M.I. 2006. Manual técnico de fertilización de cultivos. Microfertisa S.A. Produmedios, Bogotá.

GUTIERREZ BOEM., SCHEINDER, J.D., KLEPKER, D. LAVADO, R. 2004. Identifying fertilization needs for soybean using sedes. Soil. Sci. Soc. Am. J.68: 1445-1451.

IBARRA; ARCESIO; MONCAYO, ALVARO. 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 numero 4, programa nacional del SENA de capacitación en manejo post-cosecha y comercialización de frutas y hortalizas, convenio SENA - REINO UNIDO.

IGAC. Instituto Geográfico Agustín Codazzi.2004.

JARAMILLO, J; HERRERA, C; PINZÓN, H; SÁNCHEZ, G. 2002. Taller de hortalizas. Productividad y mercadeo. Sede Corpoica-Tibaitata-Mosquera. Octubre 23-24 del 2002. 100 pg.

LAURENÇO, S.; O. J. CROCOMO; I. R. NOGUEIRA & E. MALAVOLTA. 1968. Kinetic studies of phosphorus uptake by excised roots of barley in the presence of magnesium. An. Acad. Bras. Si. 40 (2): 171-179.

MARSCHNER, P. Y G. HORTS. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Segunda edición. Academic Press, San Diego. pp. 313-396

MOSQUERA, C. 1975. Formas y mineralización del azufre en suelos volcánicos de Nariño, Colombia. Tesis Ing. Agr. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas, Pasto, Colombia. 1975. 56 p.

MOSQUERA, C. y BURBANO, H. 1976. Efecto de la cal y el fósforo sobre el metabolismo del azufre en suelos volcánicos de Nariño, Colombia. Revista de Ciencias Agrícolas 6 (1): 88 – 97. 1976.

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. 54p.

MARSCHNER, P. Y G. HORTS. 1995. Mineral nutrition of higher plants. Segunda edición. Academic Press, San Diego. pp. 313-396.

MENGEL, K. Y E. KIRKBY. 2000. Principios de nutrición vegetal. International Potash Institute. Basel. pp. 245-549. Ministerio de agricultura y desarrollo rural. MADR. 2011.

RENEAU., J.R.1988. CORN RESPONSE TO SULFUR APLICATION IN COASTAL. Plain Solid . Agron. J. 75: 1036 – 1040.

SECRETARIA DE AGRICULTURA Y MEDIO AMBIENTE.2008.Consolidado agropecuario, acuícola y pesquero. Gobernación de Nariño. 159 pg.

SEXTON, J.P.;BATCHELOR, W. SHIBLES, R. 1997. Sulfur availability, rubisco content and photosyntetic rate of soy vean. Crop sciencie. 37: 1801 – 1806.

SIMON-SILVESTRE. Les composés du soufre du sol et leur révolition-raportes avec la micrflore, utilitzación par les plantes. *Ann. Agron.*, Paris v.3, 1960, p. 311-32.

WAINWRIGHT, M. 1984. Sulfur oxidation in soils. *Adv. Agron.* 37:349-396.