

- Hirzel, J., I. Matus, F. Novoa, y I. Walter. 2007. Effect of poultry litter on silage maize (*Zea mays* L.) production and nutrient uptake. *Spain Journal of Agricultural Research* 5:102-109.
- Hirzel, J., P. Undurraga, P., y I. Walter. 2010. Mineralization of nitrogen and nutrients released in a volcanic soil amended with poultry manure. *Chilean Journal of Agricultural Research* 70:113-121.
- Laos, F., P. Satti, I. Walter, M.J. Mazzarino, y S. Moyano. 2000. Nutrient availability of composted and noncomposted residues in a Patagonian Xeric Mollisol. *Biology and Fertility of Soils* 31:462-469.
- Moore, J., y R. Ouimet. 2014. Effects of two types of Ca fertilizer on sugar maple nutrition, vigor and growth after 7 years. *Forest Ecology and Management* 320:1-5.
- Moreira, A., G.J. Sfredo, L.A.C. Moraes, y N.K. Fageria. 2015. Lime and cattle manure in soil fertility and soybean grain yield cultivated in tropical soil. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 46:1157-1169.
- Sadzwarka, A., M.A. Carrasco, R. Grez, M.D.L.L. Mora, H. Flores, y A. Neaman. 2006. Métodos de análisis recomendados para los suelos de Chile. Revisión 2006. Serie Actas-INIA N° 34.: Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Santiago, Chile.
- Sumner, M.E., y A.D. Noble. 2003. Soil acidification: the world story. In: Rengel, Z. (ed.) *Handbook of soil acidity*. Marcel Dekker, New York. p. 1-28.
- Soil Survey Staff. 2014. *Keys to Soil Taxonomy*. 12th ed. USDA-Natural Resources Conservation Service, Washington, DC.

La Importancia de la nutrición con magnesio y azufre en el cultivo de la papa

Francisco Jiménez Uribe¹

- *La fertilización balanceada del cultivo de papa en Colombia puede mejorar notablemente la productividad.*
- *Además de N, P y K, el magnesio (Mg) y el azufre (S) pueden resultar limitantes, particularmente en regiones de producción intensiva.*
- *Este artículo pretende servir de guía para una correcta recomendación de fertilización balanceada con Mg y S.*

El cultivo de la papa en Colombia es de vital importancia por que provee de este preciado alimento a millones de personas y del que derivan su sustento miles de agricultores. Constantemente estos productores enfrentan una alta variabilidad en la rentabilidad de su cultivo debido a las fluctuantes condiciones del mercado en las cuales tienen poca influencia.

Sin embargo los agricultores pueden mejorar su productividad optimizando todas las labores que el cultivo requiere y teniendo como objetivo aumentar la rentabilidad dentro de un esquema de administración eficiente. Dentro de estas labores la adecuada fertilización del cultivo es una práctica que ayuda a obtener altos rendimiento por unidad de área.

Para que la nutrición de la papa sea adecuada se debe tener una fertilización suficiente y balanceada, es decir debe contener los nutrientes necesarios en las cantidades óptimas y en las relaciones apropiadas. Del mismo modo se deben aplicar en las épocas que son requeridos por el cultivo y con los fertilizantes adecuados de acuerdo con las condiciones del suelo y el ambiente.

Es conocido que la planta requiere de 17 nutrientes esenciales para su normal crecimiento y desarrollo, en la mayoría de los suelos dedicados al cultivo de la papa en Colombia estos no se encuentran en cantidades

suficientes lo que hace necesario la aplicación de sustancias externas portadoras de estos elementos. Dentro de los elementos deficientes se encuentran el Magnesio (Mg) y el Azufre (S) que son fundamentales para la obtención de altos rendimientos en el cultivo.

Una fertilización sin considerar Mg y S puede resultar en un agotamiento de la reservas del suelo, particularmente en regiones de producción intensiva de papa. Los suelos con contenidos de Mg intercambiable menor a 1.5 cmol_c kg⁻¹ de suelo y menor a 10 ppm de azufre asimilable se consideran bajos para el cultivo.

Dependiendo del rendimiento esperado, la papa absorbe aproximadamente de 20 a 40 kg de MgO y de 20 a 60 kg de S, por ciclo de cultivo. (Guerrero, 1998; Castro 2005).

Magnesio (Mg)

Magnesio en el suelo

Los niveles de Mg en el suelo varían entre 0.1 y 4%. El Mg está presente en distintas fracciones en el suelo, el Mg estructural, Mg de reserva, Mg no cambiante, Mg intercambiable, Mg en la materia orgánica y el Mg en solución. Su deficiencia se puede presentar en suelos arenosos, suelos ácidos con baja capacidad de intercambio catiónico, suelos muy alterados, suelos

¹ Monómeros S.A. Gerente de Asistencia Técnica y Nuevos Negocios. Correo electrónico: frjimenez@monomeros.com.co

calcáreos con bajos niveles de Mg, suelos que reciben fertilización intensiva con Potasio, Calcio o Amonio y en suelos cultivados con plantas muy exigentes en Mg. (Havlin, 1999).

El magnesio en la fisiología de la planta

Las plantas toman el Mg como catión Mg^{2+} desde la solución del suelo el cual está en equilibrio con el Mg cambiante. El suministro de este elemento a las plantas ocurre mediante transporte por flujo de masa siendo muy móvil dentro del floema y puede ser trascolado desde las hojas más viejas a las más jóvenes o a los ápices. Los cationes Calcio, Potasio y Amonio compiten fuertemente en la toma y transporte del Mg.

El Mg cumple varias funciones vitales para la planta:

- 1) Es constituyente del núcleo central de la molécula de la clorofila y como tal elemento clave para la fotosíntesis.
- 2) Participa activamente en las transformaciones del nitrógeno.
- 3) Es necesario en la transferencia del fósforo en la planta.
- 4) Cada transformación o transporte de energía en la planta requiere del Mg.
- 5) Es esencial para la síntesis de carbohidratos, proteínas y aceites.
- 6) Ayuda a la resistencia al ennegrecimiento de la papa y a la duración del almacenamiento.

Deficiencia de magnesio en la planta

Una deficiencia de Mg afecta particularmente el tamaño, estructura y función de los cloroplastos lo que disminuye el potencial de fotosíntesis.

Cuando el Mg es deficiente y la exportación de carbohidratos desde la fuente al vertedero es deteriorada hay una disminución en el contenido de almidón de los tejidos de almacenamiento tales como tubérculos de papa y en el peso de granos de los cereales. La traslocación de Mg desde hojas maduras a jóvenes se aumenta lo que causa que los síntomas de deficiencias visuales típicamente aparezcan inicialmente en las hojas maduras (Marschner, 1995).

Niveles bajos de Mg en la planta de papa tienen como consecuencia una disminución en el rendimiento particularmente si las deficiencias se presentan durante la floración y la formación de los tubérculos. **Foto1.**

Sintomatología: Las hojas viejas presentan moteados cloróticos pálidos entre las nervaduras con forma de espina de pez a lo largo de las nervaduras principales. Estos puntos pueden unirse y se necrosan si la deficiencia es severa. Los márgenes de la hoja pueden curvarse hacia arriba y se tornan frágiles.



Foto 1. Deficiencia de magnesio en la papa.

Tabla 1. Distribución (%) de la disponibilidad de Magnesio (Mg-intercambiable) en suelos de las diferentes zonas paperas de Colombia. Guerrero et al. (2004).

Zona	----- Nivel de disponibilidad, % -----			
	Alto	Medio	Bajo	Muy bajo
Antioquia	9	4	26	61
Cundinamarca	17	17	23	43
Boyacá	4	12	31	53
Caldas	8	8	39	46
Cauca	5	3	43	49
Nariño	18	13	41	28
Norte de Santander	3	10	39	49
Santander	31	0	19	50
Tolima	26	11	5	58
Total	12	13	29	46

Disponibilidad de magnesio en los suelos cultivados con papa en Colombia

Guerrero et al, (2004) realizaron un estudio sobre la disponibilidad de magnesio en suelos cultivados con papa en Colombia donde se evidenció que en su mayoría los contenidos de Mg son bajos y muy bajos. **Tabla 1.**

García y Pantoja, (1998) al evaluar la fertilidad de los suelos dedicados al cultivo de la papa en Nariño encontraron que el 67% de los suelos evaluados presentaron contenidos bajos de Mg. Señalan además que las características químicas de los suelos de Nariño son predominantemente deficientes en Boro, Zinc, Magnesio y Azufre, lo cual limita la producción y la calidad industrial de la papa.

Ríos (2010) menciona que de acuerdo con los resultados de numerosos análisis de suelos realizados por la Universidad Nacional de Colombia en diferentes suelos dedicados al cultivo de la papa, en el país estos muestran que son suelos de muy baja fertilidad, caracterizados

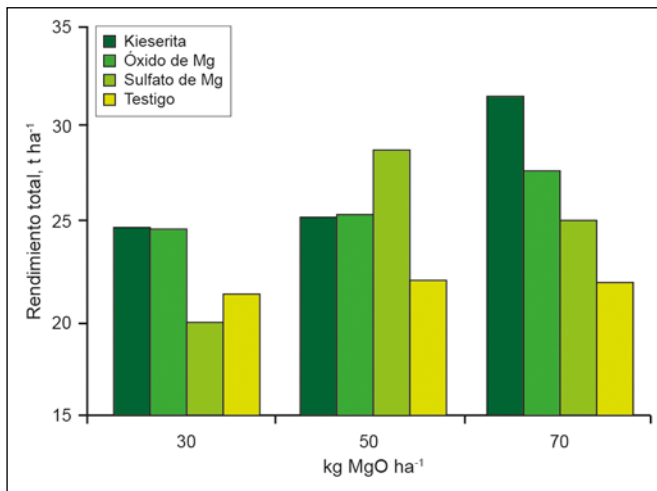


Figura.1 Respuesta de la papa (*Solanum tuberosum*) a la fertilización con tres dosis y tres fuentes de magnesio, Acuña y Cifuentes (2001). Jenesano. Boyacá.

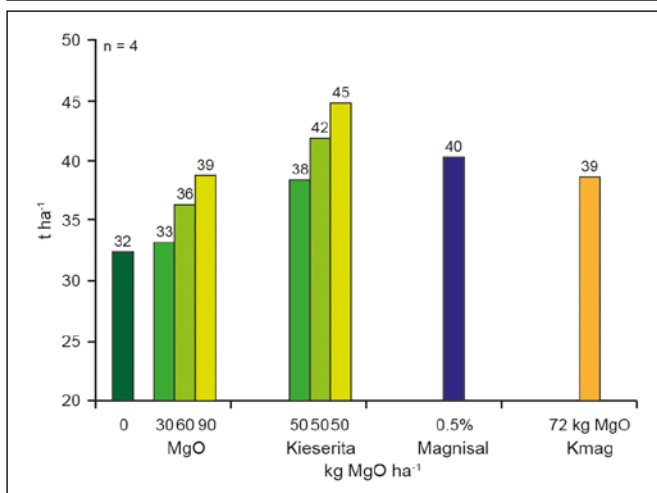


Figura 2. Rendimiento de papa (*Solanum tuberosum*) obtenido bajo diferentes fuentes y dosis de magnesio en Guachucal (Nariño), Guerrero et al, (2000).

por presentar texturas gruesas, pH menores de 5.5 y con contenidos de Ca y Mg muy bajos. Del mismo modo Castro (2005) señala que existe un alto potencial de deficiencias de Mg en suelos paperos de Colombia especialmente en Boyacá.

Respuesta a la aplicación de magnesio en el cultivo de la papa

Se ha demostrado en diferentes investigaciones el efecto positivo de la aplicación del Mg y el S en el cultivo de la papa en Colombia. Así mismo el aumento en los rendimientos del cultivo ha sido comprobado por un sinnúmero de agricultores que han aplicado estos nutrientes en sus planes de fertilización.

García y Pantoja, (1998) realizaron un experimento de fertilización con Boro y Sulfato de Magnesio en suelos de Nariño y encontraron que el rendimiento más alto se obtuvo con 2 kg de B y 250 kg de Sulfato de Magnesio, con un incremento del 44% sobre el tratamiento sin estos fertilizantes.

Acuña y Cifuentes, en el 2001 evaluaron tres dosis y tres fuentes de Mg encontrando aumentos significativos en los rendimientos del cultivo. Señalan que efectivamente el Mg influye sobre el rendimiento de la papa arrojando como resultado que la ESTA Kieserita presentó el mejor rendimiento total de papa con un promedio de 31.41 t ha⁻¹, seguido del óxido de magnesio con 27.59 t ha⁻¹ y del sulfato de magnesio con 25.02 t ha⁻¹. **Figura 1.**

Guerrero (2000) en suelos andisoles de Guachucal (Nariño), encontró respuesta a la aplicación de Magnesio, especialmente en dosis de 90 Kg ha⁻¹ de MgO usando como fuente ESTA Kieserita, Este tratamiento alcanzó un rendimiento de 45 t ha⁻¹ en comparación a las 32 t ha⁻¹ obtenidas por el testigo. **Figura 2.**

Estudios sobre absorción de nutrientes en papa llevados a cabo por Gómez (2012) muestran como en el caso de la absorción de Mg esta es dependiente de la localidad y la variedad (*Pastusa Suprema* y *Diacol Capiro*). El autor encontró valores de extracción que fluctúan entre 0.66 Kg y 0.92 Kg de MgO por tonelada cosechada.

Azufre (S)

Azufre en el suelo

El azufre está presente en el suelo tanto en formas orgánicas como inorgánicas, su contenido depende de los minerales de S que están presentes en el suelo, del grado de intemperización, de las condiciones climáticas, del contenido de materia orgánica y de la distancia del sitio a fuentes de S tales como los volcanes o las industrias.

El azufre en la fisiología de la planta

El S es absorbido por las raíces en forma de SO₄²⁻; el transporte a larga distancia del sulfato ocurre principalmente en el xilema siendo muy móvil dentro de la planta y se incorpora rápidamente en la estructura de los metabolitos. El S también puede absorberse por las hojas a través de las estomas en forma de dióxido de S gaseoso (SO₂).

El S cumple varias funciones en la planta, siendo las principales:

- 1) Constituyente de ciertos aminoácidos los cuales hacen parte de los bloques donde se forman las proteínas.
- 2) Estimula la asimilación del Nitrógeno.
- 3) Es constituyente de vitaminas y hormonas.

Deficiencia de azufre en la planta

Las deficiencias de S se presentan por diferentes razones: Bajo contenido de S en el suelo, bajo contenido de materia orgánica, predominio de la inmovilización sobre la mineralización del S-orgánico, pérdidas de S por lixiviación y erosión, pérdidas de S por volatilización (quemaduras) y remoción intensiva del cultivo.

Tabla 2. Distribución porcentual de las clases de S disponible en suelo en las regiones andinas de clima frío.

S disponible, ppm*	Nivel	Cundinamarca	Boyacá	Nariño	Norte de Santander	Antioquia
< 5	Muy bajo	24	52	70	71	45
5.1-10.0	Bajo	47	35	23	22	55
10.1-15	Medio	24	4	3	3	--
> 15	Alto	5	9	4	4	--

* Extracción con $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ 0.008M.



Foto 2. Deficiencia de azufre en la papa.

Al ser un constituyente esencial de las proteínas, la deficiencia de S en la planta resulta en una inhibición de la síntesis proteica que conduce a una clorosis. Los síntomas son muy similares a los síntomas de deficiencia de nitrógeno pero estos comienzan en las hojas más jóvenes. Así mismo los tallos son delgados y las plantas son pequeñas. **Foto 2.**

Sintomatología: La deficiencia comienza por las hojas jóvenes. Todas las hojas presentan un amarillamiento y son más pequeñas de lo normal. Las hojas más jóvenes son de un color amarillo brillante. El desarrollo productivo suele reducirse más que el crecimiento vegetativo y los tallos se tornan delgados.

Disponibilidad de azufre en los suelos cultivados con papa en Colombia

Lora (2001) menciona que a pesar que los suelos dedicados al cultivo de la papa son orgánicos y en su mayoría derivados de cenizas volcánicas, el contenido de azufre disponible para la planta estén en niveles de medios a bajos. En estos suelos aunque el contenido de S total es alto, su disponibilidad depende principalmente de la mineralización del S orgánico, proceso que en suelos Andisoles es limitado debido a la formación de complejos entre las arcillas amorfas y el humus lo que conlleva a una reducción de la actividad microbial.

En la **tabla 2** se muestran los valores de la distribución porcentual del azufre disponible en las zonas frías (Guerrero, 1998).

Respuesta a la aplicación de azufre en el cultivo de la papa

En suelos de Tuquerres y Pasto, Guerrero y Montenegro (1994) evaluaron el reabonamiento de la papa con S utilizando sulfato de amonio, el cual fue acompañado de una adecuada dosificación NPK en la siembra (1500 kg de 13-26-6 ha⁻¹). Se encontró que de tres a cinco bultos (50 kg) de sulfato de amonio aplicados en el primer aporque, (40 a 60 kg de S ha⁻¹) resultaron suficientes para satisfacer la demanda de azufre e incrementar los rendimientos entre 6 y 9 t ha⁻¹.

Monómeros ha realizado diversas investigaciones sobre la fertilización de S y Mg en el cultivo de la papa, donde se han encontrado incrementos muy significativos en los rendimientos y en la rentabilidad del cultivo. Varios de estos son detallados por publicaciones de Guerrero (1998) y Lora (2001).

Estos diagnósticos y estudios han conducido al diseño de grados fertilizantes como el fertilizante granulado **13-26-10-3 (Mg)-3(S)** que además de tener una relación nutricional adecuada de NPK para la papa aporta las cantidades suficientes de S y Mg. Los beneficios de esta relación nutricional han sido comprobados por los agricultores al ver aumentados sus rendimientos durante muchas cosechas en diferentes zonas del país. Así mismo se continúa con las investigaciones con estos y otros nutrientes con el fin de optimizar los planes de fertilización del cultivo.

En conclusión, el productor de papa debe incluir el Mg y el S dentro de sus planes de fertilización y buscar la asesoría de los técnicos de Fedepapa o de los técnicos del gremio con el fin de ajustar la recomendación.

Bibliografía

- Acuña, J. y Cifuentes, N. 2001. Efectos de diferentes fuentes y dosis de magnesio en el rendimiento del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) en un suelo de origen alofánico en el municipio de Jenesano, Boyacá. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Escuela de Ingeniería Agronómica. 72 p.
- Castro H. 2005. Balance y prospectiva de la investigación en el campo de la fertilización para el sistema de producción de papa en Colombia. pp 31-43. En: Memorias. I Taller Nacional sobre suelos, fisiología y nutrición vegetal en el cultivo de la papa. Centro

-
- Virtual de Investigación de la Cadena Agroalimentaria de la Papa (CEVIPAPA). Bogotá, Colombia.
- Havlin, J. 1999. Soil Fertility and Fertilizers: an introduction to nutrient management. 6 Ed. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall, 499 p.
- García, R.B. y C.L. Pantoja. 1998. Fertilización del cultivo de la papa en el departamento de Nariño. Fertilización de Cultivos de Clima frío. Segunda edición. Monómeros Colombo Venezolanos. Colombia. 370 p.
- Gómez, M. 2012. Absorción, extracción y manejo nutricional del cultivo. EN: Revista Fedepapa. N° 26 Diciembre de 2012. Fedepapa. pp. 20-25.
- Guerrero, R., A. Franco, y L. Rojas. 2004. Disponibilidad del Magnesio en el cultivo de papa en algunos departamentos de Colombia.
- Guerrero, R., V.Y. Montenegro, M. Ross. 2000. Fertilización con Magnesio para más y mejores rendimientos en papa. En: Papas Colombianas 2000. Revista ventana al campo andino. Vol.3 N° 1-2. pp. 96-99.
- Guerrero, R. 1998. La Fertilización con Azufre para el Cultivo de la Papa en Colombia. Fertilización de Cultivos de Clima Frío. Segunda Edición. Monómeros Colombo Venezolanos, Colombia. 370 p.
- Guerrero, R., G.V. Montenegro. 1994. Respuesta de la papa (*Solanum tuberosum*, L.) var. "Parda Pastusa" al reabonamiento con nitrógeno y azufre en Andisoles del Altiplano de Pasto y la sabana de Túquerres, Nariño. Suelos Ecuatoriales, 24:13-16.
- Lora, R. 2001. Los elementos secundarios Ca, Mg, S y el Silicio en la Agricultura. Bogotá: S.C.C.S cap. Cundinamarca. 176 p.
- Marschner, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. 2 Ed. London: Academic Press, 884 p.
- Ramírez, F. 2012. Fertilización a la Carta. Revista Fedepapa. N° 26 Diciembre. FEDEPAPA. pp. 26-29.
- Ríos, J., C. Jaramillo, L. Gonzales, y J. Cotes. 2010. Determinación del Efecto de Diferentes Niveles de Fertilización en Papa (*Solanum tuberosum* ssp. Andigena) DIACOL Capiro en un Suelo con Propiedades Ándicas de Santa Rosa de Osos, Colombia. En: Revista Facultad Nacional de Agronomía. Medellín 63(1):5225-5237.